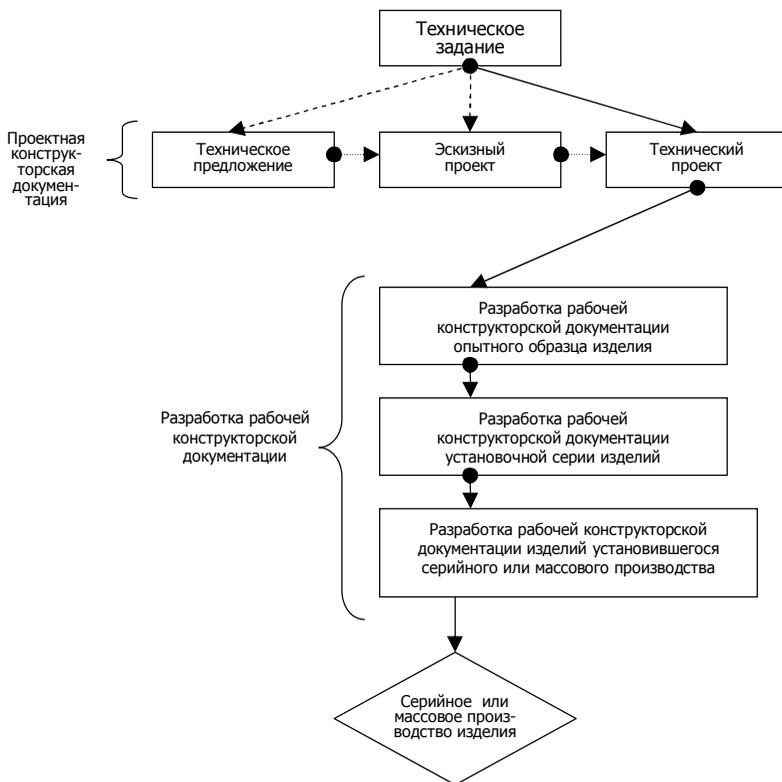


КУРСОВОЕ И ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ



Ростов-на-Дону
2013

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КУРСОВОЕ И ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Под редакцией Ю.И. Ермольева

2-е издание,
переработанное и дополненное

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов
Российской Федерации по образованию в области транспортных машин
и транспортно-технологических комплексов в качестве учебного пособия для
студентов высших учебных заведений, обучающихся
по специальности 190206
«Сельскохозяйственные машины и оборудование»*

Ростов-на-Дону
2013

УДК 631.3.001:63(075.8)
К 93

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *Ю.А. Царёв*;
кафедра «Технический сервис машин» (ИМЭ ДГТУ, г. Ростов-на-Дону)

Авторы:

Ю.И. Ермольев, И.В. Игнатенко, В.И. Иванцов,
Е.А. Смехунов, А.В. Бутовченко

К 93 **Курсовое и дипломное проектирование сельскохозяйственных машин и оборудования:** учеб. пособие / Ю.И. Ермольев, И.В. Игнатенко, В.И. Иванцов и др.; под ред. Ю.И. Ермольева. 2-е изд., перераб. и доп. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2013. – 404 с.
ISBN 978-5-7890-0822-5

Изложены методические материалы, необходимые студентам для работы над конструкторской и технологической частью курсового и дипломного проектов. Приведены требования к курсовому и дипломному проекту; содержание пояснительной записки и рекомендуемый состав графической части; современная методология проектирования сельхозмашин; обеспечение качества машин при проектировании; содержание и методы выполнения технологической части проекта; требования к оформлению; список вспомогательной литературы.

Книга рекомендована в качестве учебного пособия для студентов вузов дневного и заочного отделений в направлении подготовки 190109 «Наземные транспортно-технологические средства», в направлении 190200 «Транспортные машины и транспортно-технологические комплексы» и в направлении 190100 по специальности 190206 «Сельскохозяйственные машины и оборудование».

УДК 631.3.001:63(075.8)

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Донского государственного технического университета

ISBN 978-5-7890-0822-5

© Ермольев Ю.И., Игнатенко И.В,
Иванцов В.И. и др., 2013

© Издательский центр ДГТУ, 2013
Учебное издание

Содержание

Введение.....	7
1. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА КУРСОВОГО И ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТОВ.....	9
2. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.....	11
3. ОБЪЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	14
3.1. Общие сведения о проектируемых объектах.....	14
3.2. Стадии и этапы разработки конструкторской документации.....	18
3.2.1. Содержание технического задания.....	18
3.2.2. Разработка проектной конструкторской документации.....	19
3.2.3. Разработка рабочей конструкторской документации.....	22
3.3. Основные направления в конструировании машин.....	22
3.3.1. Принципы и методы конструирования.....	22
3.3.2. Система автоматизированного проектирования.....	26
3.4. Прогнозирование тенденций и параметров технологического оборудования на стадиях проектирования.....	26
3.5. Обеспечение качества машин при проектировании.....	28
3.5.1. Номенклатура и показатели качества объектов проектирования.....	28
3.5.2. Стандарты ISO серии 9000.....	29
3.5.3. Система управления качеством.....	31
4. МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ.....	35
4.1. Техническое задание на проектирование.....	35
4.2. Исходные данные для проектирования.....	35
4.2.1. Сведения о природно-климатических зонах.....	35
4.2.2. Технологические свойства сельскохозяйственных материалов и сред.....	39
4.2.2.1. Физико-механические свойства почвы.....	44
4.2.2.2. Физико-механические и технологические свойства трав и силосуемых культур.....	47
4.2.2.3. Физико-механические и технологические свойства зерновых культур.....	49
4.2.2.4. Физико-механические и технологические свойства картофеля, корнеплодов и овощей.....	51
4.2.3. Анализ машин-аналогов.....	53
4.3. Обоснование функциональной схемы машины.....	55
4.3.1. Сведения о технологических сельскохозяйственных процессах.....	55
4.3.2. Формирование вариантов полезных идей при создании рациональной схемы СХМ.....	60
4.3.3. Выбор функционально пригодных технических средств....	62
4.3.4. Обеспечение заданных показателей назначения проектируемой машины.....	66
4.3.5. Анализ вариантов и подходы к обоснованию функциональной схемы.....	67
4.3.6. Расчет конструктивно-технологических параметров элементов машины.....	68

4.3.7.	Обоснование внешних характеристик сельскохозяйственных машин и агрегатов.....	71
4.3.7.1.	Обоснование универсальности, комбинирования, агрегатирования СХМ.....	71
4.3.7.2.	Методы обоснования ширины захвата проектируемой СХМ.....	74
4.3.8.	Обоснование и построение функциональных схем сельскохозяйственных машин.....	80
4.3.8.1.	Понятие системы и системного анализа при проектировании.....	82
4.3.8.2.	Структурно-параметрический синтез рабочих органов сельскохозяйственных машин при проектировании.....	89
4.3.8.3.	Параметрическая оптимизация и анализ функционирования рабочих органов СХМ.....	94
4.3.8.4.	САПР «Проектирование функциональной схемы и структуры СХМ».....	106
4.3.8.5.	Построение функциональных схем.....	114
4.4.	Построение принципиальной схемы объекта проектирования.....	119
4.4.1.	Задачи, назначение.....	119
4.4.2.	Общие принципы подхода к структурному синтезу объекта проектирования.....	120
4.4.2.1.	Оценка производительности сельскохозяйственных машин и агрегатов на проектной стадии.....	120
4.4.2.2.	Оценка массы проектируемой машины.....	130
4.4.2.3.	Анализ возможности агрегатирования сельхозмашин и энергетических средств.....	138
4.4.2.4.	Анализ возможности обеспечения надежности и ремонтпригодности.....	149
4.4.2.5.	Эргономика.....	157
4.4.2.6.	Дизайнерский анализ при структурном синтезе объекта проектирования.....	158
4.4.2.7.	Оценка условий эксплуатации.....	161
4.4.3.	Построение схемы принципиальной.....	162
4.5.	Обоснование и построение схемы кинематической.....	166
4.5.1.	Обоснование схемы кинематической.....	166
4.5.2.	Правила построения схем кинематических.....	173
4.6.	Разработка технического проекта сельскохозяйственных машин и агрегатов.....	180
4.7.	Энергетический расчет.....	182
4.7.1.	Энергетический расчет проектируемой машины.....	182
4.7.2.	Обеспечение агрегативности проектируемой машины с энергетическими средствами.....	185
4.8.	Разработка конструкций сборочных единиц и деталей.....	187
4.8.1.	Повышение надежности на стадии разработки конструктивных решений изделия и его составных частей.....	187

4.8.2.	Система мероприятий по обеспечению технологичности конструкции изделия.....	195
4.8.3.	Силовой расчет.....	198
4.8.4.	Обоснование конструкции сборочных единиц и деталей...	199
4.8.5.	Расчеты на прочность.....	211
4.8.6.	Расчет надежности машин и элементов.....	233
4.9.	САПР сборочной единицы.....	240
5.	ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОЕКТИРУЕМОЙ МАШИНЫ.....	249
6.	ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	252
6.1.	Цели, задачи и содержание курсового проекта по технологии сельскохозяйственного машиностроения и технологической части дипломного проекта.....	252
6.2.	Служебное назначение и конструктивно-технические особенности изделия (СЕ и ее основных деталей).....	256
6.3.	Технологический процесс изготовления детали, заданной в проекте.....	258
6.3.1.	Выбор варианта получения заготовки для детали.....	258
6.3.2.	Формирование операций механической и химико-термической обработок.....	261
6.3.3.	Расчет размеров заготовки с учетом припусков на обработку резаньем и формоизменяющих операций.....	266
6.4.	Качественный анализ и количественная оценка технологичности объекта проектирования.....	268
6.4.1.	Деталь, заданная в проекте.....	269
6.4.2.	Сборочная единица и изделие в целом.....	277
6.5.	Обеспечение точности сборки и взаимозаменяемости деталей в СЕ.....	286
6.6.	Технология сборочных работ.....	291
6.6.1.	Составление вариантов схем сборки заданной СЕ или изделия в целом.....	291
6.6.2.	Проектирование операций сборки.....	294
6.6.3.	Определение типа производства и его организации.....	296
6.7.	Технология нанесения защитно-декоративных покрытий.....	299
6.8.	Методы и средства контроля изготовления деталей и проведения сборочных работ.....	301
6.9.	Предложения о повышении технологичности объекта проектирования.....	303
7.	РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ДОКУМЕНТОВ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА.....	304
7.1.	Обозначение изделий и конструкторских документов.....	305
7.2.	Требования к оформлению титульного листа.....	307
7.3.	Требования к оформлению задания на курсовой и дипломный проекты (работу).....	308
7.4.	Требования к оформлению текста пояснительной записки.....	308

7.5. Требования к изложению документов пояснительной записки.....	313
7.6. Правила оформления графической документации.....	316
7.7. Правила оформления технологических документов.....	320
7.8. Нормоконтроль дипломных проектов (работ).....	320
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	322
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	331
Приложение 1. Титульный лист на курсовой (дипломный) проект.....	332
Приложение 2. Задание на курсовой (дипломный) проект.....	334
Приложение 3. Основная характеристика природно-климатических зон.....	341
Приложение 4. Распределение площадей под кормовыми культурами.....	359
Приложение 5. Технологические свойства сельскохозяйственных материалов и сред.....	361
Приложение 6. Основные технические данные зерноуборочных комбайнов.....	381
Приложение 7. Условные графические обозначения в кинематических схемах.....	384
Приложение 8. Ориентировочные нормы оперативного времени на сборочные работы.....	394
Приложение 9. Условные обозначения опор для крепления заготовок обрабатываемых резанием.....	395
Приложение 10. Шероховатости поверхностей деталей сельхозмашин.....	397
Приложение 11. Обозначения стандартных деталей.....	398
Приложение 12. Технологический процесс механической обработки шкива.....	401
Приложение 13. Схема сборки сборочной единицы.....	402
Приложение 14. Эскизы сборочных операций сборочных единиц.....	403

Введение

Дипломный проект является выпускной квалификационной работой, выполняемой студентом после завершения процесса обучения.

Курсовые проекты в соответствии с учебным планом выполняются студентами по тематике проектирования тех сельскохозяйственных машин, которым посвящён лекционный курс – курсовой проект по машинам для возделывания сельскохозяйственных культур и уборочным машинам и курсовой проект по машинам для уборки технических культур.

Дипломное и курсовое проектирование являются главными элементами системы подготовки специалистов по проектированию сельскохозяйственной техники, но имеют принципиально разные задачи.

Дипломный проект, являясь квалификационной работой, имеет цель показать государственной комиссии соответствие уровня подготовки специалиста квалификационной характеристике. Квалификационная характеристика направления подготовки дипломированного специалиста «Транспортные машины и транспортно-технологические комплексы» в ДГТУ предусматривает подготовку кадров по специальностям 190206 и 190109 «Сельскохозяйственные машины и оборудование». Объектами профессиональной деятельности являются машины и оборудование комплексов для возделывания зерновых, овощных, технических и садовых культур.

Согласно государственному образовательному стандарту выпускник должен быть подготовлен к решению следующих профессиональных задач:

- в проектно-конструкторской деятельности:
 - формулирование целей проекта, критериев и способов достижения целей, построение структуры взаимосвязей, выявление приоритетов решения задач;
 - разработка обобщённых вариантов решения проблем, анализ этих вариантов, прогнозирование последствий, нахождение компромиссных решений;
 - конструирование новых образцов транспортно-технологических машин и оборудования;
 - разработка конструкторской документации для модернизации и модификации транспортно-технологических машин и оборудования;
 - разработка технических условий и технических описаний;
- в производственно-технологической деятельности:
 - эффективное использование материалов и технологического оборудования машиностроительных предприятий;
 - разработка технической документации;
 - использование алгоритмов и программ расчётов параметров технологического производства транспортно-технологических машин и оборудования;

- авторский надзор за проведением работ по производству транспортно-технологических машин и оборудования;
- осуществление производственного контроля за ходом технологических процессов и качеством изделий.

Для решения этих задач выпускник должен уметь:

- выполнять работы по проектированию, информационному обслуживанию, организации производства, труда и управления, техническому контролю и авторскому надзору;
- проводить технико-экономический анализ;
- обосновывать принимаемые решения;
- изучать и анализировать информацию, технические данные и показатели, обобщать их, проводить необходимые расчёты, используя современные технические средства;
- составлять инструкции, пояснительные записки, отчёты, схемы, заявки, заказы и другую техническую документацию;
- осуществлять экспертизу технической документации, надзор и контроль за состоянием и эксплуатацией оборудования, устанавливать причины недостатков и неисправностей, принимать меры по их устранению;
- следить за соблюдением действующих стандартов, норм и правил.

В целом квалификационная характеристика предусматривает у выпускника наличие определённого объёма знаний и умений. Соответствие полученных знаний квалификационной характеристике устанавливает государственный экзамен. Соответствие полученных навыков квалификационной характеристике устанавливает защита дипломного проекта на заседании государственной экзаменационной комиссии. Выпускнику, удовлетворяющему этим квалификационным требованиям, присваивается квалификация – инженер.

Курсовое проектирование по специальным дисциплинам имеет учебное предназначение. Оно не является квалификационной работой и должно лишь готовить студента к дипломному проектированию. Целью его выполнения является развитие навыков проектирования и разработки конструкций сельскохозяйственных машин, полученных в процессе практических занятий и прохождения производственных практик.

Для этого студент должен самостоятельно формулировать и решать инженерные задачи, принимать технические решения по их конструктивному оформлению, выполнять графические и текстовые документы, соответствующие требованиям действующих стандартов. Выполнение курсовых проектов является этапом подготовки к дипломному проекту, качество которого должно характеризовать студента как сформировавшегося специалиста, отвечающего требованиям квалификационной характеристики.

В настоящем пособии излагаются содержание и требования к заключительной работе студента, гарантирующие её соответствие квалификационной характеристике и успешную защиту дипломного проекта.

Правила и порядок оформления дипломных и курсовых проектов (работ), выполняемых студентами университета, устанавливает

внутренний стандарт ДГТУ СТП 01-2001, утверждённый ректором 17.01.2001 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА КУРСОВОГО И ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТОВ

Согласно СТП 01-2001 *дипломный проект* - завершающий этап обучения студентов университета, главной целью и содержанием которого является проектирование изделия или его составных частей, разработка технологических процессов, решение организационных, экономических вопросов производства, защиты окружающей среды и охраны труда.

Курсовой проект (работа) - самостоятельная работа, основной целью и содержанием которой является развитие умений и навыков практических и экспериментальных исследований, инженерных расчетов, решений конструкторских и технологических задач, а также подготовка студентов к выполнению дипломных проектов.

Проект (курсовой, дипломный) должен состоять из графической части и текстовой документации, сшиваемой в виде книги (пояснительной записки). По содержанию курсовые и дипломные проекты должны отвечать требованиям кафедры СХМиО.

Рекомендуемая структура пояснительной записки (ПЗ) *дипломного проекта*:

Титульный лист.

Задание на проектирование.

Аннотация.

Содержание.

Введение.

Конструкторский раздел.

Технологический раздел.

Экономический раздел.

Экологичность и безопасность проекта.

Заключение.

Список использованных информационных источников.

Ведомость проекта.

Приложения.

По каждому из разделов студенту назначается консультант:

- по конструкторскому и технологическому разделам назначается консультант от кафедры «СХМиО»;

- анализ и подтверждение эффективности технических решений – консультант от кафедры «Организация производства и менеджмент»;

- анализ и проведение оценки на соответствие требованиям безопасности, экологичности и охраны окружающей среды – консультант от кафедры «Охрана труда и окружающей среды».

Общее руководство дипломным проектированием осуществляет

руководитель дипломного проекта, назначаемый, как правило, от профилирующей кафедры СХМиО.

Ориентировочно объём пояснительной записки (ПЗ) дипломного проекта составляет 90-120 страниц.

Графическая часть состоит из 12-14 листов, и, как правило, включает следующие листы:

- 1) функциональная схема машины;
- 2) принципиальная схема машины;
- 3) кинематическая схема машины;
- 4) общий вид или сборочный чертёж машины;
- 5) первая сборочная единица (СЕ);
- 6) вторая СЕ;
- 7) третья СЕ;
- 8) 1-й детализовочный чертёж;
- 9) 2-й детализовочный чертёж;
- 10) варианты схем сборки изделия;
- 11) проектирование операций сборки;
- 12) обеспечение точности сборки и взаимозаменяемости деталей и СЕ;
- 13) лист по расчету экономического эффекта принятых конструктивных решений;
- 14) плакат по расчету параметров экологичности и безопасности проекта.

Содержание листов выбирается так, чтобы на них отобразить все принятые только новые конструктивные решения. В частности, для вычерчивания выбираются узлы, в которых имеются главные новшества проекта.

Структура 1-го *курсового проекта* должна составлять часть дипломного. Пояснительная записка курсового проекта содержит только конструкторскую часть и не включает части 2, 3, 4. Графическая часть обычно включает листы 1, 2, 3, 5 и 8 и уточняется при выдаче задания руководителем. Графическая часть 2-го курсового проекта включает листы 2, 3, 5, 6, 8, 9 и уточняется при выдаче задания руководителем. В целом курсовое проектирование должно способствовать успешной творческой работе студента по решению конструкторских задач дипломного проектирования с использованием вычислительной техники.

2. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Титульный лист выполняется на типовом бланке по форме (прил.1). На нём указывается тема проекта, соответствующая приказу на дипломное проектирование, и подписи руководителя и всех консультантов. Правила оформления в разделе 7.2.

Задание на дипломное проектирование - основной исходный документ, выдаётся студенту до начала проектирования руководителем, утверждается заведующим кафедрой. В задании указываются тема проекта, а также перечень конкретных вопросов, которые студент должен решить во время выполнения проекта. Оформляется как документ (см. раздел 7.3).

Аннотация – краткое содержание пояснительной записки к проекту, необходимое для ее библиографической классификации.

Содержание – перечень всех частей и параграфов пояснительной записки с указанием номера страниц. Правила оформления в разделе 7.4.

На первом листе содержания выполняется основная надпись ПЗ. Полное наименование проекта в основной надписи, на титульном листе и в тексте ПЗ должно быть *одинаковым*.

Введение – кратко отражает актуальность заданной темы, её экономическое и социальное значение, существующий уровень технического обеспечения, имеющиеся проблемы, а также цели и задачи дипломного проектирования, способствующие решению этих проблем. Указываются источники и документы (задание), на основании которых выполняется проект.

1. Конструкторский раздел - приводятся теоретические обоснования принципов функционирования машины и её рабочих органов, необходимые доказательные и проверочные расчёты элементов схем, узлов и деталей машины, описание принятых конструктивных решений.

2. Технологический раздел - приводится анализ одного из сконструированных узлов как объекта производства, разрабатываются технологические процессы его сборки и изготовления деталей с необходимыми расчётами, иллюстрациями, маршрутными картами и т.п. Рассчитывается точность сборки, размеры заготовок, режимы обработки.

3. Экономический раздел - в общем случае должен содержать оценку экономической эффективности принятых конструктивных решений в производстве и эксплуатации.

4. Экологичность и безопасность жизнедеятельности -

раздел должен содержать анализ опасных и вредных факторов, получаемых при использовании разработанной машины, и конкретные мероприятия по их устранению или нейтрализации.

Заключение должно содержать краткие выводы или оценку результатов работы, доказанные достоинства принятых решений, соответствие полученных результатов выданному заданию на проектирование.

Список использованных источников должен содержать источники информации, использованные при выполнении проекта.

Ведомость проекта – перечень всех документов проекта, имеющих основную надпись с кодом документа (графические и текстовые документы). Пояснительная записка указывается как единый документ в разделе 7.6.

Приложения. В состав приложений включают спецификации, таблицы, распечатки программ, формы ЕСТД для технологических процессов, иллюстрации и т.д., которые нецелесообразно было включать в текст проекта ввиду их большого объёма или специфики содержания.

Основная часть ПЗ (введение, разделы 1, 2, 3, 4, заключение) оформляются как неформализованные текстовые документы по правилам, приведённым в разделе 7.5.

Задание на дипломное проектирование, аннотация, список использованных источников, ведомость проекта, приложения считаются формализованными документами ПЗ и оформляются по правилам, приведённым в разделах 7.3, 7.6.

Примерное содержание пояснительной записки приведено ниже.

СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ К ДИПЛОМНОМУ ПРОЕКТУ

Введение

1. КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Техническое задание на проектирование.

1.2. Исходные данные для проектирования.

1.2.1. Сведения о природно-климатических зонах

1.2.2. Технологические свойства сельскохозяйственных материалов и сред

1.2.3. Анализ машин аналогов (цель и задачи проекта).

1.3. Обоснование функциональной схемы СХМ.

1.3.1. Анализ технологических операций и процессов и технических средств их реализующих.

1.3.2. Формирование вариантов полезных идей при создании рациональной схемы СХМ.

1.3.3. Обоснование и расчет вариантов рабочих органов, выполняющих технологические операции в СХМ.

- 1.3.4. Оценка обеспечения заданных показателей назначения проектируемой СХМ.
 - 1.3.5. Анализ вариантов возможных схем и обоснование функциональной схемы.
 - 1.3.6. Построение и описание рациональной функциональной схемы.
 - 1.4. Построение принципиальной схемы объекта проектирования.
 - 1.4.1. Композиционное построение проектируемой машины.
 - 1.4.2. Обеспечение эксплуатационных требований (агрегируемость, показатели назначения и др.).
 - 1.4.3. Оценка массы машины.
 - 1.4.4. Обеспечение устойчивости машины и агрегатов.
 - 1.4.5. Анализ возможности обеспечения надежности объекта проектирования.
 - 1.4.6. Оценка условий эксплуатации объекта проектирования.
 - 1.4.7. Построение принципиальной схемы
 - 1.5. Обоснование и построение кинематической схемы проектируемой машины.
 - 1.5.1. Выбор элементов привода.
 - 1.5.2. Организация кинематической схемы.
 - 1.5.3. Выбор механизмов контроля и управления.
 - 1.5.4. Расчет параметров кинематических элементов.
 - 1.5.5. Построение кинематической схемы.
 - 1.6. Энергетический расчет.
 - 1.7. Обоснование конструкции сборочных единиц деталей*.
 - 1.8. Организация работ с применением проектируемой машины.
2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ*
3. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ*
4. ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ*
- Заключение.
- Список использованных источников.
- ПРИЛОЖЕНИЯ.

* Привести подробную рубрикацию по рекомендациям консультанта.

3. ОБЪЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

3.1. Общие сведения о проектируемых объектах

При проектировании проектировщик использует и анализирует систему «наука – техника – производство – эксплуатация». Структурная схема конкретного взаимодействия проектировщика и объекта проектирования представлена на рис.3.1.

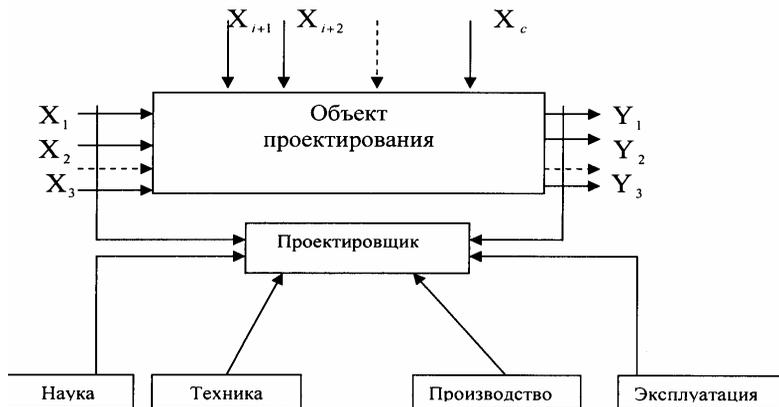


Рис. 3.1. Структурная схема взаимодействия проектировщика и объекта проектирования

Здесь X_1, \dots, X_i – исходные (входные) данные (условия эксплуатации, свойства исходного обрабатываемого материала, агротехнические требования к проектируемой машине; X_{i+1}, \dots, X_c – управляющие воздействия, обеспечивающие заданные условия функционирования объекта проектирования (конструкции рабочих элементов, их компоновка, кинематические параметры и т.д.); Y_1, \dots, Y_K – выходные показатели функционирования (экономические показатели, показатели назначения, энергоёмкость, металлоёмкость, надёжность, эргономика, эстетика и т.д.).

Объектами проектирования в соответствии с учебным планом специальности 190206, 190109 являются сельскохозяйственные машины, оборудование, агрегаты и комплексы. В отличие от функционирующей системы (системы, эксплуатируемой в агропромышленном комплексе (АПК)) описание проектируемой системы задает ее предполагаемую структуру с помощью схем, пояснительных текстов, а также логических и математических соотношений, моделирующих работу отдельных элементов системы и ее взаимодействие с окружающей сре-

дой. Таким образом, при проектировании создается структура систем. Сложившуюся структуру объектов проектирования целесообразно характеризовать элементами, составляющими её [13, 28].

Сельскохозяйственная машина в общем случае состоит из следующих групп элементов:

- рабочих органов;
- механизмов для передачи движения от источника энергии;
- механизмов управления;
- источника энергии;
- ходовой части с подвеской;
- несущих конструкций.

В зависимости от назначения машины, т.е. характера технологических операций, которые она должна выполнять, метода агрегатирования в структуре не обязательно должны присутствовать все группы элементов (например, у навесных машин ходовая часть отсутствует, так как ее роль выполняет трактор или самоходное шасси и т.д.).

Сельскохозяйственные агрегаты включают:

1) энергетическое средство (ЭС) (трактор или самоходное шасси);

2) сцепочное устройство;

3) рабочие сельскохозяйственные машины.

На практике агрегаты часто состоят из трактора и одной рабочей машины, навешиваемой или прицепляемой. В этом случае, как правило, сцепочного устройства не требуется. Иногда одна машина или орудие агрегируется с двумя тракторами (тросовая волокуша).

Самоходная сельскохозяйственная машина (СХМ) может рассматриваться как разновидность сельхозагрегатов.

Комплекс машин, как следует из определения, должен состоять из сельхозмашин и агрегатов в количестве и с характеристиками, обеспечивающими выполнение производственных процессов.

Наука – сфера человеческой деятельности, функции которой – выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о действительности; включает как деятельность по получению нового знания, так и ее результат – сумму знаний, лежащих в основе научной картины мира. Непосредственная цель науки – описание, объяснение и предсказание процессов и явлений действительности, составляющих предмет ее изучения, на основе открываемых ею законов. Проектировщик должен владеть навыками научно-технической деятельности [18].

Технику целесообразно характеризовать сведениями:

1) о машинах-аналогах;

2) о машинах, взаимодействующих с проектируемой машиной при ее функционировании;

3) о различных технических решениях из других областей техники.

Машины-аналоги должны рассматриваться как варианты схемного и конструктивного решений объекта проектирования в целом, рабочих органов, механизмов и других элементов, которые позволяют иметь данные для построения эмпирических математических моделей и анализа вариантов по показателям назначения, показателям технологичности, надежности, долговечности, ремонтпригодности, эстетических и эргономических показателей, техники безопасности и промышленной санитарии, экономической эффективности и др., а также синтеза новых вариантов рабочих органов и всего объекта проектирования.

Сведения о машинах, взаимодействующих с проектируемой машиной, как правило, представляются технической характеристикой, дополненной некоторыми данными в зависимости от решаемой задачи. Например, присоединительными размерами механизмов навески, координатами и размером вала отбора мощности и пр.

Значение технических решений из других областей техники увеличивает возможности выбора рационального варианта конструкции, а также рост показателей унификации.

Производство сельскохозяйственных машин. При проектировании предполагается предприятие – изготовитель создаваемого объекта проектирования. Учет результатов анализа производства машин-аналогов позволяет снизить затраты на изготовление проектируемой машины. К необходимым знаниям о производстве данных машин следует отнести: технологии изготовления деталей; сборки сборочных единиц; методы упаковки и транспортирования изделий производства потребителю в зависимости от предполагаемого масштаба их производства; стандарты предприятия, обуславливающие применимость мерительного инструмента, крепежа, сортамента материалов и т.п.; наличие технологического оборудования; производственных площадей; квалификации рабочих. Это позволяет обеспечить преемственность конструкций, снизить затраты и время на освоение производства, обеспечить рациональную расчлененность машин на сборочные единицы, повысить технологичность объекта проектирования.

Эксплуатация. Условия эксплуатации машин предопределяются характеристиками природно-климатических зон, технологическими и организационными факторами. К ним следует отнести: опыт подготовки машин-аналогов к эксплуатации и хранению; наличие технической базы для проведения технического обслуживания и ремонта; рациональную организацию их проведения, а также организацию движения агрегата в поле; обеспечение агрегатов сельскохозяйственными и эксплуатационными материалами или транспортом; квалификацию обслуживающего персонала.

Природно-климатические зоны характеризуются наименованием, площадью, рельефом, метеорологическими условиями, соотношением возделываемых культур, средней площадью полей, длиной гоннов, типом почвы, расстоянием внутрихозяйственных перевозок, урожайностью культур и продуктивностью животноводства. В случае рез-

кого различия этих признаков зона делится на подзоны с теми же характеристиками.

Технологические процессы сельскохозяйственного производства. Каждой зоне присущи типовые технологические процессы получения определенного вида сельскохозяйственной продукции. Технологический процесс, в котором предполагается применение проектируемой машины, должен характеризоваться:

- перечнем наименований операций;
- объемом работ на каждой операции;
- календарным сроком выполнения каждой операции;
- нормой внесения, потребления сельскохозяйственных материалов или количеством вывозимого продукта (основного или побочного);
- особенностями агро- и зоотребований к выполнению операций.

Свойства обрабатываемых материалов. В сельскохозяйственных машинах и установках могут осуществляться разнообразные механические, тепловые, химические и другие процессы по обработке различных материалов. Поэтому, обобщая опыт, накопленный в проектировании о материалах, можно сказать, что они должны характеризоваться сведениями:

- об исходных (технологических) свойствах материала, выраженных физико-механическими величинами (размерные характеристики, скорости витания, коэффициент трения, плотности и т.д.);
- о свойствах, проявляющихся под действием рабочих органов, которые могут повлиять на внутренние критерии функционирования машины (усилие на деформацию и разрушение, усилие резания и т.д.);
- о свойствах, приданным материалу в процессе обработки (размер, форма, плотность и т.д.).

Таких свойств должно быть минимальное, но достаточное количество для решения поставленных задач.

Основные задачи, решаемые при проектировании. В процессе проектирования необходимо получить данные о рациональной функциональной схеме, структуре и композиции построения объекта проектирования, удовлетворяющие всем требованиям технического задания. Это требует решения ряда соподчиненных задач. При решении этих задач необходимо формулировать и реализовывать их основные части: 1- цель; 2 – исходные данные; 3- рациональный путь достижения цели.

3.2. Стадии и этапы разработки конструкторской документации

3.2.1. Содержание технического задания

Стадии и этапы разработки конструкторской документации проводят по правилам, установленным соответствующими стандартами (ГОСТ 2.103-84) (рис.3.2).

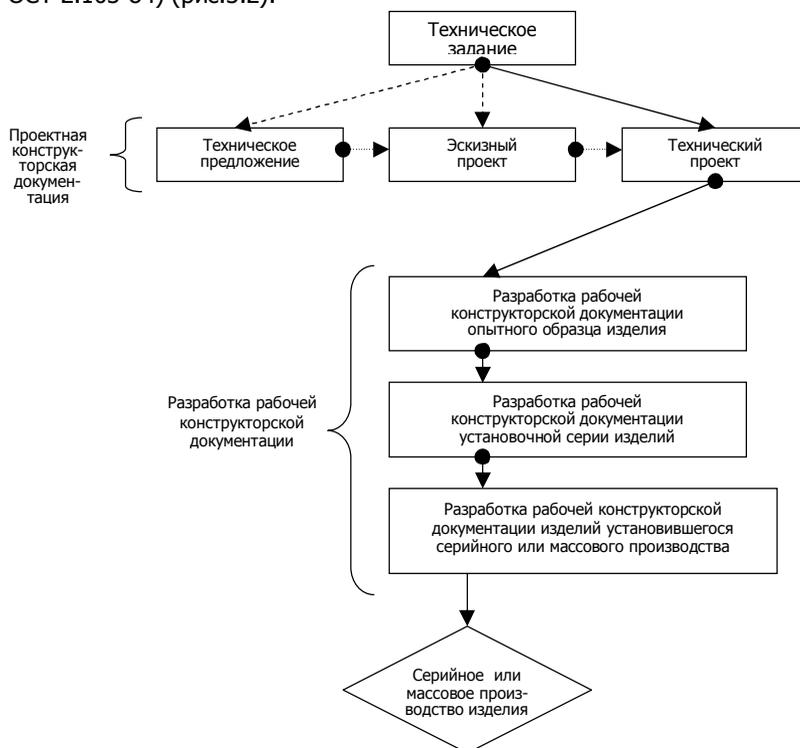


Рис.3.2. Стадии и этапы разработки конструкторской документации

Важнейшими исходным документом, определяющим технико-экономический уровень качества разрабатываемого изделия, целенаправленность процесса его разработки и народнохозяйственную эффективность, является техническое задание (ТЗ). Техническое задание разрабатывают в соответствии с исходными требованиями заказчика, а при инициативной разработке содержание ТЗ определяет разработчик на основе выполненных НИР, результатов научного прогнозирования, анализа отечественных и зарубежных достижений науки и техники, изучения патентных материалов и других источников информации (см. раздел 3).

В техническое задание включают, как правило, прогнозируемые показатели технико-экономического уровня качества изделия, в

том числе уровня стандартизации и унификации, с учетом наиболее полного удовлетворения заказчика и с учетом возможного экспорта проектируемого объекта. Включаемый в ТЗ комплекс требований не должен, однако, ограничивать инициативу разработчика при поиске и выборе оптимального решения технической задачи. ТЗ разрабатывают на изделие в целом, а в необходимых случаях и на отдельные составные части изделия [28].

3.2.2. Разработка проектной конструкторской документации

На основании утвержденного технического задания приступают к разработке проектной конструкторской документации.

Разработка технического предложения (ТП). Техническое предложение (ТП) разрабатывают в случае, если это предусмотрено техническим заданием, и если в техническом задании не содержатся исходные данные однозначного определения, наиболее рациональные принципиальные технические решения (табл.3.1).

Таблица 3.1

Документы технического предложения

Шифр документа	Наименование документа	Что содержится в документе
ВО	Чертеж общего вида	Документ, определяющий конструкцию изделия, взаимодействие его основных частей и поясняющий принцип работы изделия
ГЧ ГОСТ 2.701-83	Габаритный чертеж Схемы	Документ, содержащий контурное (упрощенное) изображение изделия с габаритными, установочными и присоединительными размерами
ПТ	Ведомость технических предложений	Документ, содержащий перечень документов, вошедших в ТП
ПЗ	Пояснительная записка	Документ, содержащий описание устройства и принцип действия разрабатываемого изделия, а также обоснование принятых при его разработке технических и технико-экономических решений
ПФ	Патентный формуляр	Документ, содержащий сведения о патентной чистоте, а также о созданных и использованных при его разработке отечественных изобретениях

Документам ТП присваивается литера П.

ТП содержит предложения проектанта, которые выполняются на основе анализа ТЗ, с целью выявления дополнительных или уточненных требований к изделию (технических характеристик, показателей качества и др.), не указанных в ТЗ, и это целесообразно сделать на основе предварительной конструкционной проработки изделия [28].

Разработка эскизного проекта (ЭП). Эскизный проект разрабатывается, если это предусмотрено техническим заданием, с целью установления принципиальных (конструкторских, схемных и др.) решений изделия, дающих общее представление о принципе работы и (или) устройстве изделия.

На стадии ЭП рассматривают варианты изделия или его составляющих частей, выполняют работы, необходимые для обеспечения предъявляемых к изделию требований:

а) выполнение различных вариантов возможных решений конструкции изделия;

б) предварительное решение вариантов упаковки и транспортировки изделия;

в) обеспечение показателей надежности;

г) оценку изделия на технологичность, унификацию, стандартизацию, эргономику, техническую эстетику;

д) проверку на патентную чистоту;

е) сравнительную оценку вариантов. Сравнение проводят по показателям **качества** изделия (назначения, надежности, технологичности, стандартизации, унификации, экономические, эстетические и эргономические показатели);

ж) выбор рационального варианта, обоснование выбора.

Документам ЭП присваивается **литера Э**, документы те же, что и для ТП, но вместо ведомости технических предложений – ведомость эскизного проекта (ЭП). При необходимости вводится теоретический чертеж (ТЧ) – документ, определяющий геометрическую форму (обводы) изделия и координаты расположения составных частей.

Чертеж общего вида (ВО) эскизного проекта ЭП в общем случае должен содержать:

а) изображение изделия (виды, разрезы, сечения); текстовую часть и надписи, необходимые для понимания конструктивного устройства изделия;

б) наименование, обозначения и техническую характеристику составных частей изделия, для которых необходимо указать данные (двигатель, электропривод, гидродвигатель и т.д.);

в) размеры;

г) схему, если она требуется, но оформлять её отдельным документом нецелесообразно;

д) техническую характеристику.

Изображение выполняются с максимальными упрощениями по стандартам.

Разработка технического проекта (ТП). Технический проект (ТП) разрабатывается, если это предусмотрено техническим заданием. Технический проект содержит окончательное техническое решение, дающее полное представление о конструкции изделия. При необходимости технический проект может предусматривать разработку вариантов отдельных составных частей изделия. В этих случаях выбор рационального варианта осуществляется на основе результатов испытаний опытных образцов изделия. При этом проводят следующие работы:

а) разработку конструктивных решений изделия и его основных составных частей;

б) технико-экономическое обоснование;

- в) выполнение необходимых схем;
- г) обеспечение надежности, ремонтпригодности, эстетики, эргономики;
- д) анализ конструкции изделия на технологичность с учетом согласования с предприятием - изготовителем (учитывается наличие необходимого оборудования и технологий на предприятии);
- е) разработку, изготовление и испытание макетов;
- ж) оценку возможности транспортирования, хранения и монтаж изделия на месте применения;
- з) проверку на патентную чистоту;
- и) выявление номенклатуры покупных изделий, согласование применения покупных изделий.

Макеты изделия изготавливают для проверки (в необходимых случаях) конструктивных и схемных решений. Документам ТП присваивается **литера Т**.

Чертеж вида общего (ВО) технического проекта по ГОСТ 2.119-73 содержит:

- а) указания о выбранных посадках изделий (нанесены размеры и предельные отклонения сопрягаемых поверхностей);
- б) технические требования к изделию, например, о применении покрытий, методы сварки и т.д.;
- в) технические характеристики изделия, необходимые для последующей разработки рабочих частей.

В пояснительной записке к ТП, наряду с подробным описанием конструкции и принципа её действия, приводят:

- обоснование применения материалов и покрытий;
- требования к точности изготовления и сборки изделия, необходимые для учета на последующих стадиях разработки рабочей документации;
- описание всех схем, входящих в состав технического процесса;
- окончательные технико-экономические расчеты на стадии проектирования.

Основной задачей разработки документации является придание разрабатываемому объекту таких качественных особенностей, которые могут быть реализованы при минимальных трудовых и материальных затратах как у потребителя, так и у производителя объекта. Поэтому основной задачей в настоящее время является отработка конструкции изделия на технологичность в процессе его создания.

3.2.3. Разработка рабочей конструкторской документации

Основной целью разработки рабочей конструкторской документации является доведение конструкции изделия по результатам изготовления, опытной проверки и технической подготовки производства до соответствия требованиям технического задания и условиям производ-

ства изделий со стабильными качественными характеристиками. В общем виде предусмотрено три стадии разработки рабочей конструкторской документации при подготовке серийного и массового производства (см. рис.3.4).

1. Стадия разработки документации опытного образца (партии) изделия включает:

а) разработку конструкторских документов, предназначенных для изготовления и испытания опытного образца изделия;

б) изготовление и предварительные испытания опытного образца (опытной партии) изделия;

в) корректировку конструкторских документов по результатам изготовления и заводских испытаний опытного образца с присвоением откорректированным документам *литера «О»*;

г) приемочные испытания опытного образца изделия [28, 71];

д) корректировку конструкторских документов по результатам приёмочных испытаний опытного образца с присвоением *литера «О₁»*.

При последующих повторных изготовлениях и испытаниях опытного образца и соответствующей корректировки технической документации им присваиваются *литеры «О₂»*, *«О₃»* и т.д.

2. Разработка рабочей конструкторской документации установочной серии изделий.

3. Разработка рабочей конструкторской документации изделий установившегося серийного или массового производства [28].

3.3. Основные направления в конструировании машин

3.3.1. Принципы и методы конструирования

Выбор методов и приемов конструирования при выполнении конкретной конструкторской работы обусловлен характером разрабатываемого объекта, степенью его сложности и новизны, масштабами и сроками разработки, наличием материальных средств для её выполнения, квалификацией конструкторских кадров и др.

Однако все методы и приемы, используемые при конструкторской разработке, как правило, базируются на четырех взаимосвязанных принципах конструирования [82,65]:

1) принцип группового проектирования;

2) принцип агрегатирования;

3) принцип унификации;

4) принцип взаимозаменяемости.

Принцип группового проектирования необходим тогда, когда возникает задача одновременной разработки целого комплекта (ряда, семейства, групп исполнений или модификаций) конструктивно подобных изделий многоцелевого назначения, соответствующих самым разнообразным условиям их использования. Разработка и стандартиза-

ция практических и типоразмерных изделий определенного вида способствуют упорядочению номенклатуры этих изделий и благодаря принципам конструктивной преемственности, агрегатирования, унификации и взаимозаменяемости позволяют существенно сократить общий цикл технической подготовки производства, создать условия для развития специализаций и кооперирования производства, снизить себестоимость и повысить качество изделий.

Принцип агрегатирования связан с усложнением конструкции машин и необходимостью организации их крупносерийного и массового производства.

Агрегатирование – это метод конструирования изделия, основанный на таком членении его на составные части (сборочные единицы и детали), при котором обеспечиваются наиболее рациональные способы производства, эксплуатационного обслуживания и ремонта изделия и последующее многократное использование его составных частей при разработке новых исполнений изделия. Внедрение принципа агрегатирования позволяет:

- 1) организовать правильное изготовление, сборку, испытания и отработку составных частей изделия на специализированных участках предприятия;
- 2) организовать специализированное крупносерийное массовое производство унифицированных составных частей;
- 3) сократить сроки разработки и подготовки новых изделий;
- 4) повысить качество изделий благодаря тщательной отработке конструкции составных частей и технологии их изготовления;
- 5) внедрить агрегатный метод ремонта изделий.

Внедрение агрегатирования машин способствовало ускорению процесса разработки и освоения образцов новой техники и совершенствованию форм и методов организации производства (производство дизелей, редукторов, шасси, кабины, колеса и т.д.).

Принцип унификации заключается в том, что составные части изделия конструируются таким образом, чтобы их номенклатура была минимальной, но достаточной для рациональной компоновки и эффективного функционирования изделия.

Унификация – это эффективный и экономичный способ создания на базе исходной модели ряда производных машин одинакового назначения, но с различными показателями мощности, производительности и т.д. или машин различного назначения, выполняющих качественно другие операции, а также рассчитанных на выпуск иной продукции. Используя этот принцип, можно выделить следующие методы создания унифицированных машин.

1. *Секционирование* – заключается в разделении машин на одинаковые секции и образования производных машин набором унифицированных секций. Этому способу конструирования хорошо поддаются транспортно-подъемные машины, например, однопоточная, 2-поточная и др.

2. *Метод изменения линейных размеров* – с целью получения различной производительности машин и агрегатов изменяют их длину,

сохраняя форму поперечного сечения. Например: молотильный барабан СК-5, $l=1118$ мм, Дон-1500, $l-1500$ мм. Главный экономический эффект при этом - сохранение технологического оборудования в производстве.

3. *Базовый метод унификации* – при разработке группы изделий, обладающих конструктивной общностью, одна из моделей группы определяется в качестве базовой. Для базовой модели характерно наибольшее количество конструктивных элементов или других признаков, свойственных всей группе изделий. Конструкции остальных изделий группы являются производными от базовой модели, т.е. модифицированными.

Этот метод обеспечивает высокий уровень конструктивной преемственности изделия и позволяет получить в сжатые сроки при ограниченной общей номенклатуре составных частей путём их различных сочетаний разнообразные изделия высокого качества. Например: зернокомбайны Дон-1500 – базовая модель; Дон-1500А; Дон-1500Б; «Вектор»-зернокомбайны, обладающие конструктивной общностью.

4. *Конвертирование* – базовую машину или её основные элементы используют для создания агрегатов различного назначения, иногда близких, а иногда различных по рабочему процессу. Например: перевод двигателя внутреннего сгорания с одного вида топлива на другой (другая степень сжатия, варьируется высотой поршневой головки); с цикла искрового зажигания на цикл воспламенения и сжатия.

5. *Компauндирование* – параллельное соединение машин или агрегатов; применяют с целью увеличения общей мощности или производительности машины. Спаренные машины могут быть или установлены рядом как независимые агрегаты, или связаны с синхронизирующими, транспортными и другими устройствами, или конструктивно объединены в один агрегат. Например: парная установка судовых двигателей, работающих каждый на свой винт; параллельно работающие две зерноочистительные машины в агрегате типа ЗАВ-40 (каждая линия 20 т/ч, две линии – 40 т/ч).

Принцип унификации способствует улучшению показателей технологичности изделий, повышению серийности производства и применению высокопроизводительных методов производства СХМ. Унификация применима также к маркам и сортаменту материалов, размерам, допускам и т.п. (канавки под резьбу, центровые отверстия и т.п.). При повышении уровня унификации до 60-80% сроки разработки этих изделий сокращаются в 1,5-2 раза.

Принцип взаимозаменяемости – это свойство детали или сборочной единицы занимать свое место в изделии без дополнительной обработки и выполнять установленные функции. При этом различают взаимозаменяемость полную и неполную, для которой характерно применение искусственных приемов (компенсация, регулировки и т.д.). В действительности этот принцип конструирования более многогранный. Различают монтажную и функциональную взаимозаменяемость, причем каждая из них может быть полной или неполной (частичной). Напри-

мер: ходовая часть зернокомбайна должна иметь полную монтажную и частично функциональную взаимозаменяемость, т.е. может несколько измениться (улучшиться) конструкция переднего или заднего моста, но обеспечивается обязательная монтажная взаимозаменяемость, т.е. этот мост приемлем для всех машин, где использовался старый.

Монтажная взаимозаменяемость агрегатов, узлов и деталей обеспечивается соблюдением требований к конструкциям по габаритно-установочным и присоединительным размерам и норм общего назначения (шероховатость поверхности, отклонения формы и расположения отверстий и т.п.)

Метод базового агрегата - в его основе лежит применение главного агрегата, который превращается в машины различного назначения с помощью присоединения к нему специального оборудования. Этот метод довольно распространен при проектировании СХМ, дорожно - и подъемно-транспортных машин.

Базовым агрегатом является обычно энергетическое средство (тракторное или автомобильное шасси), выпускаемое серийно. Монтируя на нем дополнительное оборудование, получают серию машин различного назначения. Присоединение спецоборудования требует разработки дополнительных механизмов и агрегатов (системы навески), коробок отбора мощности, лебедок, тормозов, которые можно также унифицировать.

Конструктивная преемственность – это использование при проектировании предшествующего опыта машиностроения данного профиля и смежных отраслей, введение в проектируемый агрегат всего полезного, что есть в существующих конструкциях машин.

Почти каждая современная машина представляет собой итог работы конструкторов нескольких поколений. Наряду с изучением опыта своей отрасли машиностроения следует использовать опыт других, даже отдаленных по профилю отраслей, так как часто те или иные конструктивные решения отработаны и используются в других отраслях. На основании этого сделаем вывод: *конструктор должен смотреть вперед, оглядываться назад и озираться по сторонам.*

3.3.2. Система автоматизированного проектирования

Одним из важнейших современных направлений в проектировании является система автоматизированного проектирования (САПР) [31,78,111]. САПР - организационно-техническая система, входящая в структуру проектной организации и осуществляющая проектирование при помощи комплекса средств автоматизированного проектирования (КСАП) (ГОСТ 23501-87). При этом выделяется основная функция САПР, которая состоит в выполнении автоматизированного проектирования на всех или отдельных стадиях проектирования объектов и их составных частей.

Целью создания САПР является повышение качества объектов проектирования, сокращение сроков их создания, снижение трудоемко-

сти проектирования и повышение качества проектной документации [78].

Система автоматизированного проектирования как любая искусственная или смешанная система должна удовлетворять постоянно изменяющимся потребностям человека (в частности, инженера-конструктора). Эти потребности обусловлены жесткими требованиями, предъявляемыми к срокам проектирования объектов машиностроения и качеству проектных решений. Отсюда следует, что вопросами обоснования целесообразности существования и развития конкретной САПР должно уделяться первостепенное значение.

3.4. Прогнозирование тенденций и параметров технологического оборудования на стадиях проектирования

Важной информацией, необходимой при проектировании объектов, являются тенденции развития их основных технических показателей.

Прогноз – это конкретное предсказание, суждение о состоянии какого-либо явления в будущем на основе специальных исследований.

Прогнозирование (от греческого *prognosis* – предвидение, предсказание) – это научная деятельность, направленная на влияние и изучение возможных альтернатив будущего развития и структуры его вероятных траекторий. Каждая альтернативная траектория развития связывается с наличием комплекса внешних относительно исследуемой системы (явления) условий [107-109]. Объектом прогнозирования, естественно, не могут являться любые явления или процессы. Если результат процесса однозначен, то его прогнозирование не имеет смысла. Напротив, если имеется множество возможных альтернатив для реализации процесса, то прогноз дает новую информацию.

В правительственных учреждениях, в промышленности и науке наиболее востребованы следующие прогнозы: развитие техники; ресурсов; спроса; промышленного потенциала; демографической ситуации. По принадлежности к области знания прогнозы разделяют на *научно-технические, инженерные, экономические*.

Классификация методов научно-технического прогнозирования. Научное прогнозирование насчитывает в настоящее время около 140 различных по уровню, масштабам и научной обоснованности методов и приемов прогнозирования научно-технического развития. Действительное число методов, используемых в регулярной практике, значительно меньше. Практически, наиболее целесообразно, эти методы сводятся в три основных класса:

1. Методы статистические.
2. Методы экспертизы.
3. Методы моделирования.

Методологической основой *статистической* экстраполяции тенденций является представление о развитии объекта прогнозирования как о неразрывной связи прошлого, настоящего и будущего его состоя-

ния (инертность развития), использование выявленных закономерностей за предшествующий период и в определении их на последующий период.

Понятие тенденции развития не имеет достаточно четкого определения. Принято под тенденцией развития понимать некоторое общее направление развития, долговременную эволюцию. Обычно тенденцию стремятся представить в виде гладкой траектории. Предполагается, что такая траектория, которую можно охарактеризовать в виде некоторой функции времени, назовем ее трендом, характеризует основную закономерность движения во времени и в некоторой мере (но не полностью) свободна от случайных воздействий. Тренд описывает фактическую усредненную для периода наблюдений тенденцию изучаемого процесса (технического показателя и др.) по времени, его внешнее проявление.

При наличии достаточного количества статистических данных (банк данных) (например, минимальное число данных для линейного, параболического и кубического трендов соответственно 6, 13 и 23) и при предлагаемом сохранении технологии и принципов работы машин (устройств и др.) тренд описывается математическим выражением (математическая модель). При этом метод прогнозирования заключается в экстраполяции, т.е. в продлении в будущее тенденции, наблюдаемой в прошлом. Важным методическим обстоятельством рассматриваемого класса прогнозирования является выбор соотношения глубины ретроспекции экстраполируемой тенденции (базы экстраполяции – основания прогноза) и дальности экстраполируемого интервала [28, 83].

Различают краткосрочный прогноз (5-10 лет), среднесрочный прогноз (10-15 лет), долгосрочный прогноз (15-25 лет).

Весьма распространены методы прогнозирования, связанные со сбором и систематизацией *экспертных оценок*.

Большое значение приобретают в настоящее время методы прогнозирования, основанные на математических и информационных моделях – *методы моделирования*. При этом строятся модели, основанные на изучении внутренней логики развития конкретной научной дисциплины (историко-логические модели), информационные модели (например, моделирование информационных сигналов, содержащихся в потоке патентных документов о мировом техническом опыте в каком-либо конкретном направлении), функционально-иерархические модели, одним из простейших которых являются модели, описывающие закономерности работы (функционирования) технического объекта, позволяющие прогнозировать направления развития и кратчайшие пути достижения поставленных целей развития [28].

3.5. Обеспечение качества машин при проектировании

3.5.1. Номенклатура и показатели качества объектов проектирования

Качество продукта человеческого труда рассматривается с точки зрения **соответствия этого продукта потребностям**, для удовлетворения которых он создается [15,46].

Качество продукции определяется как совокупность свойств продукции, обуславливающих её способность удовлетворять *определенные потребности в соответствии с её назначением* в конкретных условиях (ГОСТ 15467-79). Качество продукции закладывается при проектировании и в производстве, а реализуется при её эксплуатации. Для оценки качества машин применяются единичные и комплексные показатели. Наибольшее применение в машиностроении получили единичные показатели [49]. Основные показатели качества изделия:

- 1) показатели назначения;
- 2) показатели надежности;
- 3) показатели технологичности;
- 4) патентно-правовые показатели;
- 5) эргономические показатели;
- 6) эстетические показатели;
- 7) показатели транспортабельности;
- 8) показатели безопасности;
- 9) экологические показатели;
- 10) экономические показатели.

Практический интерес представляет более детальное рассмотрение показателей качества [28].

3.5.2. Стандарты ISO серии 9000

В 1987 году Техническим комитетом Международной организации по стандартизации ISO ТК-176 «Управление качеством и обеспечение качества» опубликована серия стандартов по Системам качества организаций (серии 9000), включающая следующие стандарты [16]:

- ISO 9000 «Общее руководство качеством и стандарты по обеспечению качества. Руководящие указания по выбору и применению»;
- ISO 9001 «Система качества. Модель для обеспечения качества при проектировании и/или разработке, монтаже и обслуживании»;
- ISO 9002 «Системы качества. Модель для обеспечения качества при производстве и монтаже»;
- ISO 9003 «Системы качества. Модель для обеспечения качества при окончательном контроле и испытаниях»;
- ISO 9004 «Общее руководство качеством и элементы Системы качества. Руководящие указания».

За год до этого ISO ТК-176 опубликовал трехязычный словарь терминов и их определений в области управления и обеспечения качества – стандарт ISO 8402-86, который также явился составной частью стандартов ISO серии 9000.

Основные цели выпуска стандартов ISO серии 9000:

- укрепление взаимопонимания и доверия между поставщиками и потребителями продукции из разных стран мира при заключении контрактов;
- достижение взаимного признания сертификатов на Системы качества, выдаваемых аккредитованными органами по сертификации из разных стран мира на основе использования ими единых подходов и единых стандартов при проведении сертификационных проверок (аудитов);
- оказание содействия и методической помощи организациям различных масштабов из различных сфер деятельности в создании эффективно функционирующих Систем качества.

Как видно из названия стандартов, Системы качества организаций могут охватывать все этапы жизненного цикла продукции: от разработки до технического обслуживания её в условиях эксплуатации (стандарт ISO 9001) либо только их часть, например, окончательный контроль готовой продукции (ISO 9003). Выбор модели Системы качества должен при этом осуществляться на основе рекомендации стандарта ISO 9000. К критериям, которые должны учитываться при выборе одной из трех моделей для Системы качества, приведенных в стандартах ISO серии 9000, относятся, например, наличие и уровень сложности процессов проектирования (разработки) продукции, сложившаяся на предприятии производственная структура, технология и организация производства, специфические особенности продукции, экономические факторы и т.п. Регулирование взаимоотношений между потребителем и поставщиком с помощью пяти стандартов ISO 9000 демонстрируется на рис.3.3.

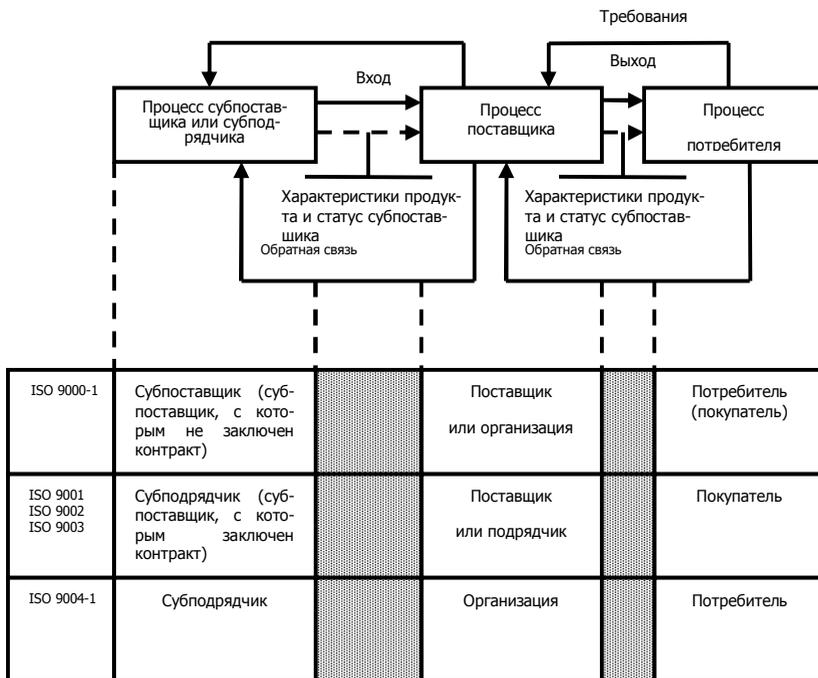


Рис. 3.3. Цепочка взаимосвязей потребителя и поставщика, предусмотренных стандартом ISO 9000

В соответствии с идеологией стандартов семейства ISO 9000 можно выделить четыре следующих направления деятельности в области качества, посредством которых Система качества воздействует на процесс формирования качества продукции и услуг на различных этапах их жизненного цикла – планирование, управление, обеспечение и улучшение качества. Каждое направление деятельности имеет свои специфические особенности, носит интеграционный характер и представляет собой четыре основные функциональные подсистемы Системы качества.

Планирование качества включает в себя деятельность по установке целей и требований элементов Системы качества. Планирование качества процессов охватывает подготовку программы качества, разработку положений по улучшению качества, подготовку применения Системы качества, включающей составление календарных графиков ее ввода в действие и применение.

Управление качеством включает в себя методы и виды деятельности оперативного характера, используемые для выполнения требований к качеству. В состав процедур управления качеством входят контроль качества, разработка и реализация мер корректирующего воз-

действия. Основное назначение подсистемы управления качеством на предприятии – выявлять каждое отклонение от установленных требований к качеству продукции и услугам, применять решения по дальнейшему использованию продукции, имеющей отклонения или дефекты, не допускать появления повторных отклонений или дефектов за счет своевременной разработки и реализации мер корректирующего воздействия.

Обеспечение качества включает в себя все планируемые и систематически осуществляемые виды деятельности в рамках Системы качества, необходимые для создания и подтверждения достаточной уверенности в том, что объект (продукция, процесс или услуга) удовлетворяет требованиям качеству.

Улучшение качества включает в себя все мероприятия, осуществляемые в организациях в целях повышения эффективности и результативности деятельности и процессов для получения выгоды как для организации, так и для ее потребителей. Постоянной целью руководителей и исполнительного персонала организации должно быть стремление добиваться непрерывного улучшения качества, что принесет пользу потребителям, самой организации, ее работникам и обществу в целом. В этом состоит один из основополагающих принципов стандартов ISO серии 9000.

3.5.3. Система управления качеством

Для разработки этой системы необходимо определить факторы, обеспечивающие качество машин. Процесс формирования качества машин включает следующие работы [113]:

- изучение аналогов машин, данных по их эксплуатации и патентный поиск;
- проектирование и расчеты;
- унификацию, стандартизацию и отработку на технологичность;
- подбор покупных изделий;
- проведение исследовательских работ по качеству машин;
- доработку конструкции по результатам исследований;
- проектирование опытной технологии;
- разработку новых методов изготовления, направленных на повышение качества машин;
- проведение исследований по технологическому обеспечению качества машин;
- доработку опытной технологии;
- изготовление опытной партии машин;
- проведение стендовых или эксплуатационных испытаний;
- доработку «слабых звеньев, технологии их изготовления и ремонта;
- выделение изделий, подлежащих ремонту, определение срока их ремонта или восстановления;
- выдачу окончательного проекта машины оптимального качества;

- проектирование маршрутной технологии изготовления машины с учетом опытной технологии;
- расчет оптимальной цены машины с учетом ее качества;
- проектирование новых предприятий или модернизацию существующих для изготовления новой машины;
- проектирование маршрутной технологии ремонта и восстановления отдельных деталей и сборочных единиц машины;
- проектирование ремонтных предприятий под разработанные технологические процессы;
- разработку отраслевых руководящих материалов, направленных на обеспечение качества машин;
- проведение совместных работ с предприятиями по повышению качества машин.

Для обеспечения постоянного повышения качества выпускаемой продукции предприятие обязано:

- осуществлять диагностирование машин при эксплуатации и сбор статистических данных по их качеству;
- выявлять «слабые» звенья в процессе эксплуатации и проводить мероприятия, направленные на повышение качества машин;
- проводить дополнительные исследования, направленные на повышение качества;
- осуществлять механизацию и автоматизацию обработки, сборки и контроля;
- вводить конструктивные и технологические изменения по согласованию с проектными организациями;
- разрабатывать маршрутно-операционный технологический процесс изготовления машин на основе проектного маршрута и внесения изменений;
- выполнять перерасчет основной цены изделия с учетом повышения их качества;
- разрабатывать руководящие материалы, направленные на обеспечение и повышение качества машин;
- производить входной контроль комплектующих и покупных изделий;
- осуществлять контроль за состоянием оборудования и измерительными средствами, их профилактику, ремонт и своевременную замену;
- выполнять контроль за соблюдением технологической дисциплины;
- осуществлять стендовые испытания и конечный контроль;
- контролировать правильность эксплуатации машин.

Управление качеством продукции – это действия, осуществляемые при создании и эксплуатации или потреблении продукции в целях установления, обеспечения и поддержания необходимого уровня ее качества.

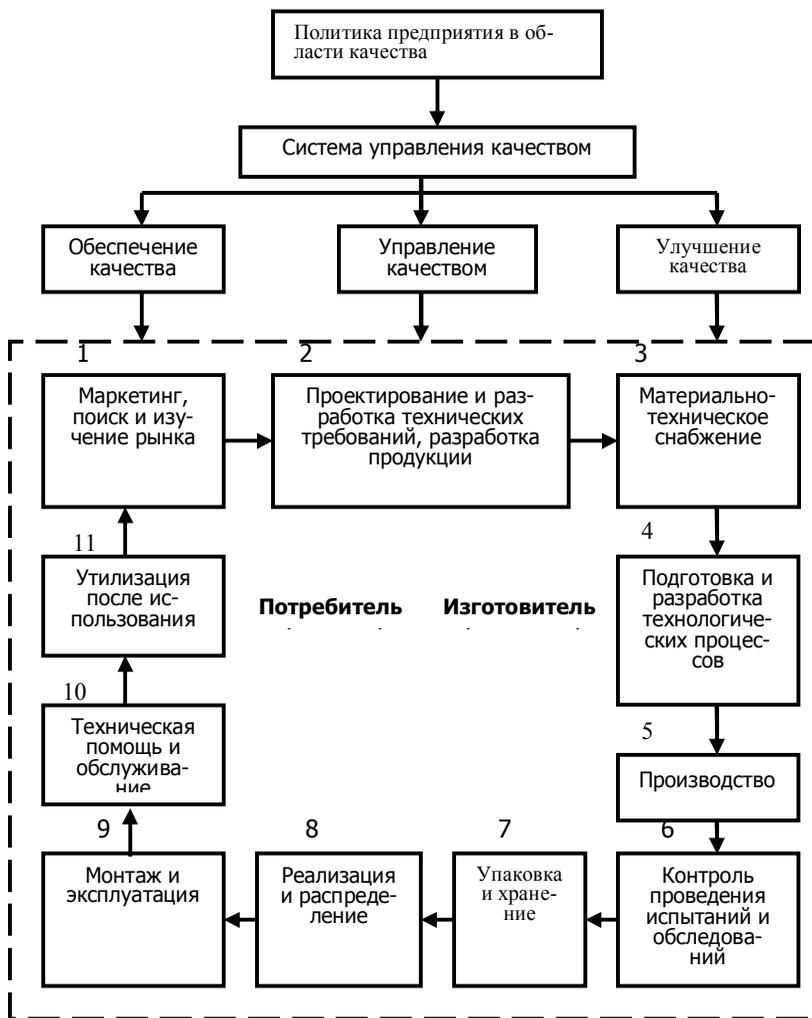


Рис. 3.4. Система качества промышленного предприятия

Система управления качеством – это совокупность управляющих органов и объектов управления, взаимодействующих с помощью материально-технических информационных средств при управлении качеством продукции (рис. 3.4). Она должна обеспечить качество конкретного изделия, и поэтому на одном и том же предприятии система может включать отдельные подсистемы по определенным видам изделий.

Система управления качеством должна охватывать все стадии жизненного цикла продукции. В методологии управления качеством

продукции рассматриваются четыре стадии жизненного цикла продукции: исследование и разработка; изготовление; обращение и реализация; эксплуатация и потребление.



Рис. 3.5. «Петля качества» – систематически проводимые технологические мероприятия

В соответствии с ISO серии 9004 в жизненный цикл продукции («петля качества», рис.3.5) входят следующие этапы [28]: 1 - маркетинг, поиск и изучение рынка; 2 - проектирование и (или) разработка технологических требований; 3 - разработка продукции; 4 - материально-техническое снабжение; 5 - подготовка и разработка производственных процессов; 6 - производство; 7 - контроль и проведение испытаний и обследование; 8 - упаковка и хранение; 9 - реализация и распределение продукции; 10 - монтаж, эксплуатация; 11 - техническая помощь и обслуживание; 12 - утилизация после использования (рис.3.5).

4. МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

В курсовых и дипломном проектах студент в соответствии с заданием, как правило, выполняет проектные работы (см. рис.3.4) и разрабатывает рабочую конструкторскую документацию опытного образца изделия. Рассмотрим реализацию основных разделов дипломной (курсовой) работы по проектированию и конструированию объекта проектирования.

4.1. Техническое задание на проектирование

Техническое задание является документом, в котором отражены все требования к будущей машине. Студент должен ознакомиться с ними в процессе прохождения преддипломной практики. Техническое задание устанавливает основное назначение, технические характеристики, показатели качества и технико-экономические требования, предъявляемые к разрабатываемому изделию, выполнение задаваемых стадий разработки конструкторской документации и ее содержание, а также специальные требования к изделию.

По заданию руководителя техническое задание может быть разработано в сокращенном виде с обязательным содержанием разделов, включающих изменения в соответствии с новизной проекта.

Как правило, техническое задание может быть составлено студентом с обязательными данными по разделам в соответствии с ГОСТ 2.103-68, (см. раздел 3.2.1).

4.2. Исходные данные для проектирования

4.2.1. Сведения о природно-климатических зонах

При проектировании сельскохозяйственных машин и оборудования (СХМ) необходимо учитывать возможное изменение исходных свойств обрабатываемых материалов, пределы изменения этих свойств, а также условия, в которых будут работать разрабатываемой машины. Так урожайность и соотношение в урожае масс зерна и соломы будут влиять на производительность зерноуборочного комбайна. На его сезонную выработку влияют также размеры полей, вероятность дождливых дней в сезон уборки и другие внешние условия. Поэтому для разных регионов требуется проектировать разные модификации комбайнов. Для Нечерноземной полосы России достаточно, чтобы производительность комбайна при уборке была 5-6 кг/с, а для многих хозяйств Северо-Кавказского региона требуется 10-12 кг/с. Кроме того, на северо-западе и востоке страны во время уборки зерновых, травы вероятность осадков велика. Поэтому комбайны и другие машины должны быть способны работать не только при повышенной влажности хлебной массы, при низкой несущей способности почвы, но и по другой технологии. Там, где поля небольшие, чередуются с перелесками, болотами или

каменистыми участками, широкозахватные прицепные агрегаты будут неэффективны и, напротив, в степных районах Сибири с малой плотностью населения, но с большими площадями полей, выровненным рельефом, отсутствием большого количества препятствий необходимы только такие агрегаты.

Поэтому прежде, чем начать проектирование машины, надо собрать сведения о местности, в которой она будет работать - почвенно-климатических условиях, особенностях культур и хозяйств для того, чтобы машина была полностью приспособлена к ним. Известны случаи, когда у машин, поставляемых на экспорт в тропические страны, насекомые (термиты) до начала работы съедали краску и часть деревянных деталей. Поэтому, если предполагается не только использовать машины в стране, но и экспортировать их в ближнее или дальнее зарубежье, надо выявить отличия условий и решить, достаточно ли приспособлена данная конструкция или требуется разработка специальной модификации машины.

Таким образом, разные природно-климатические условия коренным образом влияют на конструкцию проектируемой СХМ, а так как большинство республик бывшего СССР остаются потребителями качественной сельхозтехники, выпускаемой в России, следует учитывать возможность работы наших машин в Белоруссии, Украине, Казахстане и др.

Систематизированные сведения о природно-климатических зонах (далее зонах) приводятся в сборниках по Системе машин для 20-ти зон, на которые делилась территория бывшего СССР [87]. В характеристике содержатся краткие общие сведения о почвах, о начале и конце полевых работ, вероятной влажности зерна в период уборки (прил.3). Эту характеристику можно принять за основу, но использовать эти сведения целиком нельзя, необходимо выбирать те сведения, которые будут использоваться при обоснованиях и расчетах.

Первый вопрос, на который надо дать в записке обоснованный ответ в разделе: **Сколько и какие зоны надо характеризовать?**

1. Число описываемых зон должно быть достаточным, чтобы охватить весь спектр условий предполагаемого применения машины и не включать зоны, в которых машина продаваться не будет.

2. Приводить характеристику тундровой зоны, не используемой для товарного производства продуктов растениеводства, надо лишь в том случае, когда проектируемую машину предполагается использовать на Крайнем Севере.

3. Для машин, предназначенных для производства подсолнечника, необходимо изучить географию площадей подсолнечника, который требует высоких температур, умеренной влажности почвы и высокоплодородных почв. Оригинальная диаграмма, составленная на основе статистического сборника [80] и отдельных сведений из интернета, показывает, что основные производители подсолнечника - Северо-Кавказский район (подзоны b_1 и b_2), Центрально-Черноземный район (зона 4), Поволжский район (зона 5).

Таблица 4.1

Природно- климатические зоны преимущественного применения зерновой сеялки

№ зоны (см. приложение 3)	Название зоны	Начало и конец полевых работ	Климатические особенности			Почва	Характеристика полей			
			Климат Начало и продолжительность сева, дней	Особенности климата	Количество осадков в год, мм		Рельеф зоны	Размеры полей, га	Средняя длина гонов, радиус переэдов, м	Вероятность кондиционирования зерна при уборке
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2 (2 ₁ , 2 ₂ , 2 ₃)	Центральный район России	20.04 – 02.05 30.09 – 10.10	Умеренный 15-30.04; 10-12	Годовое испарение влаги (ГИВ) 300 – 500 мм	400 – 600, в отдельные годы 700-900	Деревоподзолистые, серые лесные и черноземы, засоренность камнями	Выравненный	28% полей имеют площадь до 3 га, 25% полей имеют площадь от 3 до 33 га	400 – 800, 2000	0,21
4	Центрально-черноземный район	10.04 – 15.04 15 – 25.10	Умеренно-континентальный 05-20.04; 8-10	Неустойчивый, большие колебания температуры, ГИВ 480 -600 мм, лесостепь	450 - 500	Обыкновенные черноземы – 70%, остальные дерново-подзолистые	Разнообразен	У 50% полей площадь превышает 30га У 18% полей площадь превышает 10 га	800 - 1000	0,66
6 ₁	Северо-Кавказский район (степные районы)	21.03 – 11.04 1.11 – 11.11	С неустойчивым, недостаточным увлажнением 25.03-10.04; 5-7	Годовое испарение влаги 700 – 800 мм	200 – 250, в отдельных районах 350 – 600	Черноземы, встречаются солонцовые почвы	Выравненный	У 70% полей площадь равна или превышает 30 га	> 1000, в ряде районов 600 - 1000	0,99

Таблица 4.2

Природно-климатические зоны преимущественного применения картофелеуборочного комбайна

№ зоны (см. приложение 3)	Название зоны	Территория (области, края, республики)	1. Климатические особенности. 2. Сроки уборки. 3. Кол-во дождливых дней в уборку	1.Характеристика почв. 2. Удельное сопротивление, МПа 3. Поля засорены камнями, %	Длина гона, м	Площадь поля S, га Радиус переезда R, км
1	Северо-Западный район	Архангельская, Вологодская, Ленинградская, Мурманская, Новгородская, Псковская, Карелия, Коми	1.Повышенная влажность; 2. 09 - 20.09; 3. 10 -12	1.Супесчаные-33%, легкие и средние суглинки – 45% 2. $(0,46-0,49) \times 10^{-1}$ 3. 60-70%	150-13% до 300-43% до 300-22%	S до 3га: R≈3 км
2	Центральный район	Брянская, Владимирская, Калужская, Московская, Орловская, Рязанская, Смоленская, Тульская	1.Повышенная влажность; 2. 10 - 30.09; 3. 8 -10	1.Супесчаные-16,7-30% 2. $0,53 \times 10^{-1}$ МПа 3. До 14 %	от 400 до 800	S до 3 га - у 28% полей; 3-8 га – у 25% полей; 9-33 га – у 25% полей; R=2 км

Представление данных по зонам должно быть информативным и компактным. После соответствующих пояснений они могут быть представлены различными таблицами, графиками, номограммами и т.д. В одной таблице невозможно дать полную характеристику зон для конкретной машины (табл.4.1, 4.2).

Когда зона делится на подзоны и когда необходимо более подробно характеризовать части зоны, целесообразно давать состав зоны по областям. В табл.4.2 не поместились сведения по урожайности в зонах, составу основных сортов возделываемого картофеля, ботаническому составу преобладающих сорняков и другие важные сведения. Поэтому в рамках формата пояснительной записки рекомендуется давать две таблицы. В одной характеризовать непосредственно климатические условия, а во второй - условия сельхозпроизводства, характерные для зон. Необходимо ориентироваться на поиск важных недостающих сведений. Некоторые могут содержаться только в протоколах испытаний МИС, научно-исследовательских отчетах, статьях и диссертациях.

Не допускается включать в раздел ненужную для проекта информацию. Так, в примере (см. табл.4.1) общая характеристика климата (умеренный, неустойчивый) и годовое испарение влаги напрямую не влияют на параметры при проектировании сеялки, поэтому являются бесполезными.

Данные по урожайности, площадям, занятым культурой в зоне, наличию техники и другие не остаются постоянными, поэтому в проектах необходимо давать обновленные сведения. Каждый год выпускаются новые статистические сборники за предыдущий год. По этой информации и надо характеризовать зону.

4.2.2. Технологические свойства сельскохозяйственных материалов и сред

Цель технологических сельскохозяйственных процессов, выполняемых сельскохозяйственными машинами, – получение материалов (продуктов, кормов, сырья) с заданными свойствами, определенными качественными и количественными характеристиками. При этом рабочие органы машин взаимодействуют с различными средами (почвой, семенами, стеблевой массой и др.), фазами вещества (газообразной: воздух, пары воды, аммиак и др.; жидкой: вода, раствор химикатов, молоко, навозная жижа и др.; твердой: гранулированные удобрения, комбикорма, камни и др.), сопутствующими технологическими материалами, полезными продуктами и отходами. Большинство сред являются произвольной смесью фаз веществ. Так, в почве, зеленом корме, стеблевой массе, силосе присутствуют все физические состояния. Это и определяет сложное поведение таких материалов, чаще всего они проявляют себя как упругопластичные материалы с нелинейными характери-

стиками. Кроме того, сельскохозяйственные материалы являются, как правило, живыми организмами или содержат биологическую живую среду. В дальнейшем все продукты, сопутствующие компоненты и среду будем называть материалами, а физические, химические и другие свойства, задействованные при выполнении технологических процессов, – технологическими свойствами.

При обработке только в редких случаях живая часть может или должна видоизменяться. Эту особенность сельскохозяйственных материалов необходимо учитывать при установлении ограничений на воздействие. Так, из условий неповреждения мякоти картофеля установлена допустимая высота падения клубней на различные поверхности (табл.4.3) или допустимая скорость соударения. Это относится ко многим сельскохозяйственным материалам: рассаде; овощам; фруктам; яйцам и др.

Таблица 4.3

Критическая высота падения клубней картофеля, корней и плодов овощных культур

Культура	Критическая высота падения, мм			
	на дерево, фанеру	на металлические прутки	на техническую резину	на слой данной культуры
Картофель	200-300	100-200	100-200	200-300
Морковь	-	100-300	-	200-400
Столовая свекла	-	200-400	-	400-500
Вызревшие луковицы	-	500-1000	-	1000-1500
Томаты:				
красные	100-150	-	150-200	450
зеленые	150-250	-	300-400	-
Кочаны капусты	-	-	до 100	до 200

Примечание: Другие данные по свойствам клубней картофеля, корней и плодов овощных культур см. в таблицах 2.10, 2.11 [11]. Если же необходимые данные отсутствуют, то студент должен определить экспериментально свойства сельхозматериала самостоятельно или под руководством преподавателя. Полученные студентом новые корректные материалы по свойствам будут регистрироваться в электронной базе как новые, а раздел оцениваться как научно-исследовательский, регистрируется авторство.

Допустимая температура осушки поверхности овощей и фруктов, сушки зерна, кормов (табл.4.4) связана с температурой коагуляции белков; допустимые силовые усилия на растения, почву следуют из условия отсутствия остаточных деформаций и разрушения структуры. Концентрация химикатов при опрыскивании, внекорневой подкормки, обработке животных определяется возможностью химических ожогов и отравлениями.

Таблица 4.4

Температурные режимы сушки
семенного зерна в зерносушилках

Культура	Влажность семян до сушки, %	Число пропусков семян через зерносушилку	Шахтные		Барабанные*	
			Температура теплоносителя, °С		Максимальная температура нагрева семян, °С	
Пшеница, рожь, ячмень, овес	18	I	70		45	48
	20	I	65		45	48
	26	I	60		43	45
			65		45	48
			55		40	43
			60		43	45
свыше 26	II	65		45	48	
		60		43	45	
		65		45	48	
Кукуруза	18	I	60		40	-
	20	I	55		35	-
			60		40	-
	23	I	50		32	-
			55		35	-
			60		40	-
Гречиха, просо	18	I	65		45	48
	20	I	60		45	43
	26	I	55		40	43
			60		45	45
	свыше 26	I	50		38	40
			55		40	43
60			45	45		
Горох, вика, чечевица, рис	18	I	60		45	-
	20	I	55		43	-
			60		45	-
	25	I	50		40	-
			55		43	-
			60		45	-
	свыше 30	II	45		35	-
			50		40	-
55			43	-		
60			45	-		

Примечание. Другие данные по свойствам зерна см. прил.5.

Сохранение свойств важное, но не основное содержание сельскохозяйственных операций. Большинство сельскохозяйственных материалов должны быть преобразованы, их свойства изменены под воздействием рабочих органов. Поэтому необходимо знать технологические свойства исходного материала во время обработки на ключевых пози-

циях и выходного продукта. Из-за разнообразия, многокомпонентности сред и сложности процессов обработки, нелинейного влияния одного из многих компонентов среды на свойства всего материала математическое описание сельскохозяйственных процессов очень сложно.

Поверхностные свойства материалов представляются статическими и динамическими углами и коэффициентами внутреннего и внешнего трения по различным поверхностям (см. прил.5, табл.5.1.5, 5.2.4, 5.4.5, 5.4.6 и др.). В действительности поверхностные свойства более многообразны, но изучены еще недостаточно. Например, учет адгезии (свойства прилипания) почвы необходим при проектировании почвообрабатывающих, сока растений – при разработке уборочных и других машин. Адгезия железистого порошка семенами используется в магнитных сепараторах. В последнее время при разработке автоматических сортировщиков по качеству продуктов стали изучаться такие поверхностные свойства, как отражательная способность, прочность кожуры, электропроводность, цветовой спектр и др.

Один из самых распространенных классов свойств является размерные (геометрические), массовые и размерно-массовые характеристики, которые используются при посеве, уходе, уборке, очистке и сортировании продуктов. Геометрические свойства объектов обработки характеризуются в основном линейными размерами (например, высота стебля, размеры колоса, размеры зерен, гранул, зоны корней, размеры тела и отдельных частей животного, взаимное расположение объектов по площади поля). В процессах могут быть использованы пространственные характеристики (сумма или произведение комбинаций размеров), объем, поверхностные и проекционные размеры материалов, их взаимное положение относительно целого, друг друга. Комбинациями размерных и массовой характеристик являются плотность, положение центра масс (стебля). Следует различать плотность ткани материала (например, для картофеля она составляет $(1,04-1,1) \times 10^3$, для зерновых $(1,3-1,4) \times 10^3$ кг/м³) и натуру – насыпную плотность – массу в единице объема (для картофеля она составляет 640–670, для зерновых 650-780 кг/м³). Обращаем внимание на неправомерность использования термина «удельный вес», который не имеет размерности в системе СИ. В жатках, косилках и подборщиках используется специфическая плотность – линейная – масса валка на единице длины, при посеве – масса 1000 зерен. Все эти свойства легко определяются, хорошо изучены и даны во многих источниках.

Следующий важнейший класс технологических свойств - механико-силовые и механико-энергетические. Ввиду их многочисленности

рассмотрим их через механические процессы в сельхозмашиностроении, которые можно свести к трем группам:

- разрушение естественных связей для дезинтеграции;
- создание новых связей для получения материалов с новыми свойствами;
- перемещение в пространстве объектов обработки и сельхозматериалов.

Во всех случаях необходимо обеспечить достаточное силовое воздействие на сельскохозяйственные материалы при соответствующем перемещении. При этом должны быть известны ограничения, обеспечивающие качество технологического процесса. Например, для отделения клубней картофеля от комков может использоваться различная прочность. Для исключения повреждений надо знать минимальное статическое воздействие на клубни картофеля, вызывающее повреждения мякоти $\approx 150-200$ Н.

Основными методами воздействия при дезинтеграции и создании новых связей являются растяжение, сжатие, сдвиг, кручение, изгиб и возможные их комбинации. В зависимости от характера нагружения, скорости рабочего элемента рабочего органа, а также от состояния материала - влажности, фазы развития (спелости) будет зависеть поведение материала, т.е. его сопротивление воздействию, поэтому от первого проекта до дипломного необходимо формировать банк данных об обрабатываемых материалах [87], дополняя его все новыми сведениями. При обработке почвы – это удельное сопротивление почвы как по площади Н/м^2 , так и погонное Н/м , характерное для поверхностной обработки с фиксированной глубиной. Разновидность характеристики - удельное сопротивление почвы при вспашке, которое определяется специальным тензонометрическим плугом и включает в себя усилия от трения, адгезии и инерции и характеризует не только обрабатываемость почвы, но и КПД плуга. Для других материалов аналогичными характеристиками будет удельная сила резания, смятия, напряжение разрушения и другие свойства. При работе с жидкими и газообразными материалами необходимо знать их вязкость, коэффициенты сопротивления по длине трубопровода и местные.

В механико-энергетических свойствах – затратах энергии на процессы – вместо силы рассматривается работа или мощность с получением удельной работы вымолота, резания, разрушения и др.

В общем случае массовые характеристики объектов (например, масса плода, ботвы, их соотношение), силовые характеристики или энергия для совершения процесса и необходимое перемещение (например, работа разрушения связи зерна с колосом $1,8$ Н см, усилие разрыва подземной части сорняка 34 Н, скорость витания 4 м/с и т. д.), ко-

коэффициенты трения и другие характеристики даются в записке в том случае, если в дальнейшем они используются при расчетах и обоснованиях и на них даются ссылки в основных разделах. Кроме максимальных, минимальных, средних значений величин, должны приводиться статистические модели варьирования этих характеристик или их отклонений (относительных или абсолютных) от средних величин.

4.2.2.1. Физико-механические свойства почвы

Физико-механические свойства и плодородие почвы в значительной степени зависят от размеров и количества твердых частиц, входящих в ее состав [11]. В зависимости от размеров твердые частицы подразделяют на каменистые включения (частицы больше 1 мм) и мелкозем (частицы меньше 1 мм). Для классификации почв по механическому составу твердые частицы мелкозема условно разделяют на две размерные фракции - физический песок (частицы диаметром более 0,01 мм) и физическую глину (частицы диаметром менее 0,01 мм). В основу классификации почв по механическому составу положено соотношение физических песка и глины (см. прил.5, табл. 5.1.1) [11].

Почвы с высоким содержанием глинистых частиц при обработке требуют больших энергетических затрат, поэтому их называют *тяжелыми*. Почвы с высоким содержанием песчаных частиц относятся к *легким*. Лучшими по механическому составу считаются суглинистые и супесчаные почвы с содержанием илистых частиц (частицы размером менее 0,001 мм) от 10 до 40%. Каменистые включения различают в зависимости от диаметра камней (см. прил.5, табл. 5.1.2), а почвы - по степени содержания камней в почве (см. прил.5, табл. 5.1.3) [87].

Плотность почвы ρ - это отношение массы m сухой почвы к объему V пробы, взятой без нарушения ее естественного сложения ($\text{т/м}^3 = \text{кг/дм}^3 = \text{г/см}^3 \approx 0,95-1,4$) для вспаханной и естественно уплотненной почвы (рис. 4.1).

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

Оптимальная плотность пахотного горизонта для большинства сельскохозяйственных растений $\rho = 1,0-1,2 \text{ г/см}^3$. Плотность не входит в агротехнические показатели качества обработки, поскольку нет точных простых методов ее измерения.

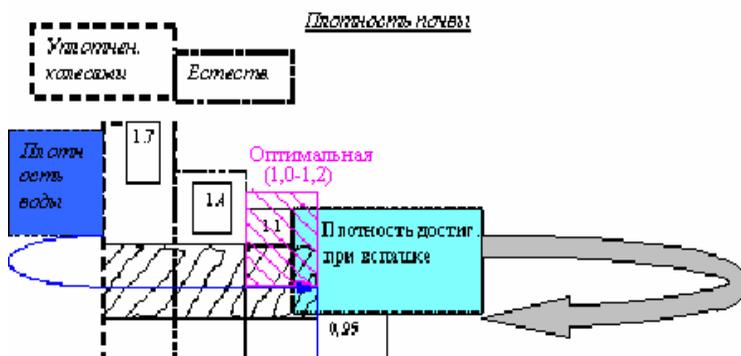


Рис.4.1. Плотность почв в различном состоянии

Скважность или пористость - это суммарный объем всех пустот в почве, заполненных водой и воздухом. Общая скважность P_c равна отношению объема пустот V_n к единице объема почвы $V(\%)$:

$$P_c = \frac{V_n}{V} 100.$$

Скважность зависит от механического состава, структуры и степени уплотнения почвы. У суглинков и глин общая скважность составляет 50-60%, у торфяных почв – 80-90%, у песчаных – 40-45%. Скважность также не указывается при обработках.

Твердость почвы - способность почвы сопротивляться вдавливанию любого деформатора - одна из ее важных механических характеристик.

Данные по сопротивлению глинистого чернозема различным деформациям при различной абсолютной влажности W_a приведены в табл.2.1.6 [11]. Как следует из таблицы, сопротивление почвы растяжению и сдвигу почти в 10-20 раз меньше, чем сжатую.

В качестве показателя трудности обработки почвы принимают удельное сопротивление почвы при вспашке – отношение силы протаскивания пластины к ее площади в направлении \perp ее поверхности. Удельное сопротивление характеризуется коэффициентом удельного сопротивления K (Па), который зависит от физико-механических свойств почвы, формы и размеров плужного корпуса и предплужника, наличия дисковых ножей и других факторов. Чаще используют коэффициент удельного сопротивления при определенной обработке, например, при вспашке K' . По результатам динамометрирования плуга коэффициент K' равен:

$$K' = \frac{P - f_{\Pi} G}{aB},$$

где P - общее тяговое сопротивление плуга; $f_{\text{п}}$ - коэффициент «протаскивания» плуга в открытой борозде составляет 1/2 коэффициента трения почвы по стали; G - вес плуга; a - глубина вспашки; B - ширина захвата плуга.

В табл.4.5 приведены коэффициенты удельного сопротивления K' в зависимости от механического состава и степени освоенности почвы [11]. В основу деления почв по трудности обработки положено удельное сопротивление при вспашке (см. прил.5, табл. 5.1.8). Удельное сопротивление по ширине захвата (погонное) K'' , Н/м присуще обработкам с фиксированной глубиной (культивация, посев,...) и многим другим операциям (см. прил.5, табл. 5.1.9)

Таблица 4.5
Коэффициент удельного сопротивления $K \times 10$, МПа

Тип почвы	Степень безопасности почвы	Тип почвы по механическому составу			
		суглинистая	тяжелосуглинистая	среднесуглинистая	легкосуглинистая супесчанная
Дерново-подзолистая	Целина и залежь	0,994	0,717	0,507	0,408
	Травяной пласт	0,748	0,567	0,438	0,308
	Жнивье	0,669	0,478	0,354	0,259
Черноземная	Целина и залежь	0,923	0,721	0,531	0,403
	Травяной пласт	0,884	0,582	0,456	0,323
	Жнивье	0,639	0,499	0,361	0,252
Каштановая	Целина и залежь	1,000	0,690	0,556	0,384
	Жнивье	0,696	0,480	0,370	0,217

Примечание: Другие данные по свойствам почвы см. прил.2.

Абразивные свойства почвы. Абразивный износ рабочих органов почвообрабатывающих машин зависит не только от свойств материала, из которого они изготовлены, но и от механического состава почвы, главным образом от содержания физического песка [84]. По критерию абразивного износа почвы делятся на три группы:

- 1) с малой изнашивающей способностью, содержащие до 80% физического песка (глинистые и суглинистые почвы);
- 2) супесчаные со средним абразивным износом, содержащие от 80 до 95% физического песка и незначительное количество каменистых включений;
- 3) песчаные, содержащие от 95 до 100% физического песка с большим количеством каменистых включений и обладающие значительным абразивным износом.

Максимальный абразивный износ лемехов при вспашке 1 га на почвах первой группы составляет 2-30 г, на почвах второй - 30-100 г и на почвах третьей - 100-450 г.

4.2.2.2. Физико-механические и технологические свойства трав и силосуемых культур [2, 8]

Для кормления животных используются корма, приготовленные из многолетних и однолетних трав и культурных растений тонкостебельных и толкостебельных, – зеленая масса, силос, сенаж, сено, витаминная мука, белковые концентраты. Многолетние бобовые травы – клевер, люцерна, эспарцет, донник и их травосмеси со злаковыми травами могут давать сравнительно высокие урожаи – 45-50 ц, а при орошении – 100-150 ц сена с гектара.

Многолетние травы, например клевер в смеси с тимофеевкой и в чистом посеве при урожае 50 ц сена с гектара, дают 2500-2600 кормовых единиц. Каждая кормовая единица этого корма полностью обеспечена белком: в клеверо-timoфеечном сене его содержится в среднем 104, а в сене клевера 152 гр.

Ценность кормовых культур (см. прил.5, табл.5.2.1) [87] определяет приоритетность назначения кормоуборочных машин. Особенностью многолетних бобовых трав является развитие новых молодых побегов в месте перехода стебля в корень. Это определяет необходимость низкого среза для исключения потерь. Бобовые травы обладают мощной корневой системой, способной проникать на глубину 1,5-2 м и более и в ширину на 50-100 см. Корни люцерны иногда достигают глубины 5-7 м. Это также должно быть учтено при разработке ходовой части машин. Общая характеристика кормовых растений важна при разработке посевных и машин для ухода и уборки [11].

Важнейшими технологическими свойствами кормовых культур являются сила (табл.4.6, см. также прил.5, табл.5.2.4) (или удельная сила), работа резания, фрикционные свойства (табл.4.7, 4.8; см. также прил.5, табл.5.2.3, 5.2.4) [87].

Таблица 4.6

Сопrotивление резанию стеблей кукурузы разного диаметра

Диаметр стебля, мм	Максимальная сила сопротивления, кг	
	3-я и 4-я фазы	5-я фаза
20-22	30-36	10-23
22-24	36-39	21-24
24-26	38-50	22-25
26-28	40-60	30-36
28-32	50-70	35-45

Технологические свойства могут быть зависимыми от метода определения или от типа рабочего элемента, поэтому приведенные значения силы резания в разных источниках отличаются (см. табл.4.8).

Таблица 4.7

Характеристика и технологические свойства кормовых растений

Культура	Способ посева	Периоды уборки	Толщина стебля на высоте среза, мм		Высота стебля, м		Наибольшая урожайность, т/га	Удельная работа резания, кг м/см ²		Измельченная масса			
			min	max	min	max		min	max	min	max	Плотность массы в кг/м ³	Угол естественного откоса
Толстостебельные													
Кукуруза	Квадратно-гнездовой, ширококорядный	Молочно-восковой и восковой спелости	15	50	1	5	180	0,06	0,24	300-350	450	50-55	
Подсолнечник	Ширококорядный	Цветение	20	50	1	3,5	70	0,06	0,22	350-315	475	50-55	
Земляная груша	Сплошной	Поздней осенью	15	45	0,8	2,5	80	0,07	0,24	350-375	475	50-55	
Тросник	Сплошной	До цветения	15	30	1,5	3,5	90	0,08	0,24	350-375	475	55-57	
Кормовая капуста	Ширококорядный	Поздней осенью	30	70	0,5	1,0	60	0,09	0,26	350-375	525	48-53	
Травяные													
Вико-овсяная смесь и другие бобово-злаковые	Сплошной	В начале образования бобов	3	8	0,5	1,0	15	0,05	0,22	280-330	400	47-49	
Рожь		Молочная спелость	3	8	0,5	1,0	20	0,05	0,21	280-350	340	45-47	
Луговая трава		Цветение	2	5	0,3	0,8	10	0,04	0,22	280-300	350	46-50	
Сорго		Молочная спелость	10	15	0,5	3,0	80	0,06	0,22	250-300	350	47-49	
Люпин		Цветение	5	15	0,3	0,9	60	0,06	0,24	300-350	430	48-50	
Чумиза		Молочная спелость	5	15	0,5	1,5	60	0,1	0,29	280-330	430	48-50	
Чина		В начале образования бобов	3	6	0,2	0,5	4	0,03	0,19	200-300	350	45-55	
Суданка		Восковая спелость	3	10	0,8	3,0	70	0,06	0,24	250-300	350	49-55	

Таблица.4.8

Фрикционные свойства стеблей
подсолнечника и кукурузы с учетом типа лезвия
(диаметр стебля 27-29 мм)

Культура	Характеристика лезвия	Двойной угол трения, град.	Угол трения, град.
Подсолнечник	Гладкое	19-20	9,5-10
Подсолнечник	Насечённое сверху	85-90	42-45
Подсолнечник	Гладкое, насечен. сверху	28-32	
Кукуруза	Гладкое	18-19	9-9,5
Кукуруза	Насечённое сверху	68-76	34-38
Кукуруза	Гладкое и насечен. сверху	25-28	

4.2.2.3. Физико-механические и технологические свойства зерновых культур

Технологические свойства зерновых растений [11, 51] и их элементов влияют на параметры и режимы рабочих органов зерноуборочных комбайнов. Урожайность - одна из основных характеристик убираемой массы. В различных странах и регионах нашей страны урожайность, например пшеницы, изменяется от 1,5 до 7,0 т/га, длина стеблей колосовых культур $l_{cm} = 400-1500$ см, длина колоса $l_K=4-8$ см с коэффициентом вариации 0,22-0,28. Количество растений на 1 м приходится от 270 до 800. Коэффициент соломистости хлебной массы

$$\beta = \frac{m_c}{m_c + m_z},$$

где m_c - масса незерновой части срезанных растений; m_z - масса зерна; $\beta=0,3-0,75$.

Хлебостой характеризуется полеглостью растений

$$\Pi = \frac{l_{cm} - h}{l_{cm}} 100\%,$$

где h - среднее расстояние от поверхности поля до вершины колоса.

При длине растений $l_{cm} = 70-90$ см и полеглости $\Pi=50\%$, а также при длине растений $l_{cm} = 40-60$ см и полеглости $\Pi 30\%$ условия работы комбайнов являются нормальными, штатными. При иных условиях работа комбайнов затруднена полеглостью растений, что ведет к снижению их производительности во избежание повышенных потерь зерна.

Масса зерен влияет на вымолот, дробление и выделение из во­роха. Масса 1000 зерен колосовых культур изменяется в пределах 26-55г. Коэффициенты трения зерна по стальному листу $f=0,14-0,20$, по прорезиненному полотну и резине $f =0,40-0,56$. Коэффициенты трения f_{cm} стеблей пшеницы при влажности 10-14% и давлении 1,5 МПа следующие: по фанере 0,18-0,22; по винипласту 0,28-0,36; по стальному окрашенному листу 0,32-0,42; по прорезиненному полотну 0,43-0,54. Натура - насыпная масса зерна в объеме 1 л: пшеница 700-900 г/л; овес 400-600 г/л.

Энергия выделения одного зерна из колоса изменяется в широких пределах от 2,9 до 25,4 Дж (табл.4.9). В одном и том же колосе сила связи зерен различная. Разрыв стеблей в молотильно - сепарирующих устройствах - один из наиболее энергоемких видов разрушения. Прочность стеблей на разрыв следующая, МПа: озимая пшеница 130-300; яровая пшеница 110-410; рожь 265-375; ячмень 85-160; овес 165-230.

Таблица 4.9

Затраты работы на вымолот зерна

Вид культуры	Пшеница		Рожь
	озимая	яровая	
Влажность зерна, %	9 - 13	13	14 - 26
Влажность колоса, %.	9	10	10 - 16
Влажность колоса, %	51 - 58	60	51 - 59
Работа, кг. м (при соответствующем размере щели, мм.)	24,4 (2,5)	34 (2,7 - 7)	20,1 (2,5 - 4)

Примечание. Другие свойства см. прил.5.

У многих зерновых наблюдаются естественные потери урожая на корню из-за осыпания зерен в зависимости от числа дней перестоя пшеницы. Это подтверждается многочисленными данными, в том числе данные потерь в условиях Северного Кавказа (по данным КубНИТИМА) представлены графически (рис.4.2).

По данным научно-исследовательских организаций высота среза оказывает большое влияние на количество потерь зерна, особенно при подборе валков подборщиком, навешенным на жатку комбайна, что наглядно представлено на графике (рис.4.3). Наименьшие потери получают при высоте стерни 18-25 см на различных хлебах.

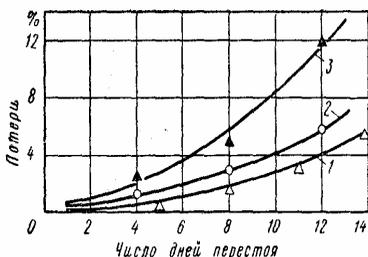


Рис. 4.2. Потери урожая пшеницы в зависимости от сорта и числа дней перестоя пшеницы: 1 — Безостая-1; 2 — Безостая-4 (испытания); 3 — Новоукраинка (испытания) [87]

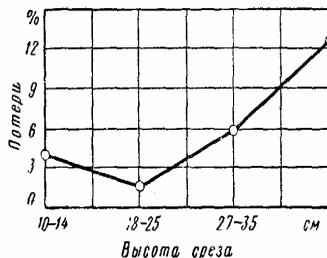


Рис. 4.3. Потери зерна в зависимости от высоты среза (в % урожая)

4.2.2.4. Физико-механические и технологические свойства картофеля, корнеплодов и овощей

Для механизации производства картофеля как для пропашной культуры важны размеры растения при уходе за картофелем, расположение и величина гнезда клубней при уборке, размеры и масса клубней обуславливающие конструкцию высевающих рабочих органов.

Таблица 4.10

Расположение клубней картофеля некоторых сортов в почве

Параметры	Сорт картофеля		
	Лорх	Эпрон	Берлихинген
Глубина залегания верхнего клубня, см:			
средняя	5,1	4,7	5,3
наименьшая	3	2	2
наибольшая	10	9	10
Ширина гнезда, см:			
вдоль ряда:			
средняя	23,9	24,8	27,7
наименьшая	14	9	12
наибольшая	36	37	38
поперек ряда:			
средняя	20,8	18,5	22,5
наименьшая	13	7	10
наибольшая	29	30	31
Глубина залегания нижнего клубня, см:			
средняя	18,9	19,2	18,6
наименьшая	16	14	16
наибольшая	23	22	24

В приведенных данных табл.4.10-4.12 для примера дана характеристика трех сортов. Выращиваются же более 100 сортов, причем каждый год появляются новые сорта с лучшими свойствами - большей урожайностью, стойкостью к болезням, приспособленностью к механизированной уборке и хранению.

Таблица 4.11
Размерно-массовая характеристика растений картофеля

Показатели	Сорт и значения показателей					
	Северная розовая			Лорх		
	среднее	наименьшее	наибольшее	среднее	наименьшее	наибольшее
Масса, г: общая клубней ботвы	Куст					
	930	517	1530	1015	496	1557
	514	251	882	654	314	1007
	416	266	652	361	182	550
Число стеблей в кусте Длина стебля, см Урожай, ц/га	Ботва					
	4	3	5	6,9	5	10
	65,7	59	78	92,1	68	120
	131,2	-	-	117,9	-	-
Число на кусте Размеры, мм: длина ширина толщина Масса, г	Клубни					
	7,7	4	13	13,9	6	21
	63,3	26,7	118,5	49,4	20	98,3
	45,7	20	69	41,4	17,5	84,5
	36,9	18	55,3	34,2	13	52,4
	70,7	8	196	48,1	5	187

Таблица 4.12
Коэффициенты трения клубней картофеля

Материал поверхности	Коэффициент трения		
	качения	опрокидывания	скольжения
Резина	0,35-0,37	0,43-0,53	0,70-0,75
Стальной лист	0,32-0,36	0,37-0,45	0,58-0,69
Прорезиненная лента	0,37-0,40	0,50-0,54	0,60-0,78
Полиэтилен	-	-	0,40-0,42
Почва	-	-	0,98-1,03
Клубни (по клубням)	0,5-0,6	-	0,8

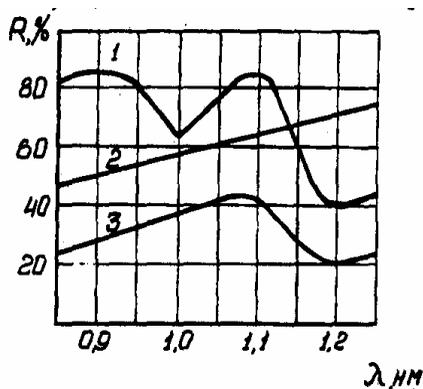


Рис. 4.4. Спектральные характеристики клубней картофеля и почвенных комков (R – отражательная способность, λ – длина волны света): 1 - клубни картофеля; 2- смесь комков почвы и камней; 3- клубни с дефектами

Автоматизация процессов сепарации и сортирования производится на основе свойств, которые распознают электронные датчики: индукционные; емкостные; оптические и др. Спектральные характеристики клубней картофеля, почвенных комков и камней показывают, что наибольшее различие наблюдается в диапазоне волн, близком к 1мкм (нм) при отношении их коэффициентов отражения, близком к двум (рис.4.4).

Некоторые другие важные свойства и характеристики корнеплодных, луковичных растений и овощей приведены в прил.5.

4.2.3. Анализ машин-аналогов

Содержит оценку преимуществ и недостатков функционирования и технических решений существующих машин - аналогов. При этом внимание должно концентрироваться в основном на элементах машины (сборочных единицах, агрегатах), которые подлежат разработке соглас-но заданию на проект.

Аналізу предшествует сбор и систематизация сведений по машинам-аналогам и их рабочим органам. Для этого рекомендуется использовать эксплуатационные документы по ГОСТ 2.601-95, который устанавливает следующую номенклатуру и кодировку эксплуатационных документов: РЭ - руководство по эксплуатации; ИМ - инструкция по монтажу, пуску, регулировке и обкатке ТО; ПС - паспорт; Ф - формуляр; ЭТ - этикетка; КДС – комплект детализованных спецификаций; НЗЧ - нормы расхода запасных частей; ЗП - ведомость запасных частей, инст-

румента и принадлежностей (ЗИП); УП - учебно-технические плакаты; ВЭ - ведомость эксплуатационных документов.

Среди этих документов самым информативным документом является РЭ – «Руководство по эксплуатации» - документ, содержащий сведения о конструкции, характеристиках ТО и указания, необходимые для правильной и безопасной эксплуатации и оценок его состояния. Следует учитывать, что до 1995 года устройство и работу машины описывал другой документ - «Техническое описание» по старому ГОСТ 2.601.84.

Рекомендуется также просмотреть периодические издания за последние 3-4 года (журналы «Тракторы и сельхозмашины», «Механизация и электрификация сельского хозяйства», «Техника в сельском хозяйстве», Вестник ДГТУ и др.). Полученные сведения в ПЗ следует приводить кратко, с использованием таблиц, диаграмм, схем к т.д.

По техническим решениям машины-аналога следует привести материалы:

- рисунок, (фотографию) или структурную схему машины с перечнем элементов;

- краткое описание устройства машины с выделением функциональных элементов: приёмное устройство, рабочие органы; транспортирующие, направляющие, выгрузные устройства; привод, (двигатель), устройства передачи энергии; несущая конструкция, ходовая часть; вспомогательные механизмы и устройства; устройства управления, регулировки, настройки; устройства автоматики, контроля, сигнализации, блокировки и защиты;

- схемы соединения машин в агрегат и перевода из рабочего в транспортное положение;

- описание конструкций рабочих органов, механизмов, привода, вспомогательных конструкций, имеющих отношение к теме проекта.

Анализ машин-аналогов и прототипа (ближайший аналог) должен содержать выявление достоинств и недостатков существующих машин, на основе которого необходимо сформулировать проблему. На решение выявленных проблем должен быть направлен поиск новых идей совершенствования машин.

В заключение следует провести сравнительный анализ показателей эксплуатации (машиноиспользования), который заключается в переходе от описания конструкций машин - аналогов к их классификации, по основным критериям функционирования: обеспечение качества работы; производительность; удельные энергоёмкость и материалоемкость; показатели надёжности; вопросы технологичности изготовления; ремонтпригодности; удобств и затрат на эксплуатацию. Результаты изложить в сводной таблице показателей, по которой провести сравнения по основным критериям машиноиспользования: производительности; пропускной способности; удельным энергоёмкости и материалоемкости; обеспечению качества продукта или агротребований; технологичности; надёжности; энергоёмкости выполняемого им процесса. Де-

вать выводы о компоновке машины, методах агрегатирования, типах рабочих органов, механизмов и вспомогательных конструкций, которые целесообразно использовать в проектируемой машине, а также о возможных принципиальных конструктивных изменениях, которые должны быть внесены.

Полезно вывести статистическую зависимость показателей машины от ширины захвата или другого характерного параметра, а также отметить изменение показателей во времени.

Изменение показателей во времени позволяет выявить тенденции развития конструкций проектируемой машины и конкретные конструктивные решения, соответствующие им. Тенденции развития следует искать в двух направлениях: в повышении производительности машины, машинно-тракторного агрегата и в повышении экономической эффективности машиноиспользования при определенном уровне показателей назначения.

В результате анализа должна быть сформулирована проблема создания или совершенствования машин, намечены пути её решения в виде совокупности конкретных задач на проектирование.

Логическим завершением анализа машин-аналогов является выработка направления конструкторских решений по совершенствованию машины (её элементов) в направлении устранения выявленных недостатков или создания новой машины. Результаты анализа конструкций и показателей работы машин-аналогов, раскрывающих тенденции развития сельскохозяйственных машин определенного назначения, являются исходными данными для решения всех проектных задач.

4.3. Обоснование функциональной схемы машины

4.3.1. Сведения о технологических сельскохозяйственных процессах

При проектировании СХМ необходимо изучать и анализировать техпроцессы, требования к ним, сопоставлять их с рабочими органами, выполняющими операции, что приводит к появлению идей совершенствования рабочих органов. Эти изменения отражаются в показателях измененного технического задания.

При конструировании машины ТЗ(техническое задание на проектирование машины) разрабатывается проектировщиками машины с учетом агротехнических и других требований заказчика, т.е. однозначно задается ее назначение - перечень составляющих технологический процесс операций. Например, почвообработки, которые она должна выполнять, и их последовательность, а также требования к качеству выполнения технологического процесса. И в этом случае необходимо совершенное знание техпроцесса.

Знания о техпроцессах, для выполнения которых предназначена проектируемая машина, должны быть изложены в рассматриваемом разделе ПЗ полно, критически и компактно.

Пример. **Сведения о технологических сельскохозяйственных процессах при проектировании ротационной косилки.**

Согласно техническому заданию косилка КРУ-1.8 участвует в процессе уборки травы на сено. Рассмотрим последовательность технологических операций заготовки сена (рис.4.5).

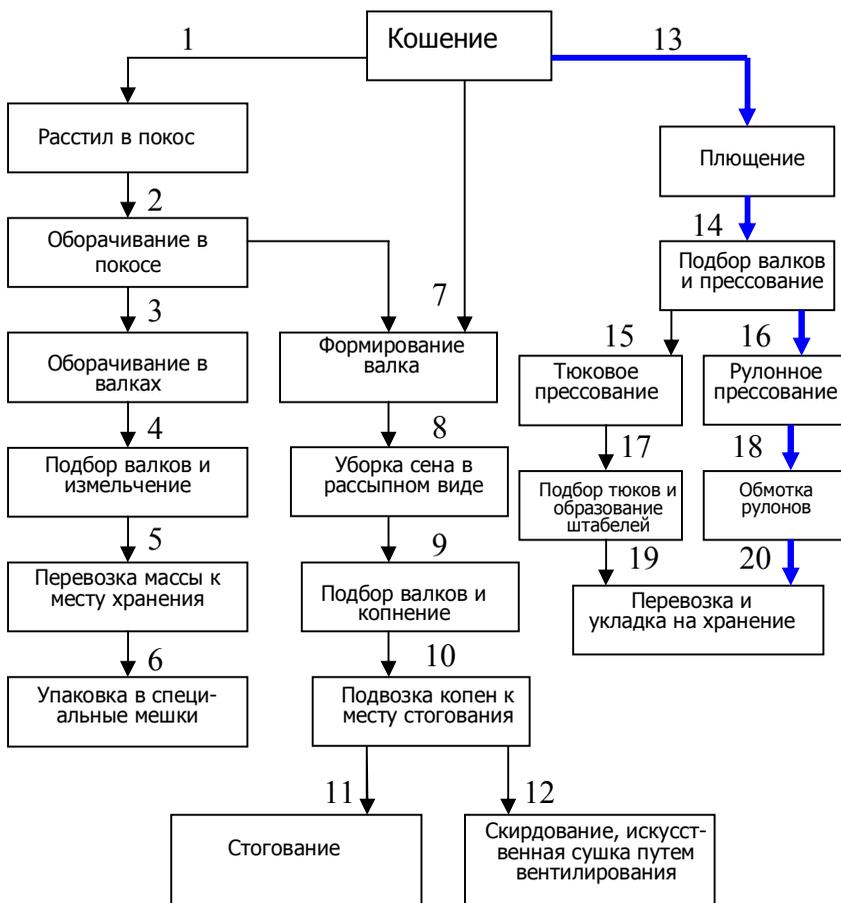


Рис.4.5. Технологические варианты уборки трав на сено

Недостатки технологии 7-8-9-10-11 (12) заключаются в многочисленных промежуточных операциях от кошения до доставки сена к фермам. При этом теряется много скошенной травы. Из-за долгого времени просушки (от 10 до 24 часов при благоприятных условиях) до 30% сухого вещества тратится на дыхание и поддержание жизнедеятельности клеток. Кроме этого требуется много машин для выполнения достаточно сложной технологии.

Одним из эффективных способов уборки является кошение и одновременное плющение - процесс 13-14-15(16)-17(18)-19(20). При такой уборке значительно ускоряется процесс сушки растений, при этом уменьшается потеря питательных веществ. Недостатком такого процесса является тот факт, что плющение рискованно применять в зонах с повышенной нормой осадков, при дожде из плющенной травы вымываются питательные вещества. В зонах степей, а также там, где выпадает мало осадков, плющение травы с пониженной влажностью может привести к пересушке листьев. При этом происходит их крошение и, соответственно, потеря питательных веществ, которыми и без того бедны травы данных зон. Поэтому такая технология эффективна только при хорошей организации и координации работ с достаточным ресурсом машин и людей.

Достаточно рациональным является процесс 1–2–3–4–5–6. Его можно применять во всех зонах страны. Для получения высококачественного консервированного корма – сенажа – в этом процессе созданы все условия:

- выбор оптимальной фазы скашивания;
- сокращение времени провяливания и просушивания зеленой массы в поле (до 10 часов);
- быстрая закладка;
- оптимальное измельчение;
- контроль влажности;
- применение консервантов и микробиологических иннокулянтов;
- создание анаэробных условий с применением мешков AG-BAG.

Наилучшим методом, на наш взгляд, будет смешанная технология 13-4-5-6 как самая короткая по технологической цепочке, наименьшему количеству мобильных машин в поле, минимальным сроком провяливания (4,5 -5,4 ч) и общим сроком заготовки - 6-7 часов со

времени кошения. Этим сводится к минимуму риск попадания плющевой травы под дождь. При такой технологии можно обойтись без консервантов.

Технология может приводиться в виде иллюстраций, блок-схем (рис.4.6), к которым необходимо добавить соответствующие пояснения и таблицы с характеристикой операций.

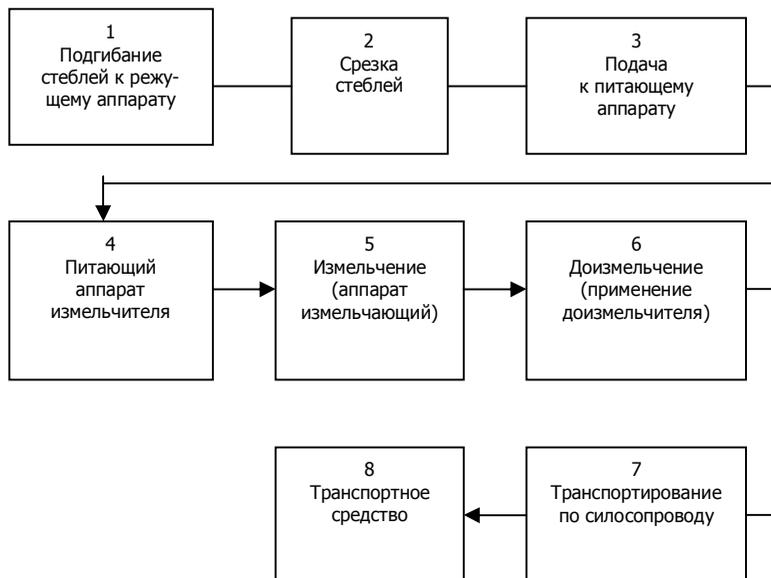
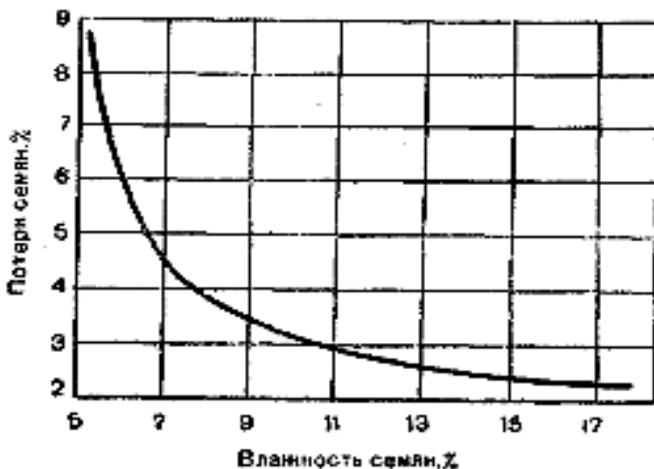


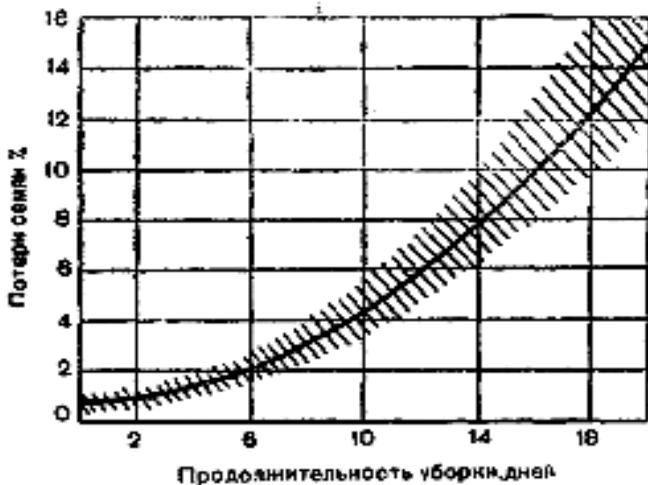
Рис.4.6. Техпроцесс заготовки кормов, выполняемый кормоуборочным комбайном

Очень информативным будет представление и анализ рассматриваемых процессов в виде графов.

При анализе технологии необходимо рассматривать целесообразность сокращения сроков проведения работ там, где это имеет большое значение, например, при уборке подсолнечника. Зависимость потерь от влажности семян и продолжительности уборки см. на рис.4.7.



Зависимость потерь семян за уборочным агрегатом СК-5 «Нива»+ПСП-1,5 от их влажности



Зависимость потерь семян подсолнечника от продолжительности уборки (влажность семян в начале уборки – 10%, в конце – 6%)

Рис.4.7. Графики для выбора сроков проведения уборки подсолнечника

Лучший срок – фаза его хозяйственной спелости, когда только 12-15% растений с жёлтыми и жёлто-бурыми корзинками и влажность

12-14%. Уборка в фазе его хозяйственной спелости не требует досушки семян, но вызывает необходимость проведения работ в короткие сроки.

Объем раздела 4-5 стр. содержательного текста с 2-3 иллюстрациями.

4.3.2. Формирование вариантов полезных идей при создании рациональной схемы СХМ

Исходными данными для обоснования функциональной схемы проектируемой машины является ТЗ и результаты анализа машин – аналогов, информация которых характеризует так называемую проектную ситуацию. Она всегда содержит противоречие между достигнутым уровнем и необходимостью его улучшения. На практике это означает, что проектируемая машина должна превосходить достигнутый уровень по каким-либо показателям. Проект обязательно должен содержать новизну и в технических решениях.

Поэтому первым обязательным этапом работы над проектом должен быть поиск новых идей по достижению целей ТЗ. Новыми идеями в проекте считаются в первую очередь новые технические решения на любом из этапов проектирования. Наиболее эффективно закладывать новые идеи на стадии разработки вариантов функциональных схем машины.

После проведенного анализа проектной ситуации и окончательного уточнения ТЗ необходимо начать поиск идей для реализации целей, поставленных в ТЗ на функциональном уровне. Вначале следует сформулировать функцию назначения - главную функцию, выполняемую всей машиной.

Поиск идей на функциональном уровне сводится к разработке новых функциональных структур. Формирование набора функций – творческая задача, решаемая на основе машин-аналогов и результатов их анализа. Поиск идей при разработке функциональной схемы можно осуществлять двумя группами методов: иррациональными и рациональными.

Иррациональные методы применяют при необходимости расширения поля поиска новых решений на основе столкновения мышления со всякого рода ситуациями, которые могут случайно привести на новое решение. Наиболее применимы в инженерной практике иррациональные методы мозгового штурма, эвристических приёмов и синектики.

Рациональные методы основываются на направленном формализованном поиске на основе классификации процессов по определённым признакам. К рациональным относят морфологический анализ, функционально-стоимостный анализ, метод контрольных перечней и др. При разработке новаторской функциональной схемы предпочтителен функционально-стоимостный анализ [74, гл. 14]. Он заключается в определении минимального набора функций, выполняемых машиной, связей между основными и вспомогательными функциями машины.

Пусть имеем ФСС машины-аналога в виде рис 4.7. Функционально-стоимостным анализом устанавливаем, что наиболее нагруженной и условно стоимостной операцией является обмолот. В молотильный аппарат поступает вся хлебная масса – стебли, сорняки, листья и колосья. Чтобы уменьшить нагрузку на барабан, принимаем очевидное решение направлять на обмолот только колосья. Их можно отрывать от стеблей очёсыванием, даже не срезая стебли. Модернизируем приёмное устройство, заменяя срезание очёсыванием. В итоге новая ФСС примет вид, представленный на рис 4.8.

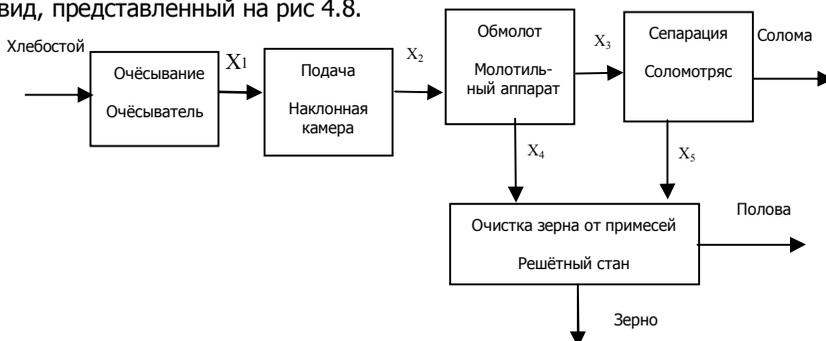


Рис.4.8. Модернизированная укрупнённая структурно-функциональная схема зернового комбайна: X_1 – колосья с солоистой фракцией; X_2 – слой колосовой массы; X_3 – хлебный ворох; X_4 , X_5 – мелкий зерновой ворох

Тем самым главной новизной проекта будет применение очёсывания для сбора с поля зерновых. Разработка очёсывателя, его расчёт и проектирование станет главным содержанием графической части проекта.

Необходимо учитывать при оценке эффекта влияние новизны на другие функции и на структуру их в целом во всей машине. Действительно, масса, поступающая на обмолот, значительно уменьшится, поэтому необходимо будет изменить конструкции и режимы работы молотильного аппарата (барабан, дека). Количество солоmistых частиц можно уменьшить до такой степени, что лишним станет соломотряс, его остаточные функции можно передать очистке, в конструкцию которой

тоже потребуется вносить изменения. Такие последствия необходимо учитывать в дипломном проекте только схемно. Доводить их до инженерных решений (чертежей) необязательно из-за ограниченности объема проекта.

Полученная новая структура операций является основой для перехода к функциональной схеме – конкретизированной ПФС, в вершинах которой указываются элементы конструкции машины.

4.3.3. Выбор функционально пригодных технических средств

Для перехода от абстрагированной к конкретизированной ПФС необходимо провести выбор технических средств (ТС) для каждой операции из условий максимальной функциональной пригодности для выполнения назначенной функции. Степень функциональной пригодности определяют анализом качества выполнения техническим средством соответствующей операции.

Каждому варианту технических средств присваивается статус технической идеи, а весь процесс их анализа и выбора считается поиском новых идей на техническом уровне. Возможны несколько ситуаций:

1) ПФС не содержит новых функций, технические средства для всех функций выбираем из множества существующих ТС;

2) ПФС содержит новые функции, технические средства выбираем только для них из множества существующих ТС;

3) ПФС содержит новые функции, для которых не существует типовых ТС; необходима разработка новых технических средств с новыми физическими принципами действия (ФПД).

В любом случае выбор технических устройств, выполняющих эти функции, целесообразно проводить иррациональными или рациональными методами поиска идей. Из иррациональных применим эвристический метод, из рациональных – морфологический анализ по матрице идей. Обязательным является выбор рабочих органов; для других элементов структурной схемы – по необходимости. Для первой ситуации применим метод сравнения комплексных показателей. Сущность метода состоит в том, что каждой технологической операции, содержащейся в назначении машины, ставится в соответствие некоторое множество рабочих органов, способных эту операцию выполнять.

Первая задача, которую необходимо решить при этом, – собрать данные о рабочих органах – аналогах для каждой технологической операции. При этом исходят из того, что объект существует, и информация о нем имеется или может быть получена в результате испытаний.

Вторая задача: из множества существующих рабочих органов выбрать одну по принципу максимальной полезности.

Информация о рабочих органах должна включать сведения, обеспечивающие возможность оценки их полезности. Сложность оценки

состоит в том, что требования ТЗ формулируются на машину в целом, а рабочие органы являются лишь частью машины. Поэтому сведения для оценки полезности будут включать и требования ТЗ, и сведения о технико-экономических свойствах рабочих органов. При анализе полезности идеи (рабочего органа) методом сравнения будут иметь место два случая:

1) когда рабочий орган полностью обеспечивает требования ТЗ, данные о рабочем органе сравниваются с требованиями ТЗ;

2) когда в ТЗ требования к рабочему органу не оговариваются, сравниваются лучшие варианты рабочего органа.

При этом должны соблюдаться условия сравнения. При организации функциональной структуры могут сравниваться функциональные цепи, обеспечивающие одинаковый уровень выполнения требований ТЗ.

Пример. Выбрать ТС для функции «рыхление почвы и подрезание сорняков».

При глубине обработки до 15 см эти функции можно обеспечить совокупностью пассивных рабочих органов лапа + борона (1-я идея) или ротационным рабочим органом фрезерного типа (2-я идея). Эксплуатационные показатели выбранных ТС сводятся в табл.4.13.

Таблица 4.13
Эксплуатационные показатели для сравнительного анализа

$i \backslash q$	Наименование показателя	Значение показателя q-й идеи		
		0	1	2
	Крошение почвы (размеры фракции):			
1	до 10 мм	60%	62%	72%
2	более 100 мм	0	4%	0
3	Подрезание сорных растений	100%	99,2%	100%
4	Показатель надежности технологического процесса		0,92	0,98
5	Удельная масса, кг/м		241	410
6	Удельная мощность, кВт/м		6	31

В табл.4.13 приведены сведения по трём случаям: 0 – агротребования; 1 – пассивные рабочие органы; 2 – фрезерный рабочий орган. По таблице нетрудно установить, что анализ путем парного сравнения не дает результатов из-за различной направленности показателей, поэтому для сравнения используют комплексные показатели, например, показатель прогрессивности изделий [108], имеющий вид:

$$K_q = \frac{\sum_{i=1}^n k_{q,i}}{n},$$

где $k_{q,i}$ - относительный частный i -й показатель q -й идеи;

$k_{q,i} = \frac{S_{0,i}}{S_{q,i}}$ - при полезности уменьшения i -го показателя q -й идеи;

$k_{q,i} = \frac{S_{q,i}}{S_{0,i}}$ - при полезности увеличения i -го показателя q -й идеи.

Здесь $S_{0,i}$ - частный показатель технического задания или наилучший, принадлежащий какой-либо идеи; $S_{q,i}$ - аналогичный показатель данной идеи.

Для показателя $i=1$:

$$k_{11} = \frac{62}{60} = 1,03, \quad k_{21} = \frac{72}{60} = 1,2;$$

для показателя $i=2$:

$$k_{12} = \frac{100-4}{100} = 0,96, \quad k_{22} = \frac{100}{100} = 1.$$

$$k_{13} = \frac{99,2}{100} = 0,992; \quad k_{23} = \frac{100}{100} = 1;$$

$$k_{14} = \frac{0,92}{0,92} = 1; \quad k_{24} = \frac{0,98}{0,92} = 1,06;$$

$$k_{15} = \frac{241}{241} = 1; \quad k_{25} = \frac{241}{410} = 0,59$$

$$k_{16} = \frac{6}{6} = 1; \quad k_{26} = \frac{6}{31} = 0,194;$$

$$K_1 = \frac{1,03 + 0,96 + 0,992 + 1 + 1 + 1}{6} = 0,997;$$

$$K_2 = \frac{1,2 + 1 + 1 + 1,06 + 0,59 + 0,194}{6} = \frac{5,044}{6} = 0,840.$$

Идея считается полезной, если ей принадлежит большее Kq .

Тогда по результатам расчета предпочтение следует отдать идее $q=1$, т. е. пассивным рабочим органам.

Для второго случая, когда имеется новая функция, применим формализованный метод морфологического анализа [73, гл. 10], [104]. Метод основан на дифференциации новой функции и построении матрицы идей.

В начале рассматриваемой новой функции ТФі ставят в соответствие гипотетическое устройство – объект ТО (например, «измельчение» - «измельчитель» и т.п.). Этому устройству присваивают статус самостоятельного с функцией назначения F_n . Её разделяют на несколько технических функций в соответствии со структурой нового ТО:

$$F_n = (F_1, F_2, \dots F_n).$$

Каждой новой технической функции F_i назначают несколько вариантов конструктивного оформления F_{ij} . Множество формируют в виде морфологической матрицы идей (пример см. табл.4.14).

Таблица 4.14

Пример формирования матрицы идей для измельчителя

Наименование функции	Виды технических средств			
	F11 Радиальная	F12 Тангенц	F13 Центральная	F14 Боковая
Вид дозирования F2	F21 Вибратор	F22 Шиббер	F23 Весовой	F24 Барабан
Вид дробления F3	F31 Диски	F32 Зубья	F33 Молотки	F34 Фреза
Вид выгрузки F4	F41 Швырялка	F42 Вентилятор	F43 Шнек	F44 Скрепки
Сепарация F5	F51 Циклон	F52 Центрифуга	F53 Сита плоские	F54 Решёта

Перебором всех возможных сочетаний находят приемлемый вариант структуры ТС с оптимальным набором

$$\text{Фопт} = F_{ijklm} = (F_{1i}, F_{2j}, F_{3k}, F_{4m}), i, j, k, m = 1, 2, \dots 4.$$

Недостаток - большое число вариантов $N = 5 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 5 = 625$. Поэтому применяют многоэтапные процедуры перебора с отбраковкой заведомо непригодных на каждом этапе [см. 73. С.208-210].

Наиболее сложен и интересен для диплома третий случай, когда необходимо создать новое ТС с новым ФПД. Новый ФПД выбирают с помощью анализа фонда технических эффектов [73. С.308-337]. Методика изложена там же в гл.11. Эффективность выбранных вариантов ФПД можно оценивать сравнительным анализом комплексных параметров как в первом случае. Но наиболее эффективно применение для этой цели морфологического синтеза физических принципов действия [см. 73. С.224-236 с примерами].

Разработка технического устройства с новым принципом действия – самый творческий и предпочтительный вариант выполнения дипломного проекта.

4.3.4. Обеспечение заданных показателей назначения проектируемой машины

Повышение производительности машин или агрегатов достига-

ется увеличением ширины захвата агрегата, увеличением скорости движения, повышением надежности конструкции, рабочего процесса, улучшением условий труда обслуживающего персонала, снижением времени на вспомогательные операции, связанные с подготовкой техники к работе, её техническим техобслуживанием, организацией рационального движения агрегатов.

Повышение производительности труда в сельском хозяйстве достигается как повышением производительности машин и агрегатов, так и уменьшением количества обслуживающего персонала на агрегате, для чего функции управления рабочими машинами агрегатов передаются водителю энергетической машины.

Повышение экономической эффективности конструкции при определенном уровне показателей назначения достигается улучшением показателей технологичности конструкции изделия. Такие тенденции следует выявить по машине, включенной в задание на проект, исследовать их методом экстраполяции тенденций в интервале упреждения не менее 5 лет. Тенденции связаны с определенными техническими решениями, воплощенными в конструкцию.

Увеличение ширины захвата машин, агрегатов привело к новым конструктивным проблемам, связанным с переводом агрегатов из рабочего в транспортное положение до пределов, допускаемых правилами дорожного движения и защиты электросетей.

Увеличение рабочих скоростей машин и агрегатов вызвало изменение геометрии рабочих органов для обеспечения агротребований, а также переход на пневматические шины вместо колес с жёстким ободом.

Повышение надежности достигается комплексом конструктивных, технологических, производственных и ремонтно-эксплуатационных мероприятий в виде защиты конструкций от перегрузок, выбора конструкционных материалов, обработки поверхностей, упрочняющих покрытий и технологичных защитных покрытий надлежащей прочности, жёсткости, точности, оптимального выбора смазочных материалов и режима смазки, а также рациональная расчленённость конструкций и их упрощение за счет объединения функции нескольких рабочих органов (повышения концентрации обработки), упорядочения процессов передачи материала от одного рабочего органа к другому.

Повышение производительности труда и эффективности может быть достигнуто как перечисленными выше техническими решениями, так и разработкой навесных, полунавесных машин, имеющих меньшую массу по сравнению с прицепными в связи с передачей ряда функций вспомогательных конструкций (рамы, колес и пр.) трактору или самоходному шасси, механизмам машины с приводом от гидросистем тракторов. Могут быть применены и другие конструктивные изменения, соответствующие направлениям развития в сельскохозяйственном машиностроении.

4.3.5. Анализ вариантов и подходы к обоснованию функциональной схемы

Результаты поиска новых идей должны найти отражение в функциональной схеме (ФС). Наивысшие достижения инженерного творчества заключаются в нахождении глобально оптимальных принципов действия и структур ТО. Каждый творчески работающий конструктор ищет не просто новое улучшенное ТР, а стремится найти самое эффективное, самое рациональное, лучшее из лучших решений. Методы решения задач поиска лучшего из лучших ТР математики называют глобально оптимальными. При этом дается два универсальных метода. Один ориентирован на поиск глобально оптимальных многоэлементных структур, другой — на определение оптимальных форм элементов ТО.

1. Поиск оптимальных структур

Постановка задачи соответствует задаче параметрической оптимизации. Эти задачи неизбежно приходится решать при поиске оптимального технического решения [28]. Любое отдельное ТР, как правило, можно описать единым набором переменных (изменяемых параметров)

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (4.1)$$

которые могут изменять свои значения в некотором гиперпараллелепипеде

$$a_i < x_i < b_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad (4.2)$$

где для расширения области поиска не рекомендуется накладывать жестких ограничений на a_i , b_i .

Математическая модель проектируемого изделия ставит в соответствие каждому набору значений (4.1) некоторый критерий качества (функцию цели) $f(x)$ и накладывает на переменные (4.1) дополнительные ограничения, представляемые чаще всего в виде системы нелинейных неравенств

$$g_j(X) > 0, \quad j = \dots, m \quad (4.3)$$

Тогда задача поиска оптимальных параметров ТР состоит в нахождении такого набора (4.1), который удовлетворяет неравенствам (4.2) и (4.3) и обеспечивает глобальный экстремум критерию качества. Для определенности будем считать, что отыскивается минимум, и, если обозначим через D область допустимых решений, удовлетворяющих неравенствам (4.2), (4.3), получим задачу математического программирования в n -мерном пространстве:

$$(4.4) \quad \text{найти точку } X^* \in D \text{ такую, что } F(X^*) = \min F(X).$$

Часто в задачах параметрической оптимизации на переменные или часть из них наложены условия целочисленности или дискретности. В этом случае область поиска D становится заведомо многосвязной, а сама задача с математической точки зрения — многоэкстремальной.

2. Структурная оптимизация. К задачам структурной оптимизации относится задача выбора оптимальной компоновки ТО. При постановке и решении таких задач следует использовать закономерность минимизации компоновочных затрат [28].

В качестве процедур оптимизации рекомендуется использовать следующие алгоритмы поиска локального экстремума [73]:

- алгоритм случайного поиска в подпространствах [см. 73, гл.13, п.2];

- алгоритм случайного поиска с выбором по наилучшей пробе;
- алгоритм сопряженных градиентов;
- алгоритм Нельдера-Мида.

На разработанной функциональной схеме как проектном документе должны быть указаны взаимное расположение рабочих органов, а также геометрические и кинематические параметры каждого рабочего органа, обеспечивающие целенаправленное изменение свойств обрабатываемых материалов в соответствии с назначением, так как по ГОСТ 2.701-84 схемы должны нести информацию, достаточную для разработки проектной и рабочей конструкторской документации.

4.3.6. Расчёт конструктивно-технологических параметров элементов машины

Расчет включает в себя расчёты размеров, скоростей рабочих органов машин и прочего, что влияет на технологический процесс. Здесь следует использовать зависимости и формулы, полученные в дисциплинах ТКР уборочных машин, ТКР машин для уборки технических культур, ТКР машин для возделывания. Полезно вначале просмотреть методы расчётов в справочнике по сельхозмашинам [89], и в справочниках по видам работ [57, 58, 91, 105 и др.]. После этого следует обратиться к учебной литературе, например, [10, 20, 22, 23, 24, 28, 29, 31, 43]. Более подробные расчёты можно найти в специализированной литературе для специалистов и ИТР по видам машин, например [12, 30, 32, 38, 48, 69, 72, 84, 100, 102, 103, 113]. В заключение следует просмотреть периодические издания и реферативные журналы за последние 2-3 года. Такая последовательность позволит осознать проблемы и пути совершенствования моделей и методов расчёта, рационально выбрать число учитываемых факторов и допущений модели.

Расчёты проводятся для элементов разработанной функциональной схемы. Перед началом расчёта формируют исходные данные. Их собирают из ТЗ, справочной литературы, нормативно-технической документации. Начинают расчёт с разработки расчётной схемы. Расчётной называют гипотетическую конструктивную схему будущей машины с простановкой всех конструктивно-технологических параметров. Конструктивно-технологическими считаются те параметры машины (размеры, силы, скорости и пр.), которые определяют характер и показатели технологического процесса машины.

Затем используют теорию, математические описания и зависимости из технической литературы. Расчёт ведут в определенной последовательности по заранее разработанному алгоритму. Как правило, все зависимости для сельхозмашин приводятся в виде алгебраических уравнений. Такие формулы легко программируются в среде EXEL, не требуя от инженера знаний языков программирования. Составив программу, можно практически мгновенно получать решения, изменяя исходные данные, а также получать зависимости параметров от их изменения.

Пример. **Расчет конструктивно-технологических параметров фрезерного культиватора.**

Исходные данные:

- вид работы - предпосевная или основная обработка, обработка болотных или лесных почв и др.;
- тип почвы - старопашотные, залежные, суглинистые почвы и др.;
- требования к качеству - степень крошения почвы, измельчения сорняков, заделки растительных остатков, гребнистости дна борозды, глубины обработки;
- тип трактора (двигателя), его тягово-сцепные характеристики.

Расчётная схема (рис.4.9).

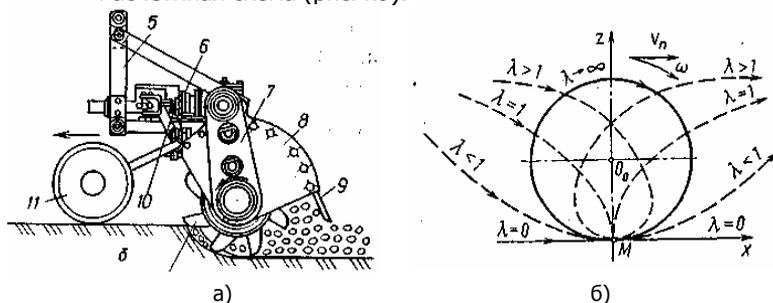


Рис.4.9. Расчетная схема: а - общий вид навесной фрезерной машины; 5 - навеска; 6 и 7 - редукторы; 8 - кожух; 9 - решетка; 10 - регулятор глубины; 11 - опорное колесо; б - схема траекторий движения точки ротора при различных кинематических параметрах λ .

1. *Ориентация оси вращения фрезы* – горизонтальная; направление вращения (прямое или обратное). Для качественного рыхления с уничтожением сорняков и заделкой растительных остатков выбираются фрезы с горизонтальной осью вращения и вращением барабана "сверху вниз".

2. *Подача на нож* S_{max} , S_{min} . Для полевых и садовых фрез рекомендуемые агротехническими требованиями значения подачи S на

один нож находятся в пределах 0,06-0,15 м. Величина подачи на нож определяет степень крошения и неровности дна борозды, а также назначенные фрезы. Пропашные и болотные фрезы работают с подачами на нож 3-6 см, полевые фрезы – до 10-15 см, а ротационные плуги – до 20-25 см на нож.

3. *Гребнистость дна борозды.* Назначается, исходя из агротребований: отклонения от заданной глубины при вспашке ± 2 см, при культивации ± 1 см. При отсутствии агротребований принимать допустимую высоту гребешков на дне борозды $h_{\Gamma} = (0,1-0,2)h$.

4. *Диаметр барабана.* Оптимальное значение диаметра при фрезеровании "сверху вниз" должно быть в 1,13-1,33 раза больше заданной глубины обработки. Однако при этом вал фрезы должен располагаться под почвенным горизонтом, что создаёт серьёзные трудности передачи вращения на фрезу. Поэтому радиус фрезы выбирается так, чтобы его выступающие части и диск фрезы были выше почвенного горизонта на 50 мм.

5. *Число ножей* на диске барабана колеблется в пределах 2-8. Для уменьшения пути резания надо стремиться к возможно большему числу ножей на одном диске. Оно ограничивается малым диаметром диска и размерами крепления ножа к диску.

6. *Минимальный кинематический показатель λ_{min}* по условиям допустимой гребнистости h_{Γ} определяется по выражению:

$$\lambda_{min} = \frac{\frac{\pi}{m} \pm \arccos \frac{R - h_{\Gamma}}{R}}{\sqrt{2R h_{\Gamma} - h_{\Gamma}^2}} \cdot R.$$

Полученный режим работы фрезы должен удовлетворять агротехническим требованиям по допустимой гребнистости дна борозды и не требовать повышения принятой подачи. Критическое значение кинематического показателя $\lambda_{кр}$, ниже которого наступают пропуски и огрехи, определяется

$$\lambda_{кр} = 1/\cos \varphi_{кр}.$$

Критический угол $\varphi_{кр}$ находят по уравнениям эвольвенты:

$$\pi/m = \operatorname{tg} \varphi_{кр} \pm \varphi_{кр} = \operatorname{inv} \varphi_{кр}.$$

Критический и минимальный скоростной параметры λ_{min} — это предельные значения, при которых может нарушиться качество работы фрезы.

7. *Проверка условий*

$$\lambda \geq \lambda_{min} > \lambda_{кр}.$$

Выполнения этих условий добиваются изысканием конструктивных возможностей увеличения угла входа φ_I и увеличением числа ножей.

8. *Пересчёт подачи S и величины гребней h_I по фактическому λ и проверка соответствия агротребованиям.*

9. *Толщина стружки при заглублинии барабана определяется по выражению Н.Ф. Канарева [20] при измерении ее по радиусу барабана:*

$$\delta = S \cos \varphi + R(1 - \cos \arcsin(S \sin \varphi / R)),$$

где φ - угол поворота фрезы, отсчитываемый от направления переносной скорости.

10. *Скорость и частота вращения барабана.* Окружную скорость барабана полевых и садовых фрез рекомендуется выбирать в пределах S -6 м/с. Тогда требуемая скорость передвижения агрегата

$$v_n = v_o / \lambda.$$

Частота вращения барабана: $n = 30v_o / (\pi R)$ мин⁻¹.

11. *Ширину b и толщину ножа δ ориентировочно задаём из конструктивных соображений $b = 0,05$ м, $\delta = 6$ мм.*

12. *Угол установки ножа на барабане γ_{min} , обеспечивающий требуемые углы резания и устранение контакта пятки ножа с почвой при любом угле поворота фрезы.*

Пример по параметрической оптимизации решетного модуля применительно к зерноочистительной машине приведен в разделе 4.3.8.3.

4.3.7. Обоснование внешних характеристик сельскохозяйственных машин и агрегатов

4.3.7.1. Обоснование универсальности, комбинирования, агрегатирования СХМ

Параллельно с обоснованием основных параметров вариантов элементов, входящих в проектируемую СХМ (технические требования заказчика), обосновываются внешние характеристики СХМ, необходимые для обоснований рациональной функциональной и принципиальной схем проектируемой СХМ.

Сельскохозяйственные машины, образующие систему машин, подразделяются на специальные, универсальные, комбинированные и универсально-комбинированные.

К **специальным машинам** относятся машины, которые способны в производственном процессе выполнять только одну технологическую операцию (плуг, картофелесажалка и т.д.).

К **универсальным машинам** относятся машины, способные выполнять две и более операций в различное время в течение года (стационарные зерноочистительные машины, культиватор (сплошная и междурядная обработка почвы)).

К **комбинированным машинам** относятся сельскохозяйственные машины, способные одновременно выполнять две и более операций в одном технологическом процессе (зернотуковые сеялки, комбинированные почвообрабатывающие машины и т.д.)

Комбинация комбинированных и универсальных машин – **универсально-комбинированная машина** (зерноуборочный комбайн) (рис.4.10).

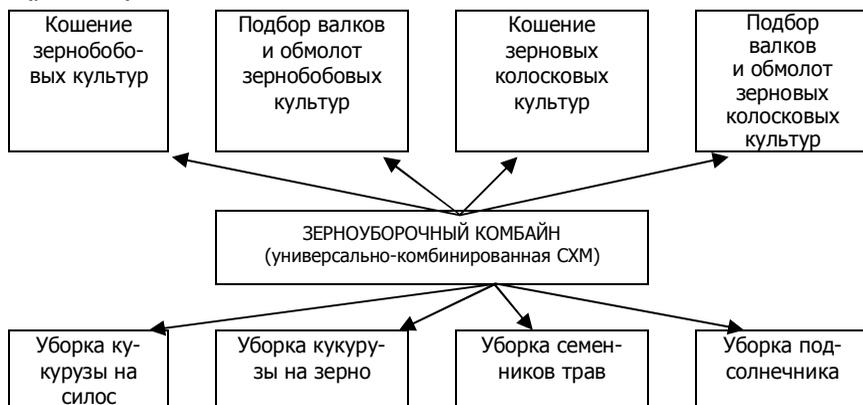


Рис.4.10. Схема основных технологических процессов и операций, выполняемых универсально-комбинированной СХМ – зерноуборочный комбайн

Применение универсальных и комбинированных СХМ позволяет повысить производительность труда, снизить эксплуатационные издержки, уменьшить металлоемкость, капитальные затраты на приобретение машинно-транспортного парка. Кроме того, уменьшается номенклатура и общее количество используемых машин, что требует меньших затрат на организацию ремонтной базы и хранение техники, создаются предпосылки к внедрению более мощных тракторов. Снижение эксплуатационных издержек происходит по всем составляющим элементам эксплуатационных затрат СХМ.

Универсализация машины с одной и той же несущей конструкцией, но с заменяемыми рабочими органами для выполнения различных операций ведет к снижению металлоемкости и стоимости СХМ по сравнению с группой универсальных СХМ, выполняющих эти технологические операции.

Применение комбинированных машин устраняет необходимость многократного передвижения агрегатов по полю, при этом полнее используется мощность трактора, что ведет к повышению производительности труда и сокращению потребления горючего, к снижению расходов на зарплату в связи с уменьшением общего количества работ.

Большинство специализированных машин в течение года используется короткое время, например: зерновые сеялки – 5-20 дней; зерноуборочные комбайны – 15-20 дней (при уборке только зерновых); картофелесажалки – 6-8 дней и т.д. Вследствие этого возникает огромная потребность в металле и требуются дополнительные капиталовложения. Физическая амортизация специализированных СХМ растягивается на много лет, следовательно, такие СХМ морально «стареют» еще до их полного износа.

Универсальные машины, у которых амортизационные сроки намного короче, чем у специализированных, в большей степени способствуют техническому прогрессу.

Условия создания универсальных комбинированных машин определены [28].

Для обоснования агрегатируемости проектируемой СХМ необходимо решить следующие задачи [13, 28]:

- 1) целесообразность проектирования самоходной СХМ или СХМ, агрегатированной с энергетическим средством (трактором или самоходным шасси);
- 2) вид соединения энергетического средства с проектируемой СХМ;
- 3) анализ возможности агрегатирования СХМ и энергетических средств.

Решение этих вопросов достигается различными путями. Основным из них является определение приведенных затрат (руб. /т., руб. /шт.) на единицу продукции проектируемой СХМ для различных ее выполнений (самоходная, агрегатированная с энергетическим средством, прицепная, навесная, полунавесная), при этом необходимо предварительно оценить оптимальные параметры машины в каждом рассматриваемом случае. Эта задача достаточно сложная и трудоемкая. При составлении исходных данных для решения таких задач накладывается большое количество ограничений, которые необходимо учитывать.

Самоходные машины экономически целесообразно применять в напряженный период полевых работ, который устанавливается анализом технологических процессов сельскохозяйственного производ-

ства и характеризуется максимальным объемом работ данного вида в определенный период времени.

Для выполнения технологической или вспомогательной операции в этот период времени с применением проектируемой машины потребуется привлечение дополнительного количества тракторов по сравнению с остальными периодами года (трактора для отвоза соломы, вспашки поля и т.д.). При этом затраты, зависящие от капитальных вложений на тракторы и агрегируемые СХМ, будут превышать аналогичные затраты на самоходную СХМ [13].

Условие экономической целесообразности для выполнения самоходной СХМ определены [28].

Вид соединения СХМ с энергетическим средством зависит от ряда факторов:

- при необходимости свободного и точного копирования рельефа местности (посев, баранование, прикатывание и т.п.) целесообразно проектировать *прицепные машины и агрегаты*. В этих агрегатах предусматриваются гидросцепки для быстрого перевода СХМ из транспортного положения в рабочее и обратно;

- при необходимости копирования местности и регулирование глубины хода рабочих органов или их высоты над землей применяются *полунавесные агрегаты*, которые позволяют передать часть веса СХМ или вертикальной реакции рабочих органов при выполнении техпроцесса на ходовую часть ЭС. В связи с этим конструкция СХМ упрощается, а ее функции передаются машинисту ЭС;

- *навесные СХМ* целесообразно применять тогда, когда не требуется точного копирования рельефа почвы, и ее копирование производится колесами ЭС (болотные плуги с большой энергоемкостью); при этом СХМ имеет короткую рабочую базу (например, 2,4-корпусные плуги), также в случаях, когда давление СХМ или ее элементов на почву, исходя из необходимости реализации технологических операций, должно быть небольшим для хорошего копирования (например, жатка, навешиваемая на молотилку зернокомбайна).

4.3.7.2. Методы обоснования ширины захвата проектируемой СХМ

Современные методы по оценке ширины «b» захвата проектируемой мобильной СХМ базируются, как правило, на экономических показателях. При этом на первой стадии проводится оценка ширины «b» захвата СХМ с использованием принципов согласования параметра «b» в технологических процессах по качеству выполняемой работы, согласования производительности в поточных технологических линиях, согласование с требованиями сохранения плодородия почвы и неповреждаемости растений, согласование с энергетическими и техническими характеристиками трактора и др. На втором этапе проводится обоснование типоразмеров (один или несколько рациональных величин «b»

СХМ одного типа (например, жатки –хедер (ЖХ) зерноуборочного комбайна) по экономическому критерию (приведенные затраты на выполнение СХМ заданного технологического процесса) с учетом вышеуказанных согласований параметра «b» СХМ [28].

Согласование параметров по качеству работы. Возникает из-за необходимости обеспечения качества работы на предыдущих и последующих технологических операциях. Рассмотрим несколько примеров.

1. При выборе ширины захвата СХМ, выполняющих культивацию или подкормку пропашных культур (свекла, картофель), должна учитываться ширина захвата (рядность) СХМ, выполняющих предшествующую технологическую операцию (например, посев). СХМ, выполняющие i -ю операцию должны иметь число секций N_i , равное или кратное числу секций СХМ на предыдущей ($i - 1$) технологической операции

$$N_i = \frac{N_{i-1}}{K}, \quad (4.5)$$

где $K = 1, 2, 3, \dots, C$ – целые числа.

При нарушении условия (4.5) возможно нарушение агротребований в технологии обработки пропашных культур (например, рациональное количество сошников в ($i-1$)-й операции и культиваторных лап в i -й операции. Здесь B – расстановка рабочих органов (секций) в СХМ:
 $i - 1$ -я операция – СХМ с 4-мя секциями (например, посев);
 i -я операция – СХМ с 5-ю секциями (например, междурядная культивация) (рис.4.11).

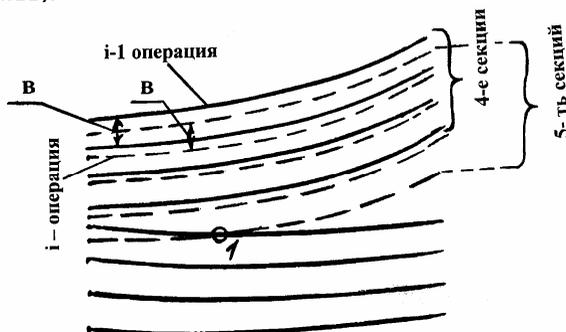


Рис.4.11. Схема для оценки согласования числа секций N_i проектируемой СХМ, работающей на смежных операциях

2. При проектировании ширины B жатки-хедер (ЖХ) для зерноуборочного комбайна (ЗК) для заданных условий его функционирования (урожайность q (Ц/га); производительность молотилки ЗК Q (кг/с);

средняя рабочая скорость ЗК V (м/с); C – отношение зерна к соломе)
 расчетная рабочая ширина B_p ЖХ определяется из условия

$$Q \leq Q_{жс},$$

где $Q_{жс}$ – подача хлебной массы из ЖХ в молотилку ЗК, обеспечивающая рациональные условия функционирования молотилки.

$$Q \leq 0,01q \cdot B_p \cdot V \cdot \frac{1}{\nu} \text{ кг/с} \quad (4.6)$$

где $\nu = \frac{\text{зерно}}{\text{зерно} + \text{солома}}$.

Из (4.6)

$$B_p = \frac{Q\nu}{0,01qV} \text{ м.} \quad (4.7)$$

Например, для молотилки зерноуборочного комбайна с $Q=9$ кг/с, при $c=1/2$ ($\nu = \frac{1}{1+2} = 0,333$), $V=6$ км/ч (1,666 м/с) в зависимости от урожайности q зерновых необходимая расчетная рабочая ширина B_p захвата ЖХ представлена в табл.4.15.

Таблица 4.15

Рациональные параметры B_p жатки зернокомбайна

производительностью 9 кг/с от урожайности q зерна пшеницы

q , ц/га	10	20	30	40	50	60
B_p , м	18	9	6	4,5	3,6	3

Некоторая корректировка в оценке параметра B_p может быть проведена за счет небольшого изменения величины рабочей скорости V ($4 \leq V < 8 \text{ км/ч}$).

Изменение урожайности q повлечет за собой и изменение расчетной рабочей ширины B_p жатки для выполнения условия (4.6).

Рациональные типоразмеры B_p ЖХ для различных исходных данных при функционировании определяются из условия обеспечения максимальной прибыли от изготовления и эксплуатации зернокомбайна с проектируемой ЖХ [28].

Согласование производительности СХМ в поточных технологических линиях. Для обеспечения максимальной эффективности непрерывного функционирования СХМ в поточных технологических линиях необходимо, чтобы производительность Q_i машины на предыдущей операции была бы равна или меньше производительности Q_{i+1} СХМ на последующей операции

$$Q_i \leq Q_{i+1} \leq Q_{i+2} \dots \leq Q_{i+n} . \quad (4.8)$$

При нарушении условия (4.8) производительность поточной технологической линии будет равна производительности СХМ (с минимальной производительностью) в этой технологической линии, что снижает эффективность эксплуатации всей технологической линии.

Согласование параметров СХМ с требованием сохранения плодородия почвы и неповреждаемости культурных растений.

В агропромышленном производстве имеют место условия работы мобильной СХМ, когда выезд транспортного средства для погрузочно-разгрузочных работ в поле не допускается из-за возможного нарушения плодородия почвы или из-за травмирования культурных растений. Например: нежелательно заправлять сеялки и разбрасыватели удобрений на поле; недопустимо движение транспортных средств для отвозки готовой продукции от комбайна по хлопковому полю и т.д. В этих случаях загрузку машин надо выполнять на поворотной полосе или на краю поля.

Поэтому объем бункера V_{σ} СХМ должен обеспечить работу без остановок для выгрузки (загрузки) бункера при K проходах ($K = 1, 2, 3, \dots, n$), длиной S_p (м), по полю длиной L (м). Это требование выполняется при условии [13]

$$\frac{LB_p}{10^4} g = V_{\sigma} \gamma \varphi \rightarrow V_{\sigma} = \frac{LB_p g}{10^4 \gamma \varphi} . \quad (4.9)$$

Здесь g - масса продукта, заполняющего (или опорожняющего) емкость бункера (норма высева семян, урожайность), кг/га.

Если объем V_{σ} бункера можно увеличить, то он рассчитывается с учетом целого числа K проходов по полю, т.е.

$$L = S_p K .$$

Расчетный объем V_{σ} бункера СХМ необходимо согласовать с объемом $V_{\sigma_{\text{мп}}}$ кузова транспортной машины из условия

$$V_{\text{отпр}} \varphi_{\text{отпр}} / V_{\text{об}} \varphi = c . \quad (4.10)$$

Здесь $c=1,2,\dots, m$ - целое число.

Условие (4.10) при $c > 1$ определяет выгрузку (загрузку) сельхозматериала из бункеров нескольких СХМ в кузов одной транспортной машины. Из условия (4.10) можно определить необходимый объем $V_{\text{об}}$ СХМ, а из выражения (4.9) – длину L ее рабочего пути и число проходов K СХМ по полю [28].

Выражения (4.5)-(4.10) позволяют при проектировании бункеров мобильных СХМ оценивать их рабочий объем $V_{\text{об}}$ для различных условий функционирования. Дополнительными ограничениями на величину объема бункера $V_{\text{об}}$ являются: допустимое удельное давление колес СХМ на поле; прочность несущих конструкций СХМ; расположение центра масс проектируемой СХМ, определяющее ее устойчивость, маневренность и др.

Согласование параметров СХМ с энергетическими характеристиками трактора. При известном энергетическом средстве (тракторе), используемом для агрегатирования с проектируемой СХМ с высоким потреблением энергии (плуги, глубокихлители), ограничением ширины B захвата является сила тяги $P_{\text{м}}$ трактора на крюке

$$\eta P_{\text{кр}} \geq P_{\text{р}} , \quad (4.11)$$

где $P_{\text{р}}$ - суммарное сопротивление от перемещения СХМ, выполняющей технологический процесс; η - коэффициент использования силы тяги $P_{\text{кр}}$ трактора.

При равномерном, прямолинейном движении агрегата (трактор и СХМ)

$$P_{\text{кр}} = F - G_{\text{Т}} (f_{\text{Т}} \cos \alpha + \sin \alpha) . \quad (4.12)$$

Здесь F - движущая сила трактора; $G_{\text{Т}}$ - сила веса трактора; $f_{\text{Т}}$ - коэффициент перекаtywания колес трактора по полю; α - угол наклона поля к горизонту.

На стадии проектирования движущую силу трактора примем равной силе F сцепления ведущих колес трактора с почвой [45]

$$F = G_{\text{к}} \varphi \cos \alpha , \quad (4.13)$$

где G_k - нагрузка на ведущие колеса трактора в его горизонтальном положении; φ - коэффициент сцепления колес трактора с почвой.

$$G_k = \frac{G_T(L - A)}{L}.$$

Здесь L - колесная база трактора; A - расстояние центра масс трактора от ведущих колес.

$$P_p = nP_{m\phi} + G_m \sin \alpha, \quad (4.14)$$

где $P_{m\phi}$ - тяговое усилие на перемещение одной СХМ или секции СХМ при ее функционировании, например, тяговое усилие плуга в первом приближении можно определить по формуле В.П.Горячкина [94]

$$P_{m\phi} = fG_n + n\kappa ab + EabV_m^2. \quad (4.15)$$

Здесь G_n - сила веса плуга; f - коэффициент сопротивления передвижению плуга в борозде; κ - удельное сопротивление почвы деформации и разрушению при вспашке; a, b - глубина и ширина пласта земли, вырезаемого одним корпусом плуга; E - коэффициент, зависящий от формы рабочей поверхности отвала и свойств почвы; V_m - рабочая скорость плуга (трактора); G_m - сила веса СХМ, на стадии проектирования можно принять для секционных машин с шириной b захвата одной секции и количества n секций (например, корпуса плугов, глубокорыхлителей)

$$G_m = q_m B = q_m bn. \quad (4.16)$$

Здесь q_m - удельная металлоемкость СХМ, кг/м; n - количество секций СХМ.

Подставив $P_{кр}$ из (4.12) и P_p из (4.14) в выражение (4.11), с учетом G_m из (4.16) и F из (4.13), получим

$$\eta[F - G_T(f_T \cos \alpha + \sin \alpha)] \geq n(P_{T\phi} + q_m b \sin \alpha), \quad (4.17)$$

отсюда

$$n \leq \frac{P_{кп} \eta}{P_{Тф} + q_m b \sin \alpha} = \frac{\eta G_T \left[\left(1 - \frac{A}{L} \right) \varphi \cos \alpha - (f_T \cos \alpha + \sin \alpha) \right]}{P_{Тф} + q_m b \sin \alpha}, \quad (4.18)$$

принимая n - целое число, расчетная ширина агрегата или СХМ с n секциями шириной b каждая

$$B = nb. \quad (4.19)$$

Очевидно, что величина тягового усилия $P_{Тф}$ различна для СХМ одного типа (например, плуг) в разных природно-климатических зонах (в России 20 природно-климатических зон), следовательно, различны и расчетные величины B агрегируемых с трактором СХМ и орудий.

4.3.8. Обоснование и построение функциональных схем сельскохозяйственных машин

Схемы в зависимости от основного назначения подразделяют на следующие типы:

- структурные;
- функциональные;
- принципиальные (полные);
- соединений (монтажные);
- подключения;
- общие;
- расположения;
- объединенные.

Примечание. Наименования типов схем, указанные в скобках, устанавливают для электрических схем энергетических сооружений.

Наименование и код схем определяют их вид и типом.

Наименование схемы комбинированной определяют комбинированными видами схем и типов схем.

Наименование схемы объединенной определяется ее видом и типом.

Код схемы должен состоять из буквенной части, определяющей вид схемы, и цифровой части, определяющей тип схемы.

Виды схем обозначают буквами:

- электрические – Э;
- гидравлические – Г;
- пневматические – П;
- газовые (кроме пневматических) – Х;
- кинематические – К;

- вакуумные – В;
- оптические – Л;
- энергетические – Р;
- деления – Е;
- комбинированные – С.

Типы схем обозначают цифрами:

- структурные – 1;
- функциональные – 2;
- принципиальные (полные) – 3;
- соединений (монтажные) – 4;
- подключения – 5;
- общие – 6;
- расположения – 7;
- объединенные – 0.

Например, схема функциональная: (шифр изделия) 2; схема кинематическая общая: шифр изделия К6; схема кинематическая принципиальная: шифр изделия К3; схема принципиальная: шифр изделия 3.

Функциональная схема (ФС) проектируемой СХМ (ГОСТ 2.701-84) определяет обоснованную систему частных технологических операций и технических средств, их реализующих, и их взаимосвязи, определяющие рациональное выполнение заданного технологического процесса при известных ограничениях его показателей (агропоказатели). ФС разъясняет технологические операции, процессы в проектируемой СХМ или агрегате, определяет вид (или вариант) технического средства, выполняющего частную операцию (например, пневмосепарация), или их подсистему (например, решетный стан ВР30М, включающий четыре частных операции) и их основные параметры (размеры, кинематические параметры), а также изменение технологических свойств обрабатываемого материала после выполнения каждой операции и всей СХМ или агрегата.

В результате разработки ФС получают данные о вариантах рабочих органов, с помощью которых целесообразно осуществлять технологический процесс проектируемой СХМ, о их параметрах и режимах работы, о взаимном их расположении и последовательности осуществления обработки сельскохозяйственного материала.

Исходными данными для построения ФС служат исходные технологические свойства обрабатываемого материала и свойства, которые необходимо ему придать в процессе обработки на проектируемой СХМ. Процесс перевода материала из одного состояния в другое зависит от наличия и возможностей рабочих органов, последовательно и в совокупности осуществляющих его. Наличие рабочих органов, в которых заложены различные методы и принципы воздействия на материал, различная степень концентрации обработки, дает некоторое количество вариантов функциональной схемы проектируемой машины. Для ориен-

тировочного подхода к созданию вариантов в практике за базу выбирают одну из машин-аналогов раннего периода выполнения механизированных сельскохозяйственных процессов, а все последующие варианты машин рассматривают как процесс совершенствования конструкции. Анализ их достоинств и недостатков приводит к синтезу новых вариантов схемы.

Однако полученные варианты, обеспечивающие одинаковое качество работы, обусловленное агро- и зоопказателями, не являются равноценными, так как техническое задание накладывает целый ряд ограничений по материалоемкости, технологичности, надежности и долговечности, технике безопасности, эстетике и эргономике, экономике и т.д. При оценке вариантов и выборе рациональной схемы эти ограничения должны быть учтены.

В результате расчета и построения схемы получают данные о размерах рабочих органов, режимах их работы и функциональных связях между ними. Условием их обоснования является обеспечение заданных уровней показателей назначения, как правило, каждый рабочий орган обеспечивает достижение целого ряда значений агро- и зоопказателей.

Обоснование ФС – творческий процесс проектирования, включающий современные методы моделирования вариантов с последующей их параметрической и структурной оптимизацией (параметрический и структурный синтез объекта проектирования) с использованием методологии теории исследования операций и системы автоматизированного проектирования (САПР).

ФС предназначена для изучения принципов функционирования СХМ, регулировки, контроля выполнения технологического процесса. Утвержденная ФС является основой для разработки принципиальной и кинематической схем проектируемой СХМ или агрегата.

Построение ФС – процесс технического отображения обоснованной схемы с учетом требований стандартов (ГОСТ 2.701-84). ФС – неотъемлемая часть графической технической документации на проектируемый технический объект, разрабатываемый на стадиях технического проекта.

4.3.8.1. Понятие системы и системного анализа при проектировании

Проектирование (от латинского *projectus* – брошенный вперед) – процесс создания проекта-прототипа, прообраза предлагаемого или возможного объекта, состояния. В процессе проектирования получают данные о структуре и функционировании систем, подсистем и их элементов, удовлетворяющих критериям проектирования (доход, приведенные затраты в эксплуатации, производительность, показатели назначения, надежность, долговечность и т.д.) [28, 87]. Практическая

реализация целей и задач проектирования может происходить в рамках САПР или с использованием аналоговых принципов [59, 78]

Возможность проектирования сельскохозяйственных машин, агрегатов и других сложных объектов обусловлена использованием ряда принципов, основными из которых являются представление объекта проектирования в виде систем, декомпозиция и иерархичность описания объектов, многоэтапность и итерационность проектирования, типизация и унификация проектных решений и средств проектирования.

В общем случае система представляет собой целостный комплекс взаимосвязанных элементов, который имеет определенную структуру и взаимодействует с некоторой средой [28, 49]. Системы изучаются в рамках общей и абстрактной теории систем.

При разработке систем прибегают к специальному приему описания систем: **структурному** (анализу внутреннего устройства) и **функциональному** (анализу взаимодействий со средой и между частями изделия) (рис.4.12, 4.13).

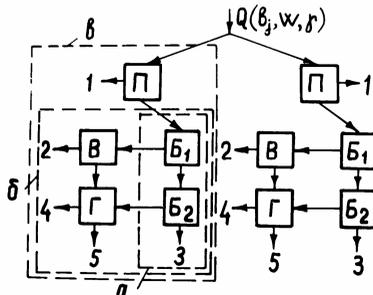


Рис.4.12. Воздушно-решетная зерноочистительная машина, представленная в виде системы (и подсистем) функционально связанных элементов: П – пневмосепаратор; B_1 , B_2 , В, Г – решета в двухъярусном решетном стане; 1 – легкие отходы; 2 и 3 – мелкие и крупные сорные отходы; 4 – фуражные отходы; 5 – очищенное зерно; а, б, в – выделенные подсистемы

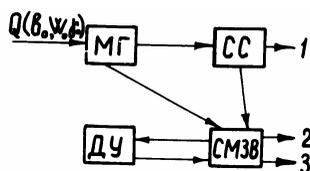


Рис.4.13. Молотилка зернокомбайна, представленная в виде функционально связанных подсистем: МГ – молотильная группа; СС – соломосепаратор; ДУ – домолачивающее устройство; СМЗВ – сепаратор мелкого зернового вороха; 1 – фракция выделяемой соломы; 2 – фракция крупных и легких отходов; 3 – очищенное зерно

При описании систем выделяют ее элементы [14] – это части или компоненты системы (например, отдельные решета B_1 , B_2 , В, Г и др. в воздушнорешетных машинах с двухъярусным решетным станом (см. рис.4.12); признаки, характеризующие свойства элементов системы (например, решета в решетных станах – размеры решетных полотен, форма и размеры их отверстий, кинематические параметры их движений) и связи между элементами системы и их признаками. В указанном

примере (см. рис.4.12) связи между элементами системы (превмосепараторами и решетным станом, между решетками в решетном стане) определяются величиной и технологическими свойствами зерновых или зерносоматистых (см. рис.4.13) фракций, перемещаемых от предыдущего рабочего элемента к последующему (на схемах эти связи указаны линиями со стрелками). Два и более элементов системы, выполняющих законченную частную функциональную операцию, характеристики которой важны для анализа всей системы, могут быть выделены в подсистемы. Например, на рис.4.12 - решета B_1 и B_2 , образующие два последовательных решета для выполнения частной законченной технологической операции по выделению из зернового материала крупных примесей; решетный стан, включающий все решета; пневмосепараторы. В молотилке зерноуборочного комбайна (см. рис.4.13) в качестве подсистем можно выделить: молотильную группу, состоящую из молотильного барабана, подбарабанья и отбойного битера; соломотряса, состоящего, например, из группы параллельно работающих клавиш соломотряса; сепаратора мелкого зернового вороха и домолачивающего устройства.

Связи между признаками элементов или частей (подсистем, состоящих из двух или более элементов системы) могут быть выражены через показатели функционирования системы, величины которых зависят не только от функциональной связи элементов или частей системы, но и от их признаков (размеров отверстий решет, размеров решетных полотен и др.).

Связи объединяют систему в единое целое. По существу, только наличие многих видов связей (структурных, функциональных, логических, случайных и т.д.) делают понятие системы полезным. Ни для одного множества рассматриваемых элементов нельзя утверждать, что в нем не существует связей; например, в случае любой физической системы за связи всегда можно принять расстояния между элементами этой системы.

Важная часть - это вход системы, являющийся комплексным понятием. Во-первых, он субстанция, которая поступает в систему и подвергается определенным преобразованиям, изменяется при выполнении рассматриваемого процесса; во-вторых, вход - внешняя среда или совокупность факторов и явлений, воздействующих на рассматриваемую систему. У входа различают виды и компоненты. Рассмотрим три основных вида входа:

1) вход - результат предшествующего процесса, последовательно связанного с данным процессом (например, подача Q и технологические свойства зернового материала, полученные в результате функционирования зернокомбайна и поступающие для очистки в воздушно-решетную машину, содержание j -х компонентов B_j в зерно-

вом материале, влажность W зернового материала (см. рис.4.12) или подача Q и соответствующие технологические свойства хлебной массы B_{0j} , W_0 , поступающей в молотилку зернокомбайна (см. рис.4.13) после жатки);

2) вход – результат процесса того же комплекса, который вновь вводится в него через обратную связь (например, дополнительная подача мелкого зернового вороха на его сепараторы мелкого зернового вороха из домолачивающего устройства (ДУ) (см. рис.4.13);

3) к понятию входа системы относятся и установленные способы ее функционирования (например, программы управления подачи хлебной массы в молотилку зернокомбайна).

Процесс переводит вход в выход и является процессом функционирования рассматриваемой системы (например, процесс очистки зерна от сорных и зерновых примесей). Выход является результатом функционирования рассматриваемой системы и относится либо к получению полезного результата очистки зернового материала, производительности зернокомбайна, либо к сопутствующим результатам, не дающим положительного эффекта (запыленность среды, вибрация машин и др.).

Структурное описание системы.

Элемент комплекса (системы) – его часть (базовый элемент), у которой теоретически или экспериментально можно определить вход и выход и установить зависимость выхода от входа, определяемую природой элемента. Элементы делятся на *одномерные* и *многомерные*.

Одномерный элемент – элемент, вход и выход которого представляют собой скалярные величины (величины, характеризующие один показатель, например, подача зернового материала) (см. рис.4.14,а).

Многомерный элемент – элемент, вход и выход которого описываются совокупностью независимых показателей, являющихся аргументами вектора входных воздействий (например, подача зернового материала, его влажность, содержание сорных и зерновых компонентов и т.д.) (см. рис.4.14,б).

При изучении систем вводится понятие сложной системы.

Рассмотрение изучаемого объекта как системы, состоящей из взаимодействующих элементов, построение математической модели и исследование его свойств методом моделирования

составляют сущность системного подхода, а совокупность методов и приемов исследования входит в арсенал самостоятельного научного направления – системного анализа.

Иерархические уровни описания проектируемых объектов. Разделение описаний по степени детализации отображаемых свойств и характеристик объекта лежит в основе блочно-иерархического подхода к проектированию и приводит к появлению иерархических уровней (уровней абстрагирования) в представлениях о проектируемом объекте.

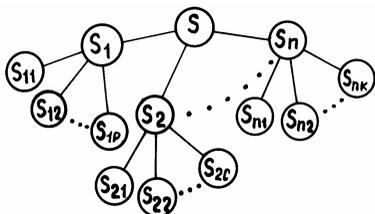


Рис.4.15. Схема иерархического описания объекта проектирования

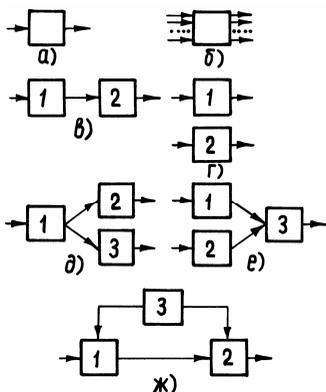


Рис.4.14. Виды комплексов и их элементы: а – одномерный элемент; б – многомерный элемент; в-ж – комплексы: в – последовательный; г – параллельный; д – расходящийся; е – сходящийся; ж - замкнутый

На каждом иерархическом уровне используются свои понятия системы и элементов. На уровне 1 (верхнем уровне) подлежащий проектированию сложный объект S (рис.4.15) рассматривается как система S из n взаимосвязанных и взаимодействующих элементов S_i . Каждый из элементов в описании уровня 1 представляет собой

подсистему S_i на уровне 2. Элементами подсистемы S_i являются объекты $S_{ij}, j=1,2,3,\dots, (m_i - \text{количество элементов в описании подсистемы } S_i, m_i = p, m_i = c, m_i = k)$. Как правило, выделение элементов S_{ij} происходит по функциональному признаку. Подобное разделение может продолжаться вплоть до получения на некотором уровне элементов, описание которых дальнейшему делению не подлежит (базовые элементы).

Таким образом, **принцип иерархичности** означает структурирование представлений об объектах проектирования по степени детальности описаний, а **принцип декомпозиции** (блочности) – разбиение представлений каждого уровня на ряд составных частей (блоков) с возможностью раздельного (поблочного) проектирования объектов S_i на уровне 1, объектов S_{ij} - на уровне 2 и т.д.

Пример. В машиностроении базовые элементы представлены деталями: винт; шпонка; вал; зубчатое колесо; решетное полотно и др. Детали рассматриваются как элементы, фигурирующие в описаниях низшего иерархического уровня, на котором системами являются сборочные единицы (редуктор, решетный стан, молотильный барабан и др.). Иногда базовыми элементами таких систем могут быть не только детали, но и объекты, состоящие из многих деталей и получаемые на данном предприятии как законченные комплектующие изделия (например, подшипники качения, электродвигатели и т.п.). Сборочные единицы являются элементами систем следующего иерархического уровня (например, зерноочистительная машины и др.), которые, в свою очередь, могут быть элементами более высокого уровня (например, отделение очистки зерноочистительного агрегата, куда входит несколько различных машин).

Классификация типовых процедур проектирования. Проектная процедура называется типовой, если она предназначена для многократного применения при проектировании многих типов объектов. Различают проектные процедуры анализа и синтеза. Синтез заключается в создании описания объекта, а анализ – в определении свойств и исследовании работоспособности объекта по его описанию, т.е. при синтезе создаются, а при анализе оцениваются проекты объектов.

Процедуры анализа делятся на процедуры одно- и многовариантного анализа. При одновариантном анализе заданы значения внутренних параметров. Требуется определить значение выходных параметров объекта. Многовариантный анализ заключается в исследовании свойств объекта в некоторой области пространства внутренних пара-

метров. Такой анализ требует многократного решения систем уравнений – математической модели, описывающей объект (многократного выполнения одновариантного анализа).

Процедуры делятся на процедуры структурного и параметрического синтеза. Целью структурного синтеза является определение структуры объекта – перечня типов элементов, составляющих объект, и способа связи элементов между собой в составе объекта. Параметрический синтез заключается в определении числовых значений параметров элементов при заданных структуре и условиях выполнения агропоказателей на выходные показатели объекта, т.е. при параметрическом синтезе нужно найти точку или область в пространстве внутренних параметров, в которых выполняются те или иные условия (обычно технические, агро- или зоотребования).

Типичная последовательность проектных процедур на одном из этапов нисходящего проектирования представлена на рис.4.16.

На предыдущем этапе решались задачи k -го иерархического уровня, одним из результатов решения этих задач при нисходящем проектировании является формулировка ТЗ (технического задания) на проектирование систем $(k + 1)$ -го рассматриваемого уровня.

Если решение задач высоких иерархических уровней предшествует решению задач более низких иерархических уровней, то проектирование называют нисходящим. Если сначала выполняются этапы, связанные с низшими иерархическими уровнями, проектирование называют восходящим. У каждого из этих двух видов проектирования имеются преимущества и недостатки.

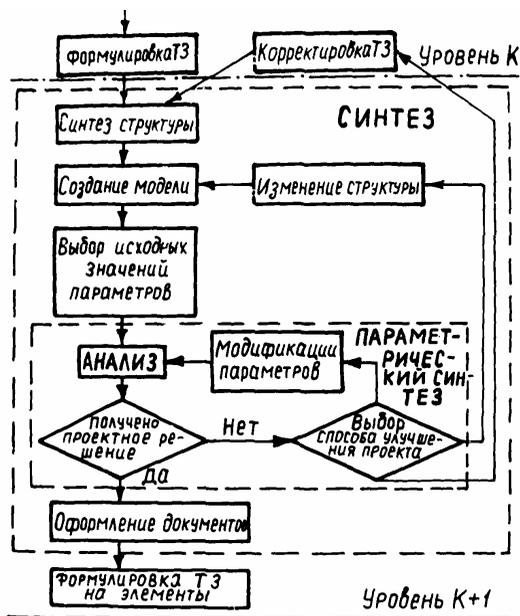


Рис.4.16. Схема процесса проектирования

Проектирование системы начинается с синтеза исходного варианта структуры. Для оценки этого варианта создается модель: математическая при автоматизированном проектировании; экспериментальная (физическая) или стенд – при неавтоматизированном проектировании. После выбора исходных значений параметров элементов выполняется анализ варианта, по результатам которого становится возможной его оценка. Обычно оценка заключается в проверке выполнения требований ТЗ. Если ТЗ выполняются, то полученное проектное решение принимается, система $(k + 1)$ -го уровня описывается в принятой форме и формулируется ТЗ на проектирование элементов данного уровня (так называемых систем следующего уровня). Если же полученное проектное решение неудовлетворительно, выбирается один из возможных путей улучшения проекта.

Обычно проще всего осуществить изменение числовых значений параметров элементов, составляющих аргументы вектора \vec{A} управляющих воздействий (например, частоту колебаний решетчатого стана, форму и размеры отверстий решет и т.п.).

Совокупность процедур модификации \bar{A} , анализа и оценки результатов анализа представляет собой процедуру параметрического синтеза. Если модификации \bar{A} целенаправлены и подчинены стратегии поиска наилучшего значения некоторого показателя качества, то процедура параметрического синтеза является процедурой оптимизации. Возможно, что путем параметрического синтеза не удастся добиться приемлемой степени выполнения требований ТЗ. Тогда используют другой путь, связанный с модификациями структуры проектируемого объекта.

Новый вариант структуры синтезируется, и для него повторяются процедуры формирования модели и параметрического синтеза. Если не удастся получить приемлемое проектное решение и на этом пути, то возникает вопрос о корректировке ТЗ, сформулированного на предыдущем этапе проектирования. Такая корректировка может потребовать повторного выполнения ряда процедур k -го иерархического уровня, что обуславливает итерационный характер проектирования.

Задачи обеспечения агротехнических требований. Агротехнические требования обеспечиваются при выполнении механизированных технологических сельскохозяйственных процессов созданием функциональной структуры машин, параметрами и режимами их работы. Эта группа требований определяет **основное назначение машины**. Напомним из теории исследования операции, что система может считаться функционально пригодной, если она выполняет свое назначение. Следует также иметь в виду, что все другие группы требований могут быть обеспечены методами общими для отраслей машиностроения, а эта группа требует специальных методов, присущих только сельскохозяйственному машиностроению.

Очевидно, что в этом плане функциональная структура СХМ при проектировании является первоначальной. Критериями ее проектирования являются показатели качества работы, содержащиеся в техническом задании.

4.3.8.2. Структурно-параметрический синтез рабочих органов сельскохозяйственных машин при проектировании

При параметрической и структурной оптимизации ФС на первом этапе необходимо выбрать существующие (принцип унификации) или обосновать новые рабочие органы, реализующие одну или подсистему вариантов частных технологических операций, необходимых для выполнения заданного технологического процесса проектируемой СХМ.

Для системного анализа и синтеза, определяющих рациональные подсистемы операций и рабочих органов, их реализующих, необходимо построить математические модели, описывающие эти операции, провести их многомерный анализ, и если эти операции последние в

системе операций, формирующих СХМ, осуществить параметрический синтез этих рабочих органов.

Системность анализа и параметрического синтеза (для последних операций в системе), операций и рабочего органа, ее реализующего, определится количеством, качеством обрабатываемого материала на предыдущей операции в системе и характеристиками его подачи на исследуемый рабочий орган (закономерности поступления, потока материала по времени, по ширине).

Рассмотрим для примера методы структурной и параметрической оптимизации базовых элементов и рабочих органов воздушно-решетных зерноочистительных машин.

Многоэтапность проектирования. В процессе проектирования получают данные о структуре машины или агрегата и их функционировании, удовлетворяющие требованиям технического задания. Вместе с тем на стадиях проектирования проводится обоснование и подтверждение требований технического задания.

Основной задачей технического проектирования является разработка наилучшей возможной системы в соответствии с заданными требованиями технического задания (ТЗ).

Основная идея технической разработки системы состоит в том, чтобы, начав с формулировки требований и целей системы, продвигаться некоторым регулярным образом к оптимальной системе. На рис.4.17 показана упрощенная модель процесса разработки системы с использованием методов структурно-параметрического синтеза, из которой видно, что оптимальное проектирование является частью технической разработки системы.



Рис.4.17. Модель технической разработки системы

Техническое задание устанавливает основное назначение, технические характеристики, показатели качества и технико-экономические требования, предъявляемые к разработанному изделию.

Задача проектировщика на стадиях эскизного и технического проекта направлена на выбор вариантов совокупностей частных операций (структуры объекта), обеспечивающих выполнение требований, предъявляемых к разрабатываемой системе. Эти выбранные операции становятся затем целями низшего уровня для разработки подсистем. Например, для обеспечения технологических показателей назначения решетного стана зерноочистительной машины (выделение из зернового материала отделяемых сорных и зерновых примесей и доведение качества очищенного зерна до требуемой кондиции) в качестве частных технологических операций выбраны: операция по выделению из зернового материала крупных сорных примесей, мелких сорных примесей, зерновых примесей. Различная совокупность этих операций и рабочих органов, их выполняющих, образуют различные варианты проектируемой системы. При этом частная технологическая операция, например, выделение из зернового материала крупных сорных примесей, может быть реализована различной компоновкой решетных сепараторов: одним решетом или двумя последовательными решетками, являющимися низшими подсистемами проектируемой системы – решетного стана, на предварительном этапе - может разрабатываться отдельно. Системность при параметрической оптимизации решетного стана при этом определится количеством, качеством (содержание в зерновом материале j -х компонентов и др.) зернового материала после выполнения предыдущей операции, например, пневмосепарации.

При этом, если частные технологические операции определены, они должны быть описаны в количественных терминах.

Следующий шаг, концептуальное проектирование, состоит в определении различных вариантов структур или совокупностей частных технологических операций и соответствующих им вариантов рабочих органов, которые в совокупности могут удовлетворить целям системы. На этом этапе желательно изыскивать как можно больше структурных совокупностей, чтобы не исключить те, которые при дальнейшем анализе могут оказаться эффективными. Например, в качестве возможных сочетаний решетных сепараторов – решетных станков для машин предварительной очистки зерна (МПО) (МПО предназначены для выделения из зернового материала сорных примесей) могут быть использованы решетчатые станы с различными функциональными схемами (см. [28], п.11.3.4)

На этом этапе процесса проектирования важно определить границы приемлемых значений параметров, описывающих систему. Проектируемая система должна, в пределах заданных параметров, выполнять свои целевые функции (выполнять показатели ТЗ).

На стадии оптимального проектирования проектировщик должен выбрать рациональные величины параметров, определяющих функционирование соответствующих вариантов систем (задачи параметрического синтеза) и сравнить полученные показатели функционирования различных вариантов между собой для выбора наилучшей системы, удовлетворяющей технологическим ограничениям и назначениям системы (задачи структурного синтеза).

Для выбора рациональных параметров различных вариантов систем необходимо предварительно выбрать критерий (или критерии) оптимизации – математическое выражение результата (целей) осуществления процесса. Критерий должен отвечать определенным требованиям, быть представительным, критичным, по возможности простым.

Однако, как правило, последний шаг процесса проектирования системы, изображенной на рис.4.17 (описание оптимальной системы), в действительности оказывается промежуточным шагом. В процессе проектирования, при глубоком изучении вариантов систем, их анализе и синтезе возникают новые соображения, связанные с выполнением других работ, присущих стадиям и этапам проектирования, например, проверка вариантов на соответствие требованиям техники безопасности и производственной санитарии, предварительное решение вопросов упаковки и транспортировки, которые могут повлиять на каждый этап технической разработки системы. Именно с этой целью указаны все каналы обратной связи в модели на рис.4.17 (структурная оптимизация).

Анализ технического задания и структура технологического процесса воздушно-решетной зерноочистительной машины. Агротребования на показатели назначения, включенные в ТЗ:

- производительность $BPЗOM \geq [заданная]$;
- содержание в очищенном зерне сорных примесей $b_c \leq [b_c]$;
- зерновые примеси $b_{nz} \leq [b_{nz}]$, потери зерна $\delta_3 \leq [\delta_3]$;

Производительность $BPЗOM$ – это максимальная подача исходного зернового материала (в кг/с, т/ч) при рациональной эксплуатационной настройке $BPЗOM$ и выполнении всех агропоказателей.

Содержание в очищенном зерне сорных и зерновых примесей определяется их процентным содержанием в очищенной зерновой фракции.

Анализ машин-аналогов, результатов параметрической оптимизации рабочих органов и их структур показывает, что оценку показателей назначения проектируемой $BPЗOM$ можно провести на проектной стадии путем известных методов параметрического синтеза или много-

мерного анализа (анализ по двум и более факторам, влияющим на функционирование ВРЗОМ) вариантов рабочих органов, которые, возможно, будут использованы в ВРЗМ.

Выявлено, что исходя из технологических свойств исходного зернового материала и агротребований к очищенному зерну, рациональная структура технологического процесса для универсальной ВРЗОМ, способной выполнять предварительную, первичную и семенную очистку, включает последовательные операции:

1-я операция - выделение из зернового материала грубых примесей (выполняется транспортерными или барабанными скельператорами);

2-я операция - выделение из зернового материала легких примесей (выполняется пневмосепараторами различных схем и конструкций);

3-я операция - выделение из зернового материала (в основном прошедшего операции выделения грубых и легких примесей) мелких сорных, зерновых и крупных примесей (выполняется на решетных сепараторах с различными структурами их компоновки).

Для реализации этих операций и обеспечения заданных агротребований необходимо на проектной стадии разработки ВРЗОМ синтезировать ее функциональную и принципиальную схемы, включающие рабочие органы с соответствующими рациональными параметрами: скельператора, пневмосепаратора (один на входе и, возможно, на выходе очищаемого зерна), решетный стан (модуль).

Для этого необходимо создать варианты рабочих органов (библиотеки вариантов), варианты математических моделей, описывающих функционирование рабочих процессов, выполняемых этими рабочими органами (библиотеки математических моделей вариантов технологических операций), создать методологию оценки формирования рациональной функциональной схемы по критериям-показателям назначения; принципиальной схемы с учетом технических требований ТЗ, техники безопасности, технологичности, эргономики, эстетики, экономических показателей, что в целом позволит использовать экономические критерии с учетом вышеуказанных ограничений.

Рассмотрим для примера варианты рабочих органов для выполнения указанных технологических операций, методы моделирования выполняемых ими операций и методологию обоснования функциональной схемы в системе САПР [28].

При блочно-иерархическом подходе к проектированию зерноочистительных машин (принцип декомпозиции) одним из основных ба-

зовых элементов, выделяемых по функциональному признаку, математическое описание которых дальнейшему делению не подлежит, являются различные решетчатые сепараторы [100].

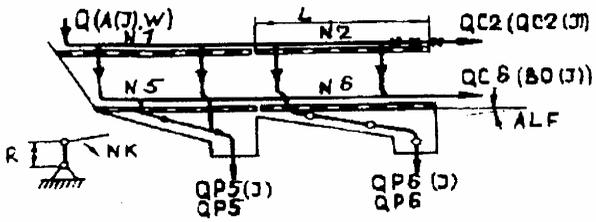
В учебнике [28] приведены базовые элементы решетчатых модулей и варианты различных пневмосепараторов, делителей потока подаваемого зернового материала на решетчатые модули. Приведены математические модели, описывающие процессы сепарации на различных вариантах решетчатых модулей. Исходного материала достаточно для моделирования вариантами рабочих элементов. Для обоснования рациональной ФС целесообразно использовать расчетную САПР (см. разд.3.3.2).

4.3.8.3. Параметрическая оптимизация и анализ функционирования рабочих органов СХМ

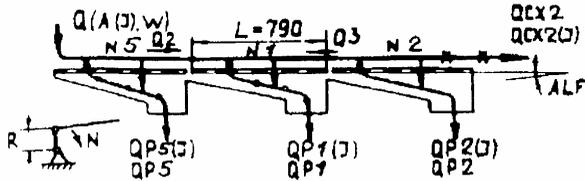
Рассмотрим на примере решетчатых модулей зерноочистительных машин. Предварительный анализ с учетом технических ограничений по возможному использованию в машинах известных закономерностей сепарации зерновых материалов на решетчатых модулях показал целесообразность использования одноярусных решетчатых модулей [15].

В связи с этим осуществлен параметрический синтез (рис.4.18) трехрешетчатых модулей, и оценены показатели их функционирования, при этом рассмотрены сравнительные показатели современных двухъярусных решетчатых модулей. Проведена параметрическая оптимизация, и оценены основные показатели функционирования двухъярусных четырехрешетчатых и одноярусных трехрешетчатых модулей, оснащенных стандартными плоскопробивными и гофрированными решетками с круглыми и продолговатыми отверстиями применительно к машинам для очистки зерна до базисных кондиций продовольственного назначения. Объектом исследования служил двухъярусный решетчатый модуль (см. рис.4.18,а), оснащенный двумя вариантами решетчатых полотен: 1 – гофрированными зерновыми решетками (решета №1 и №2) с круглыми отверстиями и подсевными решетками (решета №5 и №6) с продолговатыми отверстиями; 2 – зерновыми и подсевными стандартными плоскими решетками с продолговатыми отверстиями. Для параметрического синтеза использованы разработанные алгоритмы, где ограничения имели вид (просеиваемость зерна ($j = 1$) через решета №1 и №2):

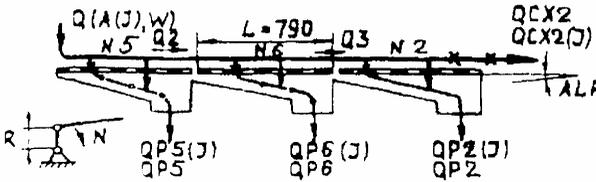
$$\varepsilon_{c12(j=1)} \geq 0,9995 .$$



a



б



в

Рис.4.18. Функциональные схемы двухъярусного решетчатого модуля (а), одноярусного трехрешетчатого модуля предварительной очистки зерна (б) и одноярусного трехрешетчатого модуля для первичной очистки зерна (в):

-- → поток обрабатываемой культуры; -- x -- крупные примеси;
 ---•--- мелкие примеси; --- о --- фуражные отходы

Содержание в очищенном зерне сорных b_c и зерновых b_{n3}

примесей:

$$b_c = \frac{\sum_{j=2;3;6} a_j \varepsilon_{cj}}{\sum_{j=1} a_j \varepsilon_{cj}} \leq 0,010, \quad b_{n3} = \frac{\sum_{j=4;5} a_j \varepsilon_{cj}}{\sum_{j=1} a_j \varepsilon_{cj}} \leq 0,020;$$

$$E_{\Phi} \rightarrow \max .$$

$$P_{QP} = \{P_{Q1} = 0,04166, P_{Q2} = 0,04166, \dots, P_{Q24} = 0,04166\};$$

$$p = 1, 2, \dots, 24.$$

При параметрической оптимизации решетчатого модуля, оснащенного стандартными решетками, неравномерность распределения поддачи зернового материала по ширине решет определяли коэффициентом вариации $v_Q = 24,6\%$; исходный зерновой материал: a_j - {крупные примеси $a_2 = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\%$; соломистые примеси $a_3 = 0, 2\%$; зерновые примеси (щуплое и дробленое зерно) $a_4 = 7\%$; дробленое «поперек» зерно $a_5 = 2\%$; мелкие сорные примеси $a_6 = 1, 0\%$ };

$$13,5 \leq W \leq 25,5\%, \quad t_W = 3\%;$$

$$1,5 \leq Q \leq 4,6 \text{ кг/(м·с)}, \quad t_Q = 0,3 \text{ кг/(м·с)}.$$

Первый вариант

$$4,5 \leq d_1 \leq 6,50 \text{ мм}, \quad t_{d_1} = 0,5 \text{ мм};$$

$$4,5 \leq d_2 \leq 6,50 \text{ мм}, \quad t_{d_2} = 0,5 \text{ мм};$$

$$7,17 \leq n \leq 8,0 \text{ с}^{-1}, \quad t_n = 0,0833 \text{ с}^{-1};$$

Второй вариант

$$2,8 \leq b_1 \leq 4 \text{ мм}, \quad t_{b_1} = 0,2 \text{ мм};$$

$$2,8 \leq b_2 \leq 4 \text{ мм}, \quad t_{b_2} = 0,2 \text{ мм};$$

$$b_5 = 1,7 \text{ мм}, \quad b_6 = 2,0 \text{ мм}, \quad \alpha = 8^0,$$

$$R = 8 \text{ мм}, \quad B = 0,99 \text{ м}, \quad \gamma = 750 \text{ кг/м}^3,$$

$$l_1 = l_2 = l_5 = l_6 = 0,790 \text{ м}.$$

С использованием программы «Work4_S» проведен параметрический синтез одноярусного трехрешетчатого модуля для разных вариантов: при первом варианте решетчатый модуль оснащался решетками - первое и второе решета в ярусе (решето №5 и №6) - гофрированные подсевные с продолговатыми отверстиями; третье решето (решето №2) – гофрированное с круглыми отверстиями; при втором варианте – все решета стандартные (плоские) с продолговатыми отверстиями, при этом $b_5 = 1,5 \text{ мм}$, $b_6 = 2,0 \text{ мм}$ (рис.4.19, 4.20).

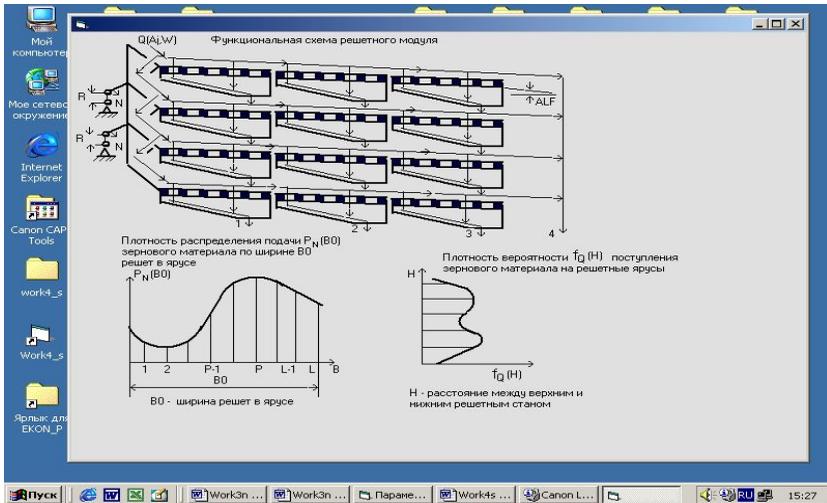


Рис. 4.19. Схема расчета четырехъярусного трехрешетного модуля

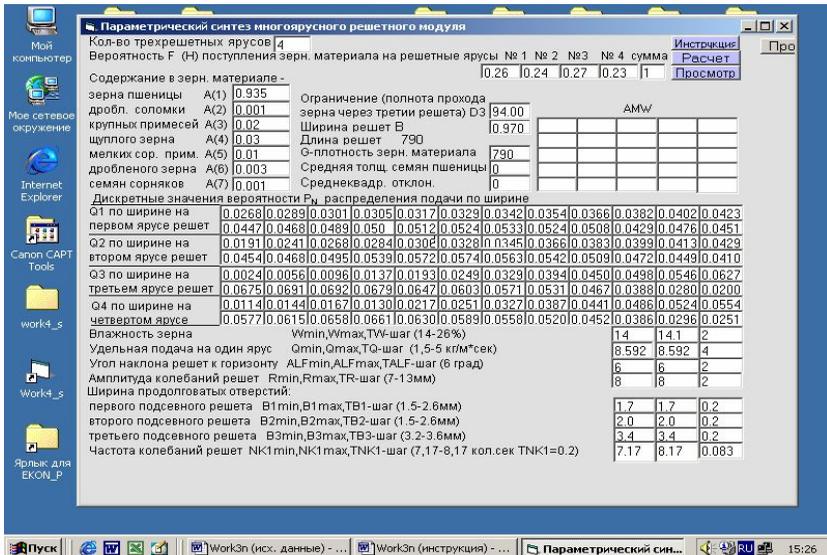


Рис.4.20. Окна ввода исходной информации в ЭВМ для параметрической оптимизации и оценки показателей функционирования трехрешетных модулей. Программа « Work4_ S »

Ограничения имеют вид аналогичный вышеизложенному, где вместо d_1 и d_2 :

$$\varnothing 4,5 \leq d_2 \leq 6,60 \text{ мм}, t_{d_2} = 0,5 \text{ мм}; 2,8 \leq b_2 \leq 4,0 \text{ мм}, t_{d_2} = 0,5 \text{ мм};$$

$$l_2 = l_5 = l_6 = 0,790 \text{ м.}$$

Как и ранее, для оценки величин функционалов $\varepsilon(P)_{1j}$, $\varepsilon(P)_{2j}$, $\varepsilon(P)_{5j}$, $\varepsilon(P)_{6j}$, V_j использованы полученные нами уравнения регрессии (см. [30, табл.11.3]).

С использованием разработанных программ для ЭВМ «Work4_S», «Work3_N» проведен параметрический синтез и оценены показатели функционирования рассматриваемых решетчатых модулей (табл.4.16, 4.17).

Основные показатели двухъярусного четырехрешетного и одноярусного трехрешетного модулей, оснащенных гофрированными решетками, приведены на рис.4.21-4.22, а оснащенных серийными плоскими пробивными решетками на рис.4.23.

Основные закономерности функционирования одного трехрешетного яруса близки к двухъярусному четырехрешетному модулю.

Для выбора рациональных параметров функционирования трехрешетного яруса построена номограмма (рис.4.24). Входные воздействия: подача Q зернового материала, его влажность W и содержание крупных примесей $a_{кп}$.

Определяемые параметры: $\varepsilon_{вщ}$; $\varepsilon_{всм}$; $\varepsilon_{всол}$; $\varepsilon_{вкп}$; d_2 ; n .

Пример: $Q = 2,16$ кг/(м·с); $W = 13,5\%$; $a_{кп} = 3\%$.

Находим: $\varepsilon_{вщ} = 85\%$; $\varepsilon_{всм} = 99\%$; $\varepsilon_{всол} = 82\%$; $\varepsilon_{вкп} = 93\%$;

рациональные параметры решет: $d_2 = 5,5$ мм; $n = 7,77$ кол/с.

Основные технологические показатели функционирования двухъярусного четырехрешетного модуля и двух одноярусных трехрешетных модулей представлены на рис.4.23, рис.4.24. Анализ показывает статистическую значимость прироста полноты выделения всех рассмотренных компонентов зернового материала двумя трехрешетными модулями по сравнению с двухъярусным четырехрешетным модулем.

Таблица 4.16

Рациональные параметры и показатели функционирования двухъярусного решетного модуля, оснащенного плоскими пробивными решетками, при коэффициенте вариации распределения подачи зернового материала по ширине решет $v_Q = 24,63\%$

№ п/п	Исходные данные				Кри- терий эф- фек- тив- ности сепара- ции, Е _{ср} , %	Рабочие размеры продолго- ватых отверстий зерновых решет, мм		Частота колеб. решет- ного модуля, п, с ⁻¹	Полнота выделе- ния из зерно- вого мате- риала j- го компо- нента, ε _{врт} , %	Полнота выделения из зернового материала примесей, %		Содер- жание в очи- щенном зерне j- го компо- нента, b _{jr} , %	Чис- тота очи- щен- ного зер- на, a _{чр} , %	Содержание в очищенном зерне приме- сей b _{jr} , %		Сход зерновых фракций с решет №5 и №6 Q _{сх5} , Q _{сх6} кг/(мс)		Проход зерновых фракций под решета №5 и №6 Q _{п5} и Q _{п6} кг/(мс)	
	Подача зерно- вого мате- риала Q, кг/(мс)	Влаж- ность W, %	Наименование компонентов зернового матери- вала	Содер- жание компо- нентов в зерно- вом мате- риале, a _{jr} , %		№1	№2			зерно- вых ε _{врт}	сор- ных, ε _{ср}			Зерно- вых, b _n	Сор- ных, T _{ср}	Q _{сх2}	Q _{сх6}	Q _{п5}	Q _{п6}
1	1,543	14	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Щуплое зерно Сор мелкий Семена сорняков	86,0 0,5 3,0 8,0 2,0 0,5	82,770	2,8	3,4	8,0	2,481 61,142 97,373 74,947 94,623 94,521	74,947	93,199	97,204 0,225 0,091 2,323 0,124 0,032	97,204	2,323	0,473	0,05 0	1,33 1	0,092	0,071
2	1,832	14	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Щуплое зерно Сор мелкий Семена сорняков	86,0 0,5 3,0 8,0 2,0 0,5	80,630	2,8	3,4	8,0	2,417 60,030 97,099 71,685 93,699 93,252	71,685	92,557	96,869 0,231 0,100 2,615 0,145 0,039	96,870	2,615	0,515	0,05 9	1,58 6	0,104	0,083
3	2,121	14	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Щуплое зерно Сор мелкий Семена сорняков	86,0 0,5 3,0 8,0 2,0 0,5	78,441	2,8	3,4	8,0	2,346 59,587 96,891 68,286 92,748 91,835	68,286	91,980	96,531 0,232 0,107 2,916 0,167 0,047	96,531	2,916	0,553	0,06 8	1,84 4	0,115	0,094
4	2,410	14	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Щуплое зерно Сор мелкий Семена сорняков	86,0 0,5 3,0 8,0 2,0 0,5	76,257	2,8	3,4	8,0	2,270 59,815 96,747 64,841 91,793 90,278	64,841	91,064	96,196 0,230 0,112 2,219 0,188 0,056	96,196	3,219	0,585	0,07 7	2,10 5	0,124	0,104
5	2,699	14	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Щуплое зерно Сор мелкий Семена сорняков	86,0 0,5 3,0 8,0 2,0 0,5	74,097	2,8	3,4	8,0	2,190 60,713 96,666 61,372 90,865 88,590	61,372	91,064	95,867 0,224 0,114 3,522 0,208 0,065	95,867	3,522	0,611	0,086	2,366	0,132	0,144
6	2,988	14	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Щуплое зерно Сор мелкий Семена сорняков	86,0 0,5 3,0 8,0 2,0 0,5	71,969	2,8	3,4	8,0	2,105 62,281 96,651 57,887 89,997 86,774	57,887	90,745	95,546 0,214 0,114 3,823 0,227 0,075	95,546	2,823	0,630	0,096	2,631	0,139	0,122

Продолжение табл.4.16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
7	1,832	18	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Щуплое зерно Сор мелкий Семена сорняков	86,0 0,5 3,0 8,0 2,0 0,5	72,273	2,8	3,4	8,0	1,913 59,902 97,039 60,267 83,589 82,873	60,267	88,280	95,601 0,227 0,101 3,602 0,372 0,097	95,601	3,602	0,797	0,059	1,616	0,082	0,075
8	2,121	18	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Щуплое зерно Сор мелкий Семена сорняков	86,0 0,5 3,0 8,0 2,0 0,5	70,116	2,8	3,4	8,0	1,853 59,726 96,822 56,876 82,456 81,077	56,976	87,635	95,277 0,227 0,107 3,885 0,296 0,107	95,277	3,885	0,837	0,068	1,879	0,090	0,084
9	2,410	18	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Щуплое зерно Сор мелкий Семена сорняков	86,0 0,5 3,0 8,0 2,0 0,5	67,982	2,8	3,4	8,0	1,788 60,489 96,708 53,628 81,383 79,166	53,628	87,120	94,960 0,222 0,111 4,171 0,419 0,117	94,960	4,171	0,869	0,077	2,143	0,097	0,093
10	2,699	18	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Щуплое зерно Сор мелкий Семена сорняков	86,0 0,5 3,0 8,0 2,0 0,5	66,424	3,4	3,2	8,0	1,513 55,366 98,019 51,496 78,488 78,506	51,486	86,328	94,586 0,257 0,068 4,469 0,495 0,124	94,586	4,469	0,945	0,086	2,403	0,105	0,104
11	2,988	18	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Щуплое зерно Сор мелкий Семена сорняков	86,0 0,5 3,0 8,0 2,0 0,5	65,291	3,4	3,2	8,0	1,204 59,792 98,289 49,539 77,229 77,078	49,540	86,293	94,318 0,235 0,060 4,720 0,532 0,134	94,318	4,720	0,962	0,096	2,666	0,112	0,113
12	1,832	22	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Щуплое зерно Сор мелкий Семена сорняков	86,0 0,5 3,0 8,0 2,0 0,5	62,965	3,2	3,2	8,0	1,316 55,423 97,794 48,411 69,247 69,258	48,411	82,396	93,830 0,265 0,079 4,911 0,732 0,183	93,830	4,911	1,259	0,058	1,647	0,068	0,074
13	2,121	22	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Щуплое зерно Сор мелкий Семена сорняков	86,0 0,5 3,0 8,0 2,0 0,5	61,765	3,2	3,2	8,0	1,651 56,589 97,731 46,611 68,175 67,972	46,611	81,970	93,555 0,261 0,082 5,143 0,766 0,193	93,555	5,143	1,302	0,067	1,911	0,068	0,074
14	2,410	22	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Щуплое зерно Сор мелкий Семена сорняков	86,0 0,5 3,0 8,0 2,0 0,5	60,906	3,4	3,0	8,0	1,775 60,569 98,190 45,288 66,205 66,235	45,288	81,730	93,200 0,245 0,057 4,438 0,840 0,210	93,200	5,438	1,462	0,077	2,175	0,072	0,085

Окончание табл.4.16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
15	2,699	22	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Щуплое зерно Сор мелкий Семена сорняков	86,0 0,5 3,0 8,0 2,0 0,5	60,572	3,4	3,0	8,0	1,826 65,567 98,496 44,546 65,330 65,137	44,564	81,917	92,915 0,221 0,058 5,692 0,890 0,224	92,915	5,692	1,392	0,087	2,439	0,078	0,094
16	2,988	22	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Щуплое зерно Сор мелкий Семена сорняков	86,0 0,5 3,0 8,0 2,0 0,5	59,928	3,2	3,2	8,0	1,754 70,441 98,444 42,957 66,287 64,409	42,957	82,555	92,669 0,193 0,061 5,963 0,881 0,232	92,669	5,963	1,368	0,098	2,706	0,082	0,102
17	1,832	26	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Щуплое зерно Сор мелкий Семена сорняков	86,0 0,5 3,0 8,0 2,0 0,5	51,135	3,0	3,2	8,0	1,115 63,043 97,620 33,299 50,132 49,695	33,299	74,915	91,783 0,222 0,086 6,409 1,198 0,302	91,783	6,409	1,808	0,059	1,684	0,040	0,049
18	2,121	26	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Щуплое зерно Сор мелкий Семена сорняков	86,0 0,5 3,0 8,0 2,0 0,5	50,479	3,4	3,0	8,0	1,788 58,546 98,100 32,840 48,115 48,359	32,840	73,997	91,712 0,248 0,068 6,422 1,240 0,308	91,712	6,422	1,865	0,068	1,955	0,043	0,055
19	2,410	26	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Щуплое зерно Сор мелкий Семена сорняков	86,0 0,5 3,0 8,0 2,0 0,5	50,479	3,4	3,0	8,0	1,880 63,165 98,353 32,706 47,344 47,464	32,706	74,177	91,440 0,227 0,061 6,647 1,300 0,324	91,440	6,647	1,913	0,077	2,224	0,047	0,061
20	2,699	26	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Щуплое зерно Сор мелкий Семена сорняков	86,0 0,5 3,0 8,0 2,0 0,5	50,944	3,4	3,0	8,0	1,244 70,986 98,870 32,992 46,905 46,726	32,992	74,879	91,101 0,188 0,044 6,945 1,376 0,245	91,101	6,946	1,953	0,088	2,491	0,050	0,069
21	2,988	26	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Щуплое зерно Сор мелкий Семена сорняков	86,0 0,5 3,0 8,0 2,0 0,5	51,879	3,4	3,0	8,0	2,559 80,436 99,199 33,919 47,011 46,246	33,919	75,827	90,593 0,137 0,033 7,282 1,480 0,275	90,593	7,382	2,025	0,100	2,757	0,053	0,078

Таблица 4.17

Рациональные параметры и показатели функционирования трехрешетного одноярусного модуля, оснащенного плоскими пробивными решетками с продолговатыми отверстиями, при первичной очистке зерна пшеницы

$$(v_Q = 24,63\%, W = 14\%)$$

№ п/п	Исходные данные			Критерий эффективности сепарации $E_{\text{ср}}$, %	Рабочие размеры продолговатых отверстий решет в ярусе, мм			Частота колеб. решетного модуля n , с ⁻¹	Полнота выделения из зернового материала j -го компонента $\epsilon_{\text{вн}j}$, %	Содержание в очищенном зерне j -го компонента b_j , %	Чистота очищенного зерна $a_{\text{оч}}$, %	Полнота выделения из зернового материала примесей, %		Содержание в очищенном зерне примесей b_j , %		Сход зерновых фракций и проход очищенного зерна на решетке №2, $Q_{\text{сч}2}$ и $Q_{\text{сч}6}$, кг/(мс)		Проход зерновых фракций под решетом №5 и №6, $Q_{\text{п}5}$ и $Q_{\text{п}6}$, кг/(мс)	
	Поддача зернового материала Q , кг/(мс)	Наименование компонентов зернового материала	Содержание компонентов в зерновом материале a_j , %		№5	№6	№2					зерновых $\epsilon_{\text{вн}2}$, %	сорных, $\epsilon_{\text{вс}}$	зерновых $b_{\text{п}}$	сорных, $T_{\text{вс}}$	$Q_{\text{сч}2}$	$Q_{\text{сч}6}$	$Q_{\text{п}5}$	$Q_{\text{п}6}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1,546	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Зерновые примеси Сор мелкий Зерно дробленое Овсюг	90,490 0,500 4,000 3,000 2,000 0,005 0,005	90,314	1,500	2,000	3,200	7,927	3,227 87,272 96,364 78,823 96,603 4,992 19,686	98,959 0,072 0,164 0,718 0,077 0,005 0,005	98,959	78,766	95,679	0,723	0,317	0,067	1,374	0,044	0,061
2	1,804	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Зерновые примеси Сор мелкий Зерно дробленое Овсюг	90,490 0,500 4,000 3,000 2,000 0,005 0,005	84,890	1,500	2,000	3,400	7,927	2,947 69,162 90,292 73,867 94,924 4,210 16,845	98,390 0,173 0,435 0,8780 0,113 0,005 0,005	98,390	73,751	90,036	0,884	0,726	0,070	1,617	0,052	0,065
3	2,062	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Зерновые примеси Сор мелкий Зерно дробленое Овсюг	90,490 0,500 4,000 3,000 2,000 0,005 0,005	83,201	1,500	2,000	3,400	7,927	2,807 73,549 90,372 69,104 92,781 3,631 17,064	98,216 0,148 0,430 1,035 0,161 0,005 0,005	98,216	68,955	89,764	1,040	0,744	0,081	1,853	0,060	0,068

Окончание табл.4.17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
4	2319	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Зерновые примеси Сор мелкий Зерно дробленое Овсюг	90,490 0,500 4,000 3,000 2,000 0,005 0,005	81,53 7	1,500	2,000	3,40 0	7,927	2,704 78,267 90,502 64,536 90,281 3,152 17,884	98,045 0,121 0,423 0,185 1,216 0,005 0,005	98,045	64,43	89,438	1,190	0,765	0,091	2,090	0,068	0,070
5	2,577	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Зерновые примеси Сор мелкий Зерно дробленое Овсюг	90,490 0,500 4,000 3,000 2,000 0,005 0,005	75,53 1	1,500	2,000	3,40 0	7,927	2,772 45,146 80,285 60,161 87,472 2,905 16,752	97,218 0,303 0,871 1,321 0,277 0,005 0,004	97,218	60,066	79,751	1,326	1,455	0,090	2,339	0,076	0,072
6	2,835	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Зерновые примеси Сор мелкий Зерно дробленое Овсюг	90,490 0,500 4,000 3,000 2,000 0,005 0,005	72,00 8	1,500	2,000	3,60 0	7,927	2,651 51,349 80,592 55,980 84,356 2,537 17,004	97,067 0,268 0,855 1,455 0,345 0,005 0,004	97,067	55,892	79,452	1,460	1,473	0,097	2,581	0,084	0,073
7	3,092	Зерно пшеницы Солома дробленая Крупные примеси Зерновые примеси Сор мелкий Зерно дробленое Овсюг	90,490 0,500 4,000 3,000 2,000 0,005 0,005	70,52 7	1,500	2,000	3,60 0	7,927	2,685 57,868 80,938 51,994 80,971 2,386 17,870	96,915 0,232 0,839 1,585 0,419 0,005 0,004	96,915	51,913	79,126	1,590	1,494	0,108	2,818	0,092	0,074

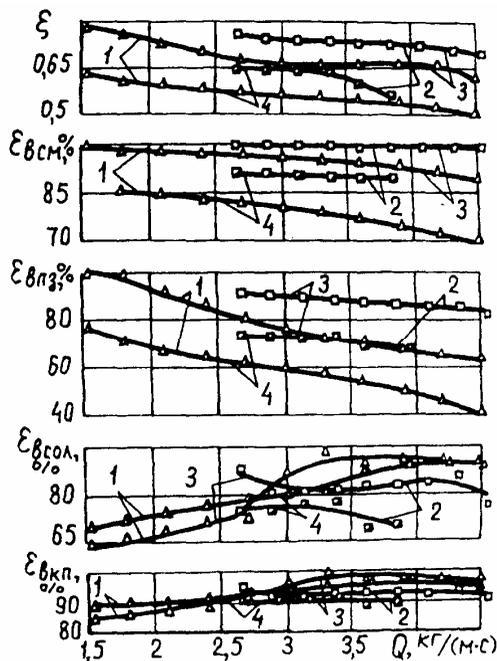


Рис.4.21. Зависимость полноты выделения ϵ_{ej} основных компонентов из зернового материала на различных решетных модулях, оснащенных гофрированными решетками, от удельной подачи Q на единицу ширины решет и влажности W зерна пшеницы: 1 – двухъярусный решетный модуль; 2 – два трехрешетных яруса; 3 - $W = 13,5\%$; 4 - $W = 19,5\%$ ($a_{кп} = 3\%$)

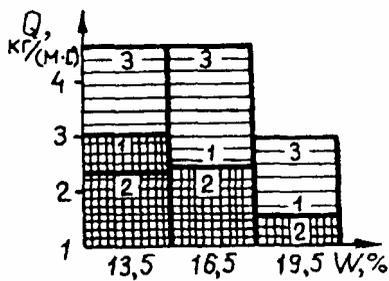


Рис.4.22. Удельная производительность Q решетных модулей, оснащенных гофрированными решетками, в зависимости от влажности W зернового материала: 1 – один двухъярусный решетный модуль; 2 – одноярусный трехрешетный модуль; 3 – два одноярусных трехрешетных модуля ($a_{кп} = 3\%$)

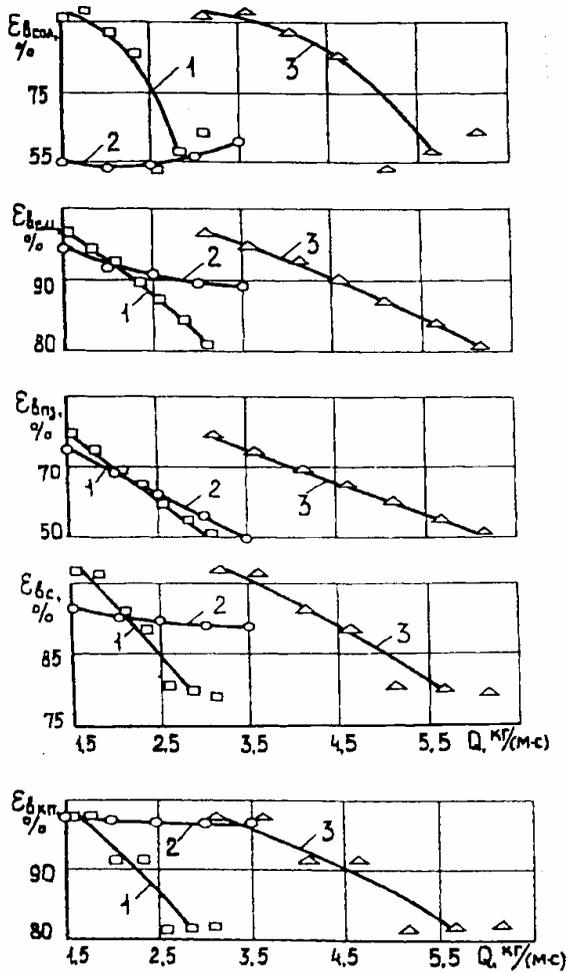


Рис.4.23. Изменение полноты выделения ϵ_{bj} j -х компонентов из зернового материала на различных решетных модулях, оснащенных серийными плоскими пробивными решетками с продолговатыми отверстиями: 1 – одноярусный трехрешетный ($L=790$ мм); 2 – двухъярусный четырехрешетный ($L=990$ мм); 3 – два одноярусных трехрешетных ($L=790$ мм)

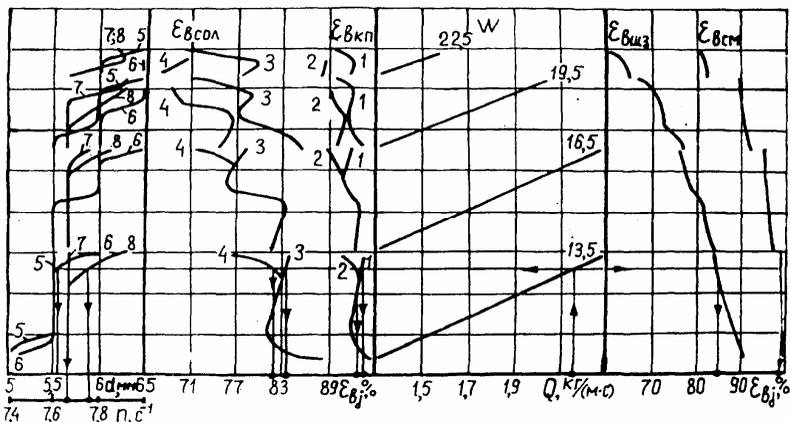


Рис.4.24. Номограмма рациональных параметров и показателей функционирования трехрешетного яруса из гофрированных решет для первичной очистки зерна пшеницы

Производительность двух одноярусных модулей существенно превышает производительность двухъярусного четырехрешетного модуля (см. рис.4.22). Так, для $W = 13,5\%$ рост производительности на 53%, при $W = 16,5\%$ и $W = 19,5\%$ рост производительности соответственно на 90% и на 92%.

4.3.8.4. САПР «Проектирование функциональной схемы и структуры СХМ»

С позиций блочно-иерархического метода проектирования рассматриваемая подсистема САПР охватывает раздел проектирования по обоснованию функциональной и принципиальной схем СХМ воздушно-решетной зерноочистительной машины на стадиях эскизного и технического проектов. Конечная цель подсистемы – многомерный параметрический анализ и структурный синтез рациональной функциональной и принципиальной схем СХМ.

Структурно-параметрический синтез ставит задачи, решаемые методами системного анализа и синтеза, по обоснованию и разработке эффективности новых методов многооперационного воздействия на материалы, среды, разработке перспективных структур и образцов техники и комплексов машин, анализу взаимодействия различного оборудования и комплексов при реализации технологических процессов, используя методы моделирования.

Целью структурного синтеза является определение структуры, объема – перечня типов элементов, составляющих объект, и способа связи элементов между собой в составе объекта.

В качестве примера рассмотрим многомерный анализ (оценка влияния многих факторов на исследуемый объект) эффективности

функционирования воздушно-решетной зерноочистительной машины для различных совокупностей частных операций, определяющих функциональные схемы и структуры (варианты) ВРЗОМ и оптимизацию ее основных параметров – параметрический и структурный синтез для условий первичной очистки зерна [28].

Этапы решения указанных задач:

1. Формирование целей, задач и показателей оценки эффективности функционирования объекта исследований.

Цель – повышение качественных показателей процессов сепарации зерновых материалов в зерноочистительной машине путем создания рациональных базовых сепараторов, моделирования частных технологических операций и их систем, параметрической оптимизации принятых рациональных множеств частных операций, обеспечивающих реализацию заданных технологических процессов с высокими технико-экономическими показателями.

Задача – выявить новые закономерности функционирования рассматриваемых вариантов подсистем зерноочистительной машины, обосновать рациональную функциональную схему и структуру ВРЗОМ в зависимости от вариации факторов вектора входных воздействий и оптимизировать ее основные параметры при выполнении всех показателей технического задания (ТЗ) на проектирование ВРЗОМ.

Для решения поставленной задачи разработана подсистема САПР «Проектирование функциональной схемы и структуры воздушно-решетной зерноочистительной машины» (рис.4.25). Эта подсистема имеет 3 уровня.

На первом иерархическом уровне подсистемы САПР (см.рис.4.25) в интерактивном (диалоговом) итерационном (повторяемом) режиме синтезируется функциональная подсистема варианта исходной структуры пневмосепаратора (ПС) ВРЗОМ. Конструктор в интерактивном режиме в процессе общения с ЭВМ вводит первоначально свой вариант функциональной схемы пневмосепаратора ВРЗОМ (варианты пневмосепараторов).

В диалоговом режиме с помощью библиотеки исходных данных для проектирования ВРЗОМ определяются аргументы вектора входных воздействий (подача зернового материала, его технологические свойства).

С помощью библиотеки математических моделей вариантов процессов пневмосепарации выбираются адекватная математическая модель для варианта ПС, критерий E_{ϕ} (см. [100], выражение (11.159)) пневмосепарации и функция цели:

$$E_{\phi} \rightarrow \max .$$

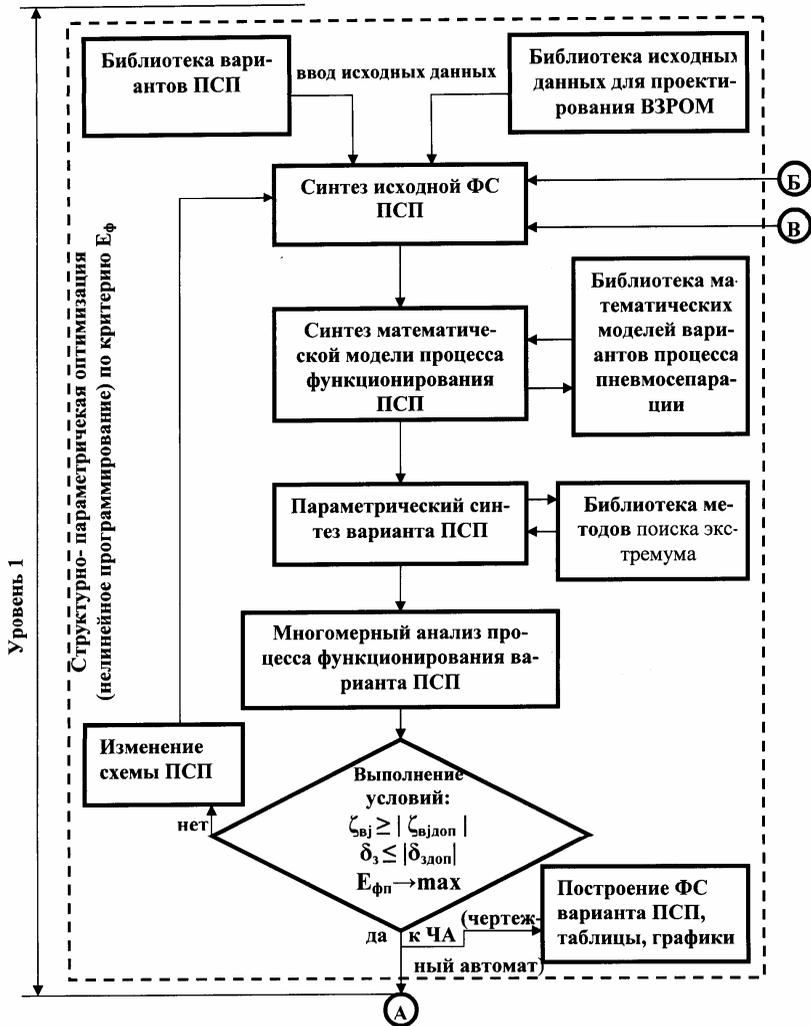


Рис.4.25. САПР «Проектирование функциональной схемы и структуры воздушно-решетной зерноочистительной машины» (окончание см. на с.110)

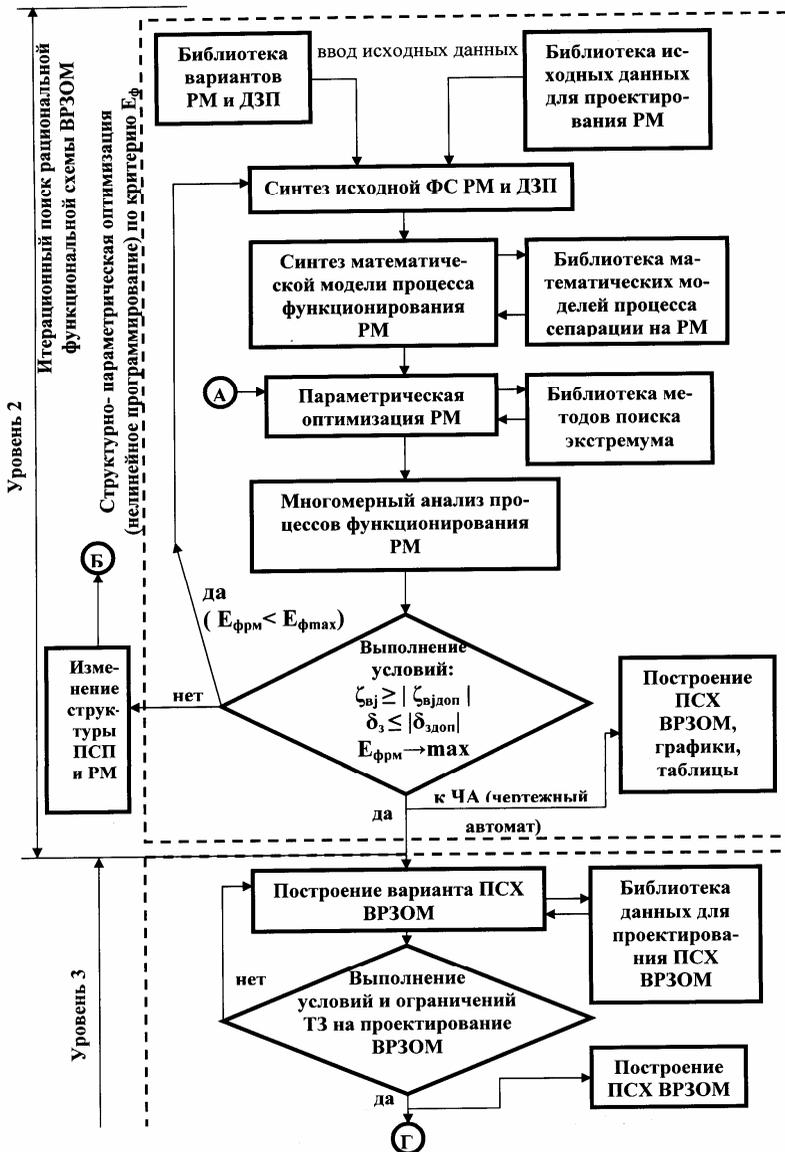


Рис.4.25. Продолжение

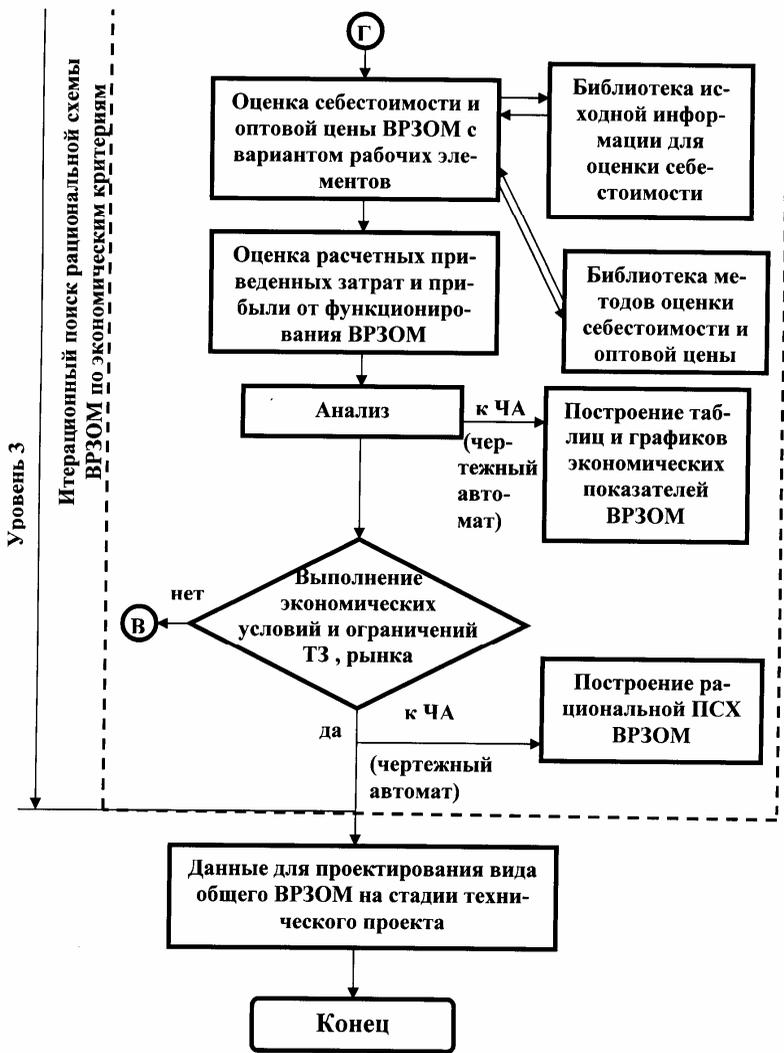


Рис.4.25. Окончание
(начало см. на с. 108)

Параметрическая оптимизация (синтез) параметров пневмосепаратора синтезированной функциональной схемы и задаваемой техническим заданием вариации величин аргументов векторов входных \vec{F} (11.180), [28] и управляющих \vec{A} (11.181), [28, 27] воздействий проводится с использованием соответствующих математических моделей (например, (11.175)-(11.210)), [28], методом нелинейного программирования – методом сканирования с ограничениями (библиотека методов поиска экстремума).

Для рациональных параметров рассматриваемой структуры ПС (например, расчетная глубина пневмоканала, координаты места ввода в пневмоканал зернового материала (ЗМ), плотность распределения подачи ЗМ по ширине пневмоканала, угол ввода ЗМ в пневмоканал, рациональная рабочая скорость воздушного потока) проводится многомерный анализ показателей пневмосепарации (оценка величин аргументов вектора \vec{B}_M (11.182), [28] выходных показателей процесса при вариации входных воздействий (например, вариации величин подач Q , неравномерность распределения подачи Q по ширине пневмосепаратора, изменение технологических свойств исходного зернового материала). Расчетные величины показателей назначения сравниваются с агропоказателями ТЗ. При выполнении всех заданных показателей (да) синтезированная функциональная схема (ФС), ее расчетные рациональные параметры (схема, таблицы, графики) с помощью чертежного автомата (ЧА) преобразуется в графическую документацию, при этом результаты параметрической оптимизации и многомерного анализа передаются $A \rightarrow$ во второй иерархический уровень подсистемы (см. рис.4.25) для использования при параметрическом и структурном синтезе вариантов решетного модуля. При невыполнении условий и агропоказателей ТЗ (нет) синтезируется новая подсистема пневмосепаратора до выполнения всех показателей ТЗ.

На втором иерархическом уровне подсистемы САПР (см.рис.4.25) в интерактивном итерационном режиме синтезируется функциональная подсистема решетного модуля (РМ) с делителем зернового потока (ДЗП) для ВРЗОМ. Конструктор, используя библиотеку вариантов РМ (см. [28], рис.11.12, табл.11.10) в интерактивном режиме общения с ЭВМ, вводит первоначально свой вариант функциональной схемы РМ ВРЗОМ. Используя подпро-

грамму «Библиотека исходных данных для проектирования решетных модулей», конструктор, в диалоговом с ЭВМ режиме, выбирает величины (или их интервалы) аргументов вектора входных \vec{F} и управляющих \vec{A}_p (см. [28], (11.198)) воздействий (например, размеры решетных полотен (ТУ 23.2.2068-89), форму и интервалы размеров их отверстий, допустимые габариты решетных модулей); с помощью библиотеки математических моделей синтезирует адекватную математическую модель процессов функционирования синтезированного РМ, выбирает критерий E_ϕ (см. [28], (11.175)) и функцию цели (см. [28], (11.211)).

Параметрическая оптимизация (синтез) параметров РМ для синтезированного в первом иерархическом уровне подсистемы САПР рационального (на первом этапе САПР) пневмосепаратора и показателей его функционирования (аргументы вектора \vec{B} (см. [28], (11.182)), полнота выделения j -х компонентов η_j , количество и содержание j -х компонентов в зерновом материале, поступающем из ПС на РМ), проводится методом нелинейного программирования - метод сканирования с ограничениями (библиотека методов поиска экстремума).

Для синтезированных рациональных параметров рассматриваемой структуры РМ (например, схема РМ, число решетных полотен, форма и размеры отверстий решет, кинематические параметры (частота, амплитуда колебаний, угол наклона решет к горизонту, угол направления их колебаний)) проводится многомерный анализ процесса функционирования РМ при различных величинах вектора выходных \vec{F}_p и управляющих \vec{A}_p (см. [28], (11.198)), воздействий, определяемых выходными показателями функционирования ПС, найденными из первого иерархического уровня (связь $A \rightarrow$).

Расчетные показатели функционирования ПС (11.203)-(11.210), [28] сравниваются с заданными в ТЗ на проектирование ВРЗОМ, при выполнении заданных агропоказателей (да) идет возврат и синтезируется новая функциональная схема РМ (библиотека вариантов решетных модулей). Так синтезируются (параметрическая оптимизация) все возможные варианты функциональных схем РМ и выбирается та, для которой критерий $E_\phi = \max$.

При невыполнении всех агропоказателей (см. [28] (11.179)), синтезируется новая подсистема пневмосепаратора и весь цикл структурно-параметрического синтеза функциональной схемы ВРЗОМ повторяется до условий выполнения требований ТЗ и $E_{\phi} = \max$.

Функциональная схема ВРЗОМ, рациональные параметры ПС, РМ, делителя потока зерна и показатели ее функционирования (таблицы, графики) с помощью ЧА (чертежного автомата) преобразуются в графическую документацию.

На третьем иерархическом уровне подсистемы САПР с использованием библиотеки данных для проектов принципиальной схемы (ПСХ) ВРЗОМ (варианты конструкций элементов прототипов, новые разработки на базе НИР, ОКР) в режиме диалога с ЭВМ синтезируется вариант принципиальной схемы ВРЗОМ, и оценивается ее соответствие задачам и условиям изготовления и эксплуатации, определенным в ТЗ (технические требования, техника безопасности, технологичность, эстетика, эргономика, экономические показатели). При невыполнении этих требований синтезируется новый вариант принципиальной схемы ВРЗОМ. Используя библиотеку исходной информации, можно оценивать себестоимость и оптовую цену ВРЗОМ (проектная оценка), а также приведенные затраты и прибыль от эксплуатации варианта проектируемой ВРЗОМ (см. [28], (13.8)-(13.10)) и экономические показатели (ГОСТ 23728-88, ГОСТ 23729-88, ГОСТ 23730-88) (приведенные затраты, прибыль от эксплуатации, оптовая цена ВРЗОМ (выводятся на дисплей таблицы, графики) сравниваются с показателями подобных машин на рынке) [45]. При высоких экономических показателях и положительном решении группы маркетинга формируется система данных (схема функциональная, схема принципиальная, требования к конструкции, условия, показатели функционирования и экономические показатели проектируемой ВРЗОМ) для разработки вида общего на стадии технического проекта.

4.3.8.5. Построение функциональных схем

Результаты, полученные при решении задач по обоснованию функциональной схемы, являются основанием для ее построения. Методы выполнения схем изложены в ГОСТ 2.701-84.

Для функциональных схем изображения элементов машин не установлены стандартами. Обычно схема изображается на основе схематического разреза с внешними очертаниями машины, внутри которого даются упрощенные изображения каждого элемента. Построение функциональной схемы выполняется без соблюдения масштаба, но с приближенным учетом соотношений между элементами. На функциональной схеме учитывают и показывают приближенно пространственное расположение составных частей и источника движения.

При выполнении схем применяют условные графические обозначения, установленные в стандартах, прямоугольники, упрощенные внешние очертания и нестандартные условные обозначения. Последнее наиболее распространено в функциональных схемах СХМ, поскольку имеется очень большое разнообразие элементов и обрабатываемых материалов и их комбинаций. Нестандартные условные графические обозначения, применяемые в функциональных схемах СХМ, упрощенно отражают контуры рабочего или вспомогательного органа, элемента или составной части. При изображении обычно следуют установившейся в отрасли практике.

На функциональной схеме должны быть изображены:

- все рабочие органы в последовательности выполняемого технологического процесса (рис.4.26, схемы функционирования комбайнов зерноуборочного (рис.4.27), картофелеуборочного (рис. 4.28);
- часть функционально вспомогательных элементов, например, рама, опорные колеса, двигатель, элементы и величины регулировок;
- обрабатываемый материал. Для простых процессов обрабатываемый материал показывается условными обозначениями, отражающими вид материала и изменение его технологических свойств после выполнения соответствующих операций.

Для показа потоков материалов с несколькими компонентами удобно использовать стрелочные обозначения (рис.4.26-4.28).

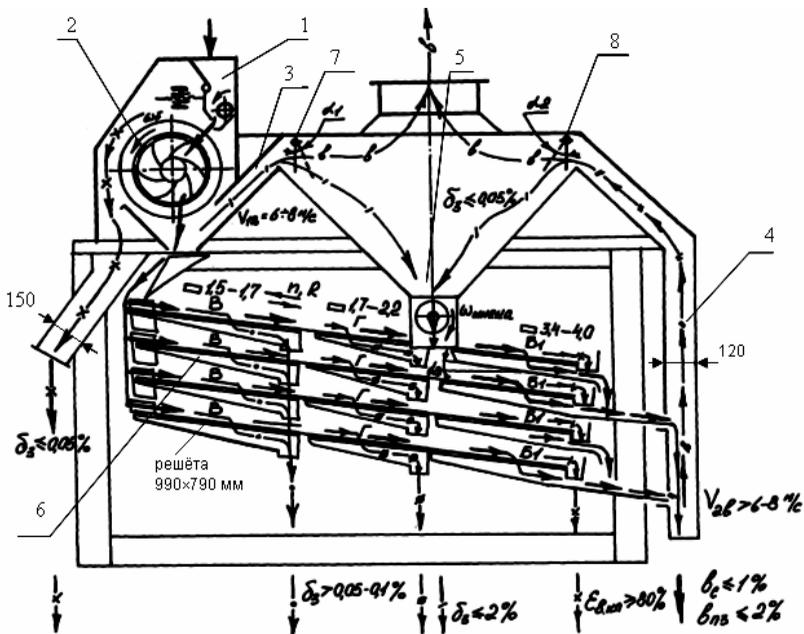


Рис.4.26. Очиститель зерна стационарный ОЗС-50/25. Схема функциональная: 1 -камера приемная; 2-скельператор барабанный; 3,4-каналы аспирационные; 5 - камера осадочная; 6 - 4-ярусный трехрешетный модуль; 7,8 – заслонки для изменения скорости воздушного потока в пневмосистемах; δ_s - потери зерна; $\epsilon_{в.кп}$ - полнота выделения крупных примесей; v_c - содержание сорных примесей; $V_{пз}$ - содержание зерновых примесей; V_{1B} , V_{2B} - скорость воздушного потока. Условные обозначения:

- ввод обрабатываемого материала;
- основной поток зернового материала;
- B → воздушный поток;
- • → подсев;
- // → легкие примеси с воздухом;
- φ → фураж;
- / → легкие примеси;
- X → крупные примеси

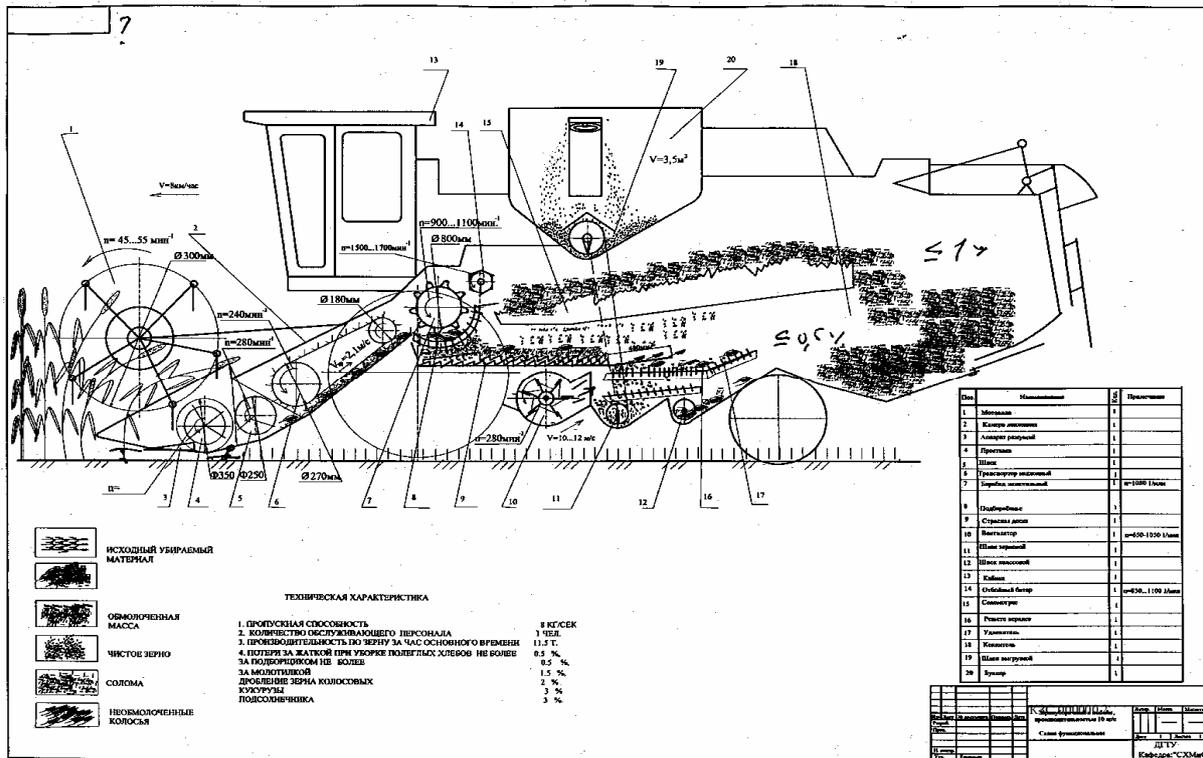


Рис. 4.27. Функциональная схема комбайна зерноуборочного

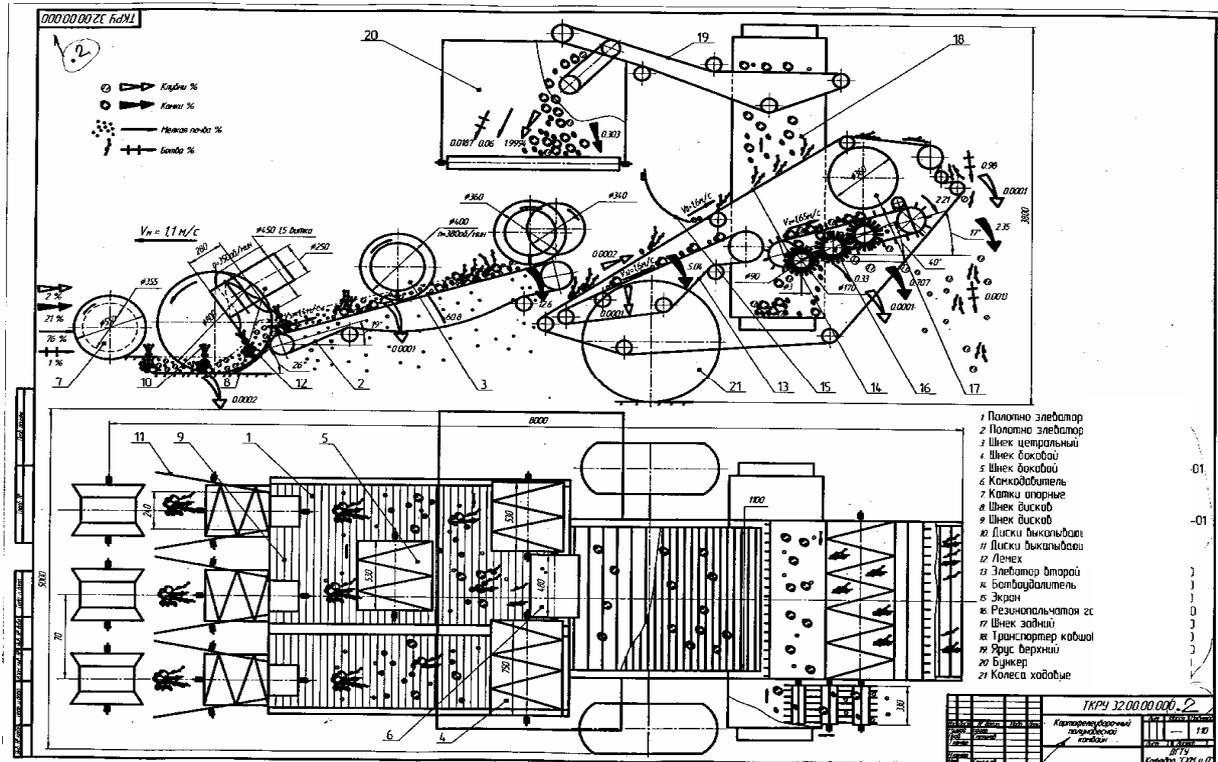


Рис. 4.28. Функциональная схема картофелеуборочного комбайна

Если это не загромождает чертеж, предпочтительно сочетание двух видов условных обозначений, первый дает информацию о перемещении различных компонентов (например, крупные, мелкие примеси, зерно), второй точно указывает направление движения различных фракций обрабатываемого материала (см. рис.4.26-4.28). Функциональную схему рекомендуется выполнять не менее чем в двух проекциях для пространственного представления о машине и ее рабочих органах.

На функциональной схеме должны быть указаны:

- геометрические, кинематические и при необходимости динамические параметры рабочих органов и машины, которые обеспечивают выполнение технологического процесса;

- показатели, характеризующие обрабатываемый материал, а в сложных процессах, связанных со смешиванием, сепарацией, сортированием и др., все компоненты обрабатываемых материалов на каждой стадии изменения их состояния, т.е. до и после каждого рабочего органа;

- выходные характеристики обрабатываемого материала должны соответствовать агротехническим требованиям. Характеристики или показатели качества обрабатываемых материалов выражаются в процентах или ко всему входящему материалу (вход 100%) или входу каждого компонента. В любом случае при расчете должно соблюдаться равенство всех входов и всех выходов.

Используя методологию САПР «Проектирование функциональной схемы и структуры воздушно-решетной зерноочистительной машины» и общие требования к построению ФС, можно обосновать и построить ФС универсальной воздушно-решетной машины (см. рис.4.26) производительностью:

предварительная очистка зерна.....- 50 т/ч;
первичная очистка зерна.....- 25 т/ч;
вторичная (семенная) очистка зерна.....- 10 т/ч.

4.4. Построение принципиальной схемы объекта проектирования

4.4.1. Задачи, назначение

Структура СХМ (композиция), определенная принципиальной схемой с отображением рабочих и вспомогательных элементов, конструкции рамных, опорных элементов, рабочего места оператора и т.п., должна обеспечить технологичность изготовления, проведение технического обслуживания и ремонта, контролируемость, доступность и легкосъемность элементов, простоту привода и управления, надежность, хорошую обзорность, безопасность работы, защищенность от воздействий внешней среды, транспортабельность, комфортные условия оператору, заданную производительность, экономическую эффективность и другие требования.

При структурном синтезе СХМ или агрегата решается ряд задач, направленных на обеспечение требований технического задания и получения информации для проектных и конструкторских решений. Решение всех этих задач позволит обосновать принципиальную схему (ПС) СХМ или агрегата (ГОСТ 2.701-84 «Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению»).

Принципиальная схема проектируемой СХМ или агрегата определяет обоснованную систему технических средств (рабочих органов, машин, оборудование) с рациональными параметрами и их взаиморасположение в пространстве (композиционное построение), обеспечивающих выполнение функционирования СХМ или агрегата в соответствии с их обоснованной функциональной схемой, определяющей рациональное выполнение заданного технологического процесса при минимизации приведенных затрат на их продукцию.

Принципиальная схема определяет вид рабочих элементов СХМ и их определяющие параметры (например, обоснованные размеры рабочих органов, их взаиморасположение, параметры двигателей), взаимосвязи, композиционное построение, требования к проектируемому объекту.

Исходными данными для разработки ПС является обоснованная ФС, первичный анализ возможной кинематической схемы, существующие и создаваемые по результатам НИР и ОКР варианты рабочих и вспомогательных органов и СХМ, характеристики энергетических средств, с которыми возможно агрегатирование проектируемой СХМ, требования технического задания на проектирование (надежность, технологичность, эргономика, эстетика, экономичность).

Обоснование ПС – творческий процесс проектирования структуры СХМ или агрегата, включающий современные методы системного

анализа вариантов ПС с использованием различных вариантов рабочих и вспомогательных органов, энергетических средств с последующей их структурной оптимизацией (структурный синтез), с использованием методологии системы автоматизированного проектирования (САПР).

Построение ПС – процесс технического отображения обоснованной структуры объекта проектирования с учетом требований стандартов. Утвержденная ПС является основной для разработки технического проекта объекта проектирования.

4.4.2. Общие принципы подхода к структурному синтезу объекта проектирования

Для первичного синтеза варианта структуры СХМ или агрегата изучаются варианты машин-аналогов, известные или создаваемые по результатам НИР или ОКР рабочие и вспомогательные органы и СХМ, оценивается возможность реализации ими требований технического задания (выполнение показателей назначения, надежности, технологичности, эргономики, эстетики, способности агрегатироваться с различными или задаваемыми энергетическими средствами, обеспечения экономических требований к проектируемому объекту). Рассмотрим общие подходы к решению ряда основных задач проектирования ПС.

4.4.2.1. Оценка производительности сельскохозяйственных машин и агрегатов на проектной стадии

Производительностью СХМ или агрегатов называется максимальный объем работы в установленных единицах (масса продукта, площадь и т.д.), выполняемый СХМ или агрегатом в единицу времени (секунда, час) при их рациональной эксплуатационной настройке и при обеспечении всех агропоказателей. Работа, выполненная СХМ или агрегатом за рассматриваемый период времени (смена, месяц, год, агросрок), является его *выработкой* или *наработкой*.

Производительность - один из важнейших технико-экономических и эксплуатационных показателей. С её помощью определяются основные удельные показатели: материалоемкость; трудоёмкость; капитальные затраты и другая информация, необходимая для расчёта экономической эффективности нового агрегата или СХМ. Производительность СХМ или агрегата подразделяется на:

1) производительность за час чистого времени (без учета снижения рабочего времени для выполнения операций, не связанных с реализацией технологических операций: время на холостой ход; технологическое обслуживание; восстановление агрегата; переезд с поля на поле и др.);

2) эксплуатационную производительность – реальная производительность, определяемая в конкретных условиях функционирования СХМ или агрегата по фактически выполненному объему работ.

3) расчетную эксплуатационную производительность, которая используется на стадиях проектирования с учетом задаваемых параметров будущей СХМ или агрегата и с учетом возможных условий их эксплуатации. Например, при эксплуатации рабочая ширина захвата жатки меньше её конструктивной ширины; учёт снижения рабочего времени для выполнения операций, не связанных с реализацией технологических операций (время на восстановление, время на технологическое обслуживание, время на переезды с поля на поле и др.).

Расчетная (на стадиях проектирования) эксплуатационная производительность W мобильных СХМ или агрегатов определяется из выражения [13, 28]

$$W = C \cdot B \cdot V \cdot \tau, \text{ га/ч}, \quad (4.20)$$

где B – рабочая ширина захвата; V – рабочая скорость; τ – коэффициент использования рабочего времени ($\tau < 1$); C – коэффициент, связывающий размерности величин, входящих в это выражение, если размерности B , (м), V , (км/ч), то $C=0,1$.

Коэффициент использования рабочего времени – это отношение чистого времени работы СХМ или агрегата (время выполнения технологических операций) к промежутку всего времени, в течение которого оно замерялось (смена, агросрок и т.д.).

$$\tau = \frac{t_p}{t_a}. \quad (4.21)$$

Здесь t_p – время чистой работы СХМ или агрегата в период агросрока, ч; t_a – время агросрока, ч.

Длительность агросрока зависит от выполнения вида технологических процессов (вспашка, посев, уборка зерновых и т.д.), природно-климатической зоны, в которой выполняется процесс, экономической целесообразности.

Оценку величины τ с учетом того, что плановые технологические обслуживания и ремонты будут проводиться вне периода агросрока или в часы, когда СХМ или агрегат не могут работать (например, дождь), рассмотрим для различных схем организаций взаимодействий агрегатов.

Усредненная для различных СХМ и агрегатов, выполняющих различные операции в различных природно-климатических зонах страны, расчетная величина коэффициента T использования рабочего времени агросрока мобильных СХМ или агрегатов для условий перегрузочной организации их функционирования определяется из выражения

$$T = \frac{1}{1 + \frac{1-F}{F} + \sum_j \left(\frac{1-K_{TIIj}}{K_{TIIj}} \right) + \frac{V_P \cdot B_P \cdot g \cdot T_3}{10 \cdot V_{\delta} \cdot \gamma \cdot \Psi} + \frac{0,1 \cdot B_P V_P}{F_{CP}} \left(\frac{S_T}{V_{TP}} + B_P \sum_j \frac{T_j}{b_j} \right) + \frac{K_4}{T_0}}. \quad (4.2)$$

2)

Проведем анализ возможностей обеспечения заданной производительности. В выражении (4.22) к внешним существующим или задаваемым факторам, которые не зависят от конструкций проектируемых СХМ или агрегатов, относятся $g, \gamma, F_{CP}, S_T, K_4$, а также длина S_P - усредненная длина рабочего хода СХМ или агрегатов по полю, определяющая величину F .

Анализ выражения (4.22) позволяет на проектной стадии оценить возможные пути роста величины T , а следовательно, и величины эксплуатационной производительности агрегата (4.20).

Для определения рациональных величин $T_3, V_{\delta}, V_{TP}, T_j$ на проектной стадии необходимо ставить и решать инженерные задачи, используя априорную информацию о машинах-аналогах, результатах НИР и ОКР и ограничения, обеспечивающие высокие качественные показатели СХМ и агрегатов. В связи с этим рассмотрим общие подходы к возможному росту величины T .

Необходимо стремиться к росту величины коэффициента F рабочих ходов, который зависит от способа движения СХМ или агрегатов по полю (челночный, в свал, вразвал, круговой, диагональный и др.) [19], выбираемый из различных условий (технологических, например, полеглость убираемых зерновых, и экономических). Но для основных способов движений важнейшим фактором, увеличивающим F , на который может влиять проектировщик, является уменьшение длины пути e выезда СХМ или агрегата с конца поля до начала поворота (см. [28], рис. 8.2), зависящее от кинематической длины агрегата и его минимальной величины радиуса поворота.

Увеличение комплексного показателя надежности K_{TII} СХМ или агрегата (см. [28], гл. 9) предопределяется определенной системой действий при их проектировании.

Рост объема бункера V_{δ} и величина коэффициента его заполнения Ψ теоретически увеличивают коэффициент T , но при этом существуют известные ограничения: на смещение вверх центра масс машины; допустимые удельные давления колёс на поле (уплотнение почвы колесами СХМ или агрегатов ухудшает её структуру и снижает урожайность, а также изменяет управляемость машин). Для СХМ, работающих на уборке культур, для которых въезд на поле транспортных

машин приводит к их травмированию (например, уборка хлопка), ограничением на объем бункера может быть возможность разгрузки бункера только на краю поля. Другим ограничением объема бункера может быть его кратность общему объему V_{TC} кузова транспортного устройства:

$$V_{\delta} / V_{TC} = C.$$

Существует необходимость согласования этих и других ограничений при обосновании параметров бункера.

Рост величины коэффициента Ψ определяется формой бункера, использованием устройств для его равномерного заполнения (распределительный шнек).

Стремление к уменьшению времени T_j требует рассмотрения и решения комплекса соподчиненных задач: время подъема и опускания рабочих элементов СХМ ограничиваются возможностями гидросистемы её механизмов, их силами инерции, предопределяемыми движущими массами и др.; есть проблемы в сокращении времени на перевод СХМ из рабочего положения в транспортное и наоборот, при переезде СХМ с поля на поле узкозахватные агрегаты переводятся в транспортное положение только с помощью механизмов навески и гидравлики. Для широкозахватных агрегатов необходимо предусмотреть возможность использования складывающихся (с помощью гидросистемы, например, широкозахватные культиваторы) или перевозимых на специальных прицепных транспортных тележках (например, широкозахватные жатки для зернокомбайнов). Все эти и другие технические решения направлены на уменьшение времени T_j .

Улучшение эргономических показателей работы оператора (удобство рабочего положения, обзор приборов контроля и управления машиной, освещенность рабочего места, допустимые нормы шумов, загазованности, вибраций и др. (см. [100], гл.10) позволяет при эксплуатации уменьшить долю K_4 времени на отдых и естественные потребности оператора.

Формула (4.22) может быть применена для расчета величины коэффициента использования рабочего времени СХМ и агрегатов при отсутствии в них бункера; при этом следует принять

$$\frac{V_p \cdot B_p \cdot g \cdot T_3}{10 \cdot V_{\delta} \cdot \gamma \cdot \Psi} = 0. \quad (4.23)$$

Для **стационарных машин** в выражении (4.28) принимаем

$$\frac{1-F}{F} = 0; \quad \frac{0,1 \cdot B_p \cdot V_p}{F_{CP}} \left(\frac{S_T}{V_{TP}} + B_p \sum_j \frac{T_j}{b_j} \right) = 0. \quad (4.24)$$

При отсутствии в этих машинах бункера дополнительно принимаем условие (4.23).

При наличии в стационарной машине бункера, выгружаемого после заполнения, количество остановок машины (см. [28], выражение (8.12)),

$$n = \frac{Q_1 t_p}{V_\delta \gamma \psi},$$

где Q_1 - производительность машины за 1 час чистого времени, если рассматривается бункер исходного материала, или выход готовой продукции в единицу времени, если рассматривается бункер готовой продукции.

Для этих условий время t_T на технологическое обслуживание СХМ или агрегата

$$t_T = \frac{Q_1 t_p}{V_\delta \gamma \psi} T_3, \quad (4.25)$$

тогда в выражении (4.22) величину $\frac{V_p B_p g T_3}{10 V_\delta \gamma \psi}$ заменим на $\frac{Q_1 T_3}{V_\delta \gamma \psi}$.

При наличии в стационарной машине системы автоматического управления возможно

$$\frac{K_4}{T_0} = 0. \quad (4.26)$$

Если на стадии проектирования СХМ или агрегат характеризуются не рабочей шириной B_p захвата, а производительностью Q (кг/с), то из выражения

$$Q = \frac{B_p \cdot V_p \cdot g}{36000} \cdot \frac{1}{\alpha} \text{ получим } B_p = \frac{360 \cdot Q \cdot d}{V_p \cdot g}. \quad (4.27)$$

Здесь d - коэффициент, определяющий содержание массы основного продукта в исходной массе убираемой сельхозкультуры (например, $\frac{\text{зерно}}{\text{зерно} + \text{солома}}$); g - урожайность, ц/га.

Расчёт эксплуатационной производительности СХМ на проектной стадии

Пример. Определить расчетную эксплуатационную производительность Q (кг/с) и выработку W_B (т) за агросрок самоходного зерноуборочного комбайна, работающего с использованием перегрузочной организации работ при условии отсутствия времени ожидания перегрузочного транспорта (см. , [28], п.6.3).

Исходные данные:

1. Ширина захвата жатки $B_P = 6$ м; рабочая скорость $V_P = 6$ км/ч; объем бункера $V_{\sigma} = 6,0$ м³; производительность за час чистого времени $Q = 9,0$ кг/с; длина зернокомбайна $L_K = 6$ м; коэффициент заполнения бункера $\Psi = 0,85$; транспортная скорость $V_{TP} = 15$ км/ч; время перевода зернокомбайна в транспортное (рабочее) положение $T_j = 30$ с; ширина зернокомбайна $B_K = 3$ м; время выгрузки зерна из бункера $T_3 = 0,08$ ч.

2. Длина рабочего гона на поле $\ell_{зон} = 1000$ м; среднее расстояние между полями $S_T = 1,2$ км; движение агрегата по полю челночное; средняя площадь полей $F_{CP} = 300$ га; средняя урожайность $g = 45$ ц/га; отношение зерна к соломе $c = 1/1$; плотность зернового материала $\gamma = 700$ кг/м³.

3. Коэффициент технического использования зернокомбайна $K_{ТИ} = 0,95$.

4. Время агросрока $t_a = 150$ ч.

5. Доля времени, от времени агросрока зернокомбайна, на отдых и естественные надобности оператора $K_4 = 0,05$.

Коэффициент использования рабочего времени машин прототипов, определенный методом статистического прогнозирования, $T_0 = 0,7$.

Решение.

1. Расчетная эксплуатационная производительность Q зернокомбайна

$$Q = W \cdot \frac{g}{36} \cdot \frac{1}{d},$$

где d – коэффициент, определяющий содержание массы зерна в хлебной массе, для заданной величины C

$$d = \frac{\text{зерно}}{\text{зерно} + \text{солома}} = \frac{1}{1+1} = 0,5.$$

Расчетную производительность W определим из выражения (4.20), тогда

$$Q = 0,1 \cdot B_P \cdot V_P \cdot T \cdot \frac{g}{36} \cdot \frac{1}{d}, \text{ кг/с.}$$

2. Коэффициент T использования рабочего времени агросрока:

определим величину коэффициента F рабочих ходов

$$F = \frac{\ell_{\text{зон}}}{\ell_{\text{зон}} + 6R + 2e} = \frac{1000}{1000 + 6 \cdot 3,9 + 2 \cdot 1,5} = 0,974;$$

$$R = 1,3 \text{ В}_M = 1,3 \cdot 3 = 3,9 \text{ м};$$

$$e = 0,5 L_K = 0,5 \cdot 3 = 1,5 \text{ м}.$$

Величину T определим из выражения (4.28)

$$T = \frac{1}{1 + \frac{1-0,974}{0,974} + \frac{1-0,95}{0,95} + \frac{6 \cdot 6 \cdot 4500 \cdot 0,08}{10 \cdot 6 \cdot 700 \cdot 0,85} + \frac{0,1 \cdot 6 \cdot 6 \left(\frac{1,2}{15} + 6 \frac{0,08}{6} \right) 0,05}{300}} = 0,660$$

3. Расчетная эксплуатационная производительность зернокомбайна

$$Q = 0,1 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 0,660 \cdot \frac{45}{36} \cdot \frac{1}{0,5} = 5,94 \text{ кг/с}.$$

4. Выработка W_g зернокомбайна

$$W_g = 3,6 \cdot Q \cdot t_a = 3,6 \cdot 5,94 \cdot 150 = 3207,6 \text{ т}.$$

Определение расчетной эксплуатационной производительности Q , (кг/с) и выработку W_g (т) за агросрок самоходного зерноуборочного комбайна, работающего по схеме прямой организации работы на уборочно-транспортной операции и работающего по схеме групповой организации работ, см. в [28] п.6.1, 6.2.

Оценка производительности стационарных машин и агрегатов

Для стационарных СХМ или агрегатов производительность - максимальная подача в них обрабатываемого материала (кг/с) при их рациональной эксплуатационной настройке и обеспечении при этом всех агропоказателей.

При задаваемой или расчетной (на стадии проектирования) производительности Q_j за час чистого времени j -й стационарной машины или агрегата их расчетную эксплуатационную производительность $Q_{\text{э},j}$ определим из выражения

$$Q_{\text{э},j} = Q_j \cdot T, \quad (4.28)$$

где T - величину коэффициента использования рабочего времени находим из выражения (4.28) с изменениями (4.29)-(4.34):

- при наличии загружаемого (разгруженного) бункера с остановкой работы СХМ или агрегатов без наличия системы автоматического управления СХМ или агрегатов

$$T = \frac{1}{1 + \sum_j \left(\frac{1 - K_{IIIj}}{K_{IIIj}} \right) + K_3 \frac{Q_1 T_3}{V_\delta \gamma \psi} + \frac{K_4}{T_0}}; \quad (4.29)$$

- при отсутствии бункера или возможности его загрузки или выгрузки без остановки СХМ

$$\frac{Q_1 T_3}{V_\delta \gamma \psi} = 0;$$

- при наличии системы автоматического управления

$$\frac{K_4}{T_0} = 0.$$

Производительность Q_j за час чистого времени определяется расчетным путем при наличии математических моделей, позволяющих адекватно оценивать заданные величины агропоказателей в зависимости от подачи обрабатываемого материала в СХМ или агрегат при оптимизации их рациональных параметров.

Пример. Оценим расчетным путём производительность Q_j за час чистого времени воздушно-решетной зерноочистительной машины ОЗС-50/25/10 при очистке зерна пшеницы продовольственного назначения.

Основные характеристики машины, условия и агротребования на функционирование приведены в [28] гл. 11; 15 (программа SH1_S), ввод в программный комплекс ЭВМ для параметрической оптимизации (выбор рациональных размеров отверстий на решетках, частоту их колебаний, рациональной скорости воздушного потока в пневмоканалах) приведен в [28] на рис. 11.27, 11.41.

Расчетные функциональные зависимости агропоказателей на очистку зерна пшеницы для фиксированных технологических свойств и задаваемой подачи Q в воздушно-решетную машину приведены на рис.4.29.

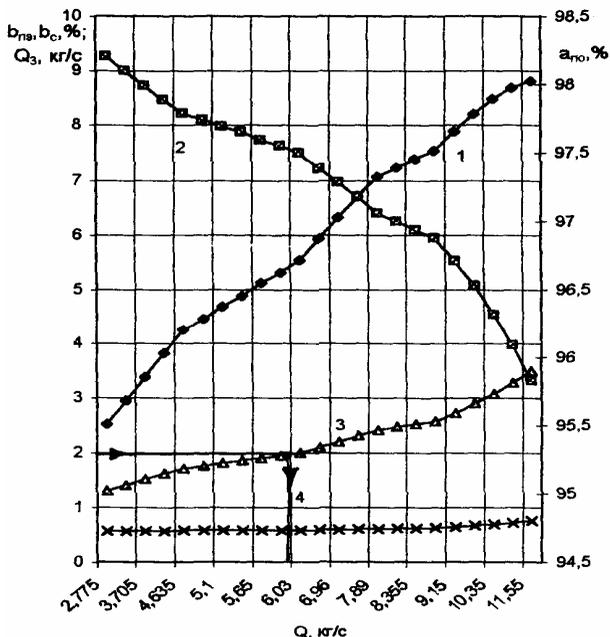


Рис.4.29. Зависимость выхода Q_3 (1) зерна пшеницы, очищенного воздушно-решетной машиной, его чистоты $a_{по}$ (2), содержания в нем зерновых $b_{пз}$ (3) и сорных b_c (4) примесей от подачи Q исходного зернового материала в машину

Анализ полученных результатов показывает, что агропоказатель $b_c \leq 1\%$ (b_c - содержание в очищенном зерне сорных примесей, линия 4 на рис.4.29) выполняется для всего интервала Q (2,775-11,55 кг/с). Агропоказатель $b_{пз} \leq 2\%$ ($b_{пз}$ - содержание в очищенном зерне зерновых примесей, линия 3 на рис.4.29) выполняется для максимальной подачи, обеспечивающей $b_{пз} \leq 2\%$ - $Q = 6,03$ кг/с (21,71 т/ч). Следовательно, для рассмотренных условий работы воздушно-решетной зерноочистительной машины ОЗС-50/25/10 её производительность за час чистого времени $Q_j = 6,03$ кг/с (27,71 т/ч).

Зависимость расчетной производительности Q_j этой машины от изменения технологических свойств (содержание зерновых примесей) исходного зерна пшеницы приведена на рис. 4.30. Эксплуатационная производительность и выработка за агросрок этой машины (для условий отсутствия бункера постоянной подачи зернового материала,

$K_{TIIj}=0,95$; $K_4=0,05$; $T_0=0,7$; $t_a=500$ ч) определяются из выражений (4.34) и (4.35):

$$Q_{Эj} = Q_j \cdot T; \quad (4.30)$$

$$T = \frac{1}{1 + \frac{1-0,95}{0,95} + \frac{0,05}{0,7}} = 0,896;$$

$$Q_{Эj} = 6,03 \cdot 0,896 = 5,403 \text{ кг/с (19,45 т/ч)}.$$

Выработка за агросрок

$$W_e = Q_{Эj} \cdot t_a = 19,45 \cdot 500 = 9725,18 \text{ т}. \quad (4.31)$$

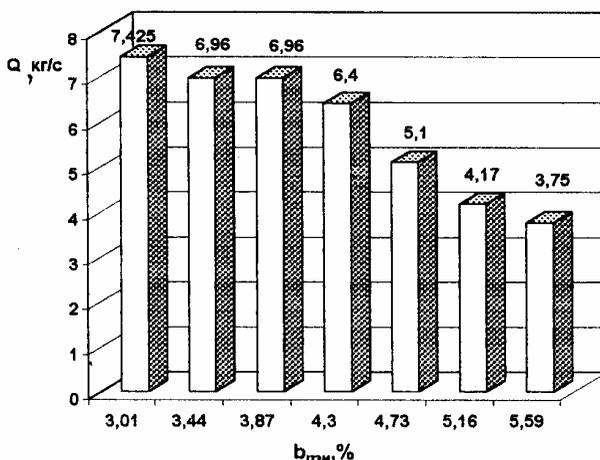


Рис.4.30. Зависимость производительности Q воздушно-решетной зерноочистительной машины при очистке зерна пшеницы продовольственного назначения от содержания в исходном зерновом материале зерновых $b_{грн}$ примесей

4.4.2.2. Оценка массы проектируемой машины

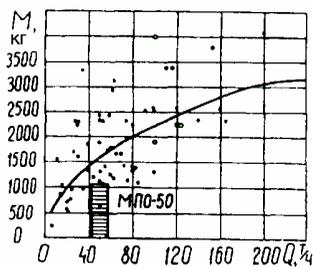
Знание массы проектируемой машины необходимо для обеспечения агрегатируемости, устойчивости от опрокидывания и сползания агрегата или самоходной машины, расчета давления на почву, экономического обоснования, подготовки производства. После изготовления машину можно взвесить, при окончании конструирования многие графические системы автоматически определяют массу деталей и суммированием - массу всей машины. На стадии проектирования этих данных нет и для определения массы машины используется информация по машинам - аналогам. Масса, как правило, устойчиво коррелирует с

производительностью Q (га/ч) (пропускной способностью q , кг/с), с шириной захвата B (м), мощностью двигателя N (кВт) и другими основными показателями, которые можно найти в технических характеристиках машин. Точные значения показателей можно определить только по результатам испытаний, поэтому данные протоколов МИС самые достоверные. Однако эти данные для новых машин могут отсутствовать или быть недоступными. Более доступны проспекты и сайты фирм, обзорная информация регулярно публикуемая в специальных журналах. Данные проспектов часто указываются для условий, близких к идеальным, и поэтому завышаются для производительности, скорости, ширине захвата в реальных условиях. Масса машин также указывается в различной комплектации. На первых стадиях разработки ПС оценку массы и потребляемую мощность проектируемой СХМ можно прогнозировать по основным показателям СХМ (заданная производительность, расчетная, при обосновании ФС, ширина захвата), используя технические характеристики машин аналогов [48]. Например, прогнозные величины массы M и потребляемой мощности N зерноочистительных машин можно оценить по статистическим выражениям (табл.4.18, рис.4.31-4.34).

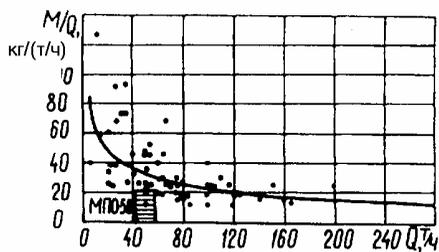
На стадиях синтеза структуры СХМ для каждого варианта ее композиции массу машины и потребляемую мощность можно оценить точнее по техническим характеристикам элементов, формирующих структуру СХМ или агрегата.

Таблица 4.18
Функциональные зависимости прогноза развития показателей
технического уровня зерноочистительных машин

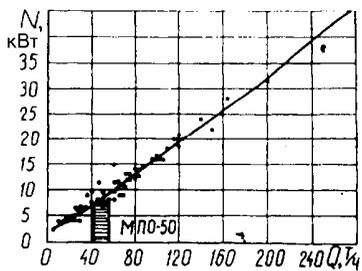
Номер уравнения	Наименование функции, единица измерения	Уравнение для описания функции	Остаточная дисперсия S_y^2	Максимальная ошибка предсказания
Машины предварительной очистки				
1	Развитие массы M , кг	$Y=189,32810X_2^{0,546071} e^{-0,000536X_2}$	556631,80	1987,1380
2	Развитие материалоемкости M/Q , кг/(т/ч)	$Y=182,45990X_2^{-0,437736} e^{-0,000881X_2}$	357,17890	66,8285
3	Развитие установочной мощности двигателей N , кВт	$Y=1,62726+0,138035X_2+0,000076X_2^2$	1,99709	4,7932
4	Развитие энергоёмкости N/Q , кВт/(т.ч)	$Y=0,15222e^{0,549678/X_2}$	0,00099	0,0934
Воздушно-решетные машины первичной очистки зерна				
5	Развитие массы M , кг	$Y=378,40480+74,284228X_2-0,761218X_2^2$	384950,150	1760,8180
6	Развитие материалоемкости M/Q , кг/(т/ч)	$Y=184,9050X_2^{-0,181604} e^{0,019289X_2}$	1673,4570	98,7041
7	Развитие установочной мощности двигателей N , кВт	$Y=2,04584X_2^{0,519353} e^{0,006041X_2}$	10,8390	9,3409
8	Развитие энергоёмкости N/Q , кВт/(т.ч)	$Y=2,05232X_2^{-0,487010} e^{0,006345X_2}$	0,04136	0,5745
Воздушно-решетные машины вторичной очистки зерна				
9	Развитие массы M , кг	$Y=2155,9760e^{-1,792509/X_2}$	428393,50	1719,6840
10	Развитие материалоемкости M/Q , кг/(т/ч)	$Y=469,49380X_2^{0,094180} e^{-0,110935X_2}$	24260,770	4122629
11	Развитие установочной мощности двигателей N , кВт	$Y=1,09523+1,563991X_2-0,031422X_2^2$	9,91914	9,1754
12	Развитие энергоёмкости N/Q , кВт/(т.ч)	$Y=2,487377X_2^{-0,325238} e^{0,009589X_2}$	0,31347	1,6755
Триерные блоки				
13	Развитие массы M , кг	$Y=1582,450e^{-1,821821/X_2}$	364227,70	1360,4470
14	Развитие материалоемкости M/Q , кг/(т/ч)	$Y=319,30780X_2^{-0,001419} e^{0,074827X_2}$	25732,70	495,9617
15	Развитие установочной мощности двигателей N , кВт	$Y=3,15959e^{-1,647679/X_2}$	2,16342	2,4907
16	Развитие энергоёмкости N/Q , кВт/(т/ч)	$Y=0,71514X_2^{-0,098174} e^{-0,038039X_2}$	0,11640	0,5889
Пневмосортировальные столы				
17	Развитие массы M , кг	$Y=411,61680+233,57180X_2-2,01490X_2^2$	421801,60	1375,9580
18	Развитие материалоемкости M/Q , кг/(т/ч)	$Y=653,66260X_2^{0,797060} e^{0,069569X_2}$	82281,720	802,5135
19	Развитие установочной мощности двигателей N , кВт	$Y=2,00431X_2^{0,082219} e^{0,160139X_2}$	22,97709	13,5844
20	Развитие энергоёмкости N/Q , кВт/(т/ч)	$Y=0,47389e^{-0,821638/X_2}$	19,970031	15,224159



а)



б)



в)

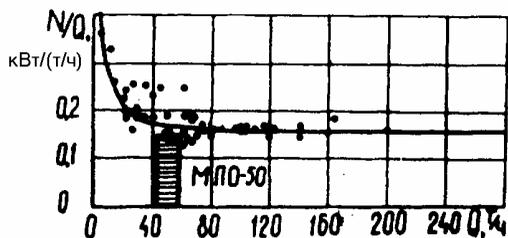


Рис.4.31. Прогнозирование технического уровня показателей машин предварительной очистки зерна от их производительности Q : а – масса M машин; б – материалоемкость M/Q машин; в – установочная мощность N двигателей; г – энергоёмкость N/Q машин

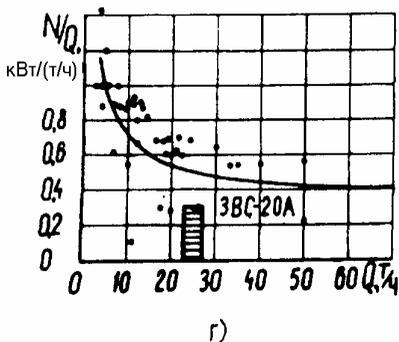
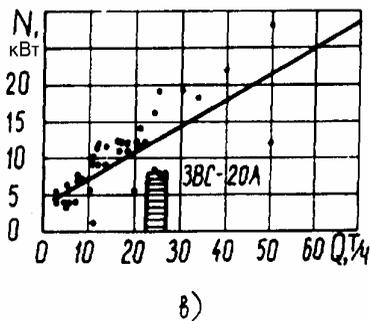
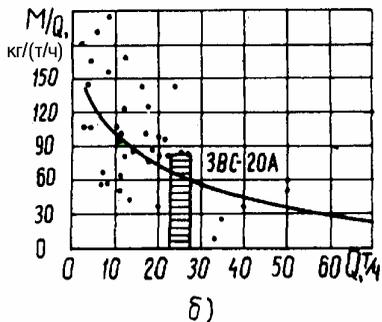
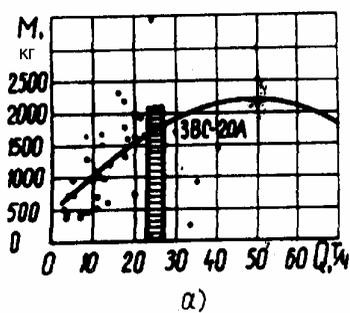


Рис.4.32. Прогнозирование технического уровня показателей воздушно-решетных машин первичной очистки зерна от их производительности Q : а – масса M машин;

б - материалоемкость M/Q машин; в – установочная мощность N двигателей;

г - энергоёмкость N/Q машин

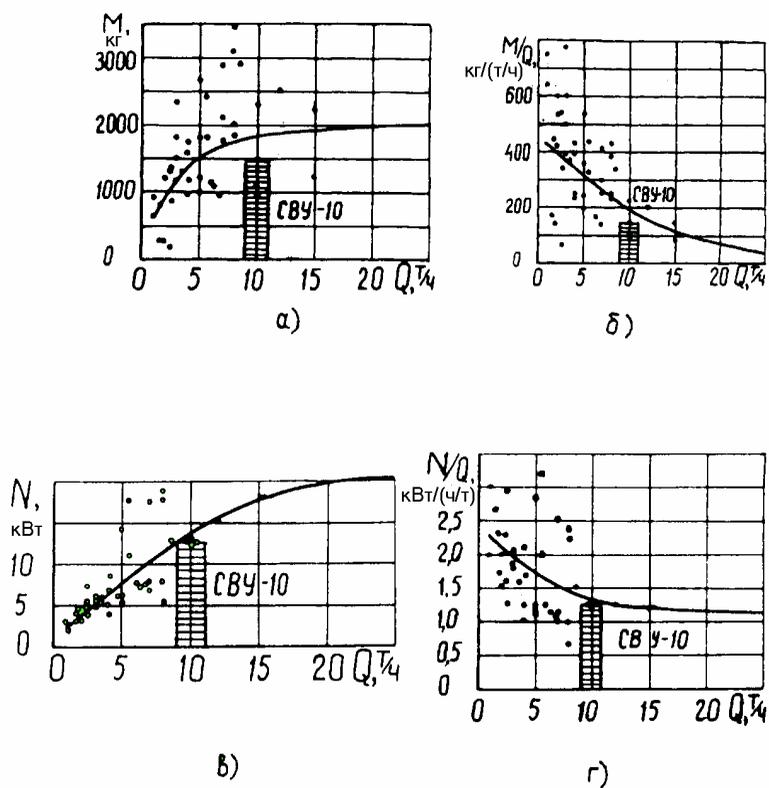
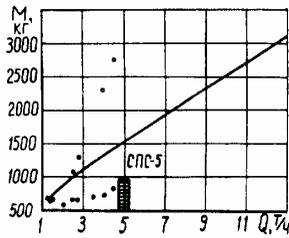
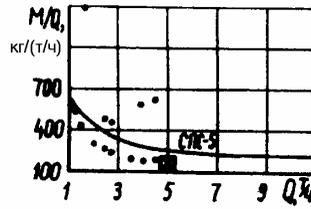


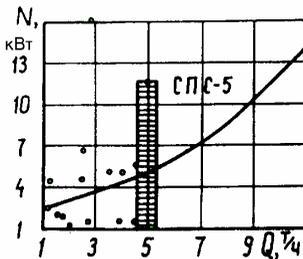
Рис.4.33. Прогнозирование технического уровня показателей воздушно-решетных машин вторичной очистки зерна от их производительности Q : а – масса M машин; б - материалоемкость M/Q машин; в – установочная мощность N двигателей; г - энергоёмкость N/Q машин



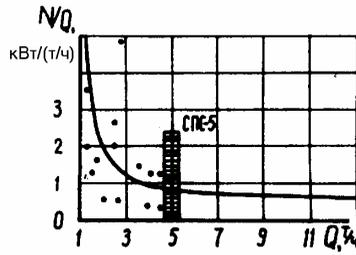
а)



б)



в)



г)

Рис.4.34. Прогнозирование технического уровня показателей пневмосортировальных столов от их производительности Q : а – масса M машин; б – материалоемкость M/Q машин; в – установочная мощность N двигателей; г – энергоёмкость N/Q

При отсутствии зависимостей вида (см. табл. 4.18), можно построить одну из статистических зависимостей типа:

$$M = F(Q); M = F(q); M = F(B); M = F(N).$$

Ранее пользовались таблицами статистических коэффициентов p и r для зависимостей:

$$M = p q^r; M = p B^r.$$

В настоящее время эти данные устарели, но компьютерное обеспечение позволяет выполнить аппроксимацию данных, установить вид кривых и на основе определенной статистической зависимости спрогнозировать массу проектируемой машины.

Пример. На основе данных прил.6 строим графики $M=F(B)$; $M=F(N)$ (рис.4.35-4.36). Многие фирмы имеют свой почерк конструирования. Например, комбайны фирмы John Deere имеют большую энергонасыщенность, ширина захвата жаток комбайнов Samro рассчитана на большую урожайность (≈ 8 т/га); в комбайнах Claas много автомати-

ки и т.д. Поэтому для комбайнов каждой из фирм строим отдельный график, а общую кривую строим методом геометрического сглаживания.

Если исходить их степенной зависимости $M = p B^r$, то для определения коэффициентов необходимо две точки, еще одну возьмем для проверки зависимости.

- 1-я точка $B = 4,2$ м; $M = 6400$ кг;
- 2-я точка (для проверки) $B = 6,1$ м; $M = 9650$ кг;
- 3-я точка $B = 7,5$ м; $M = 11200$ кг.

Тогда уравнения для определения коэффициентов будут:

$$6400 = p \times 4,2^r \rightarrow \ln 6400 = \ln p + r \ln 4,2;$$

$$11200 = p \times 7,5^r \rightarrow \ln 11200 = \ln p + r \ln 7,5.$$

Вычтем из второго уравнения первое и получим

$$\ln 11200 - \ln 6400 = r \ln 7,5 - r \ln 4,2 \quad \text{или} \quad \ln \frac{11200}{6400} = r \frac{\ln 7,5}{\ln 4,2} \rightarrow r = 0,968.$$

Подставляя значение r в первое уравнение, получаем

$$p = \frac{6400}{4,2^{0,968}} = 1595.$$

Для проверки подставим найденные значения B для данных второй точки

$$9650 = 1595 \times 4,2^{0,968} \rightarrow 9650 \approx 9200.$$

Ошибка составляет: $\delta = \frac{9650 - 9200}{9650} = 4,7\%$, что допустимо

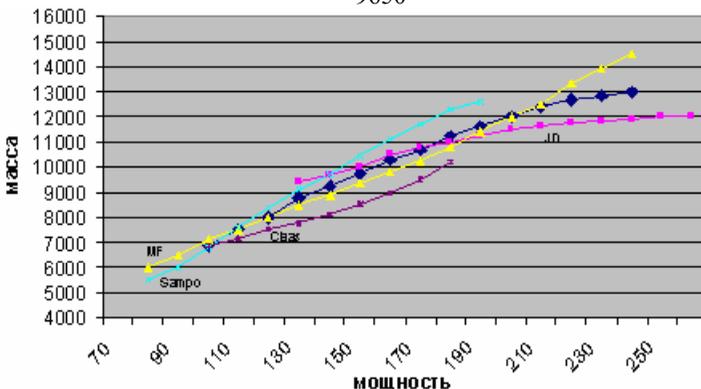


Рис.4.35. Изменение массы зерноуборочных комбайнов в зависимости от мощности

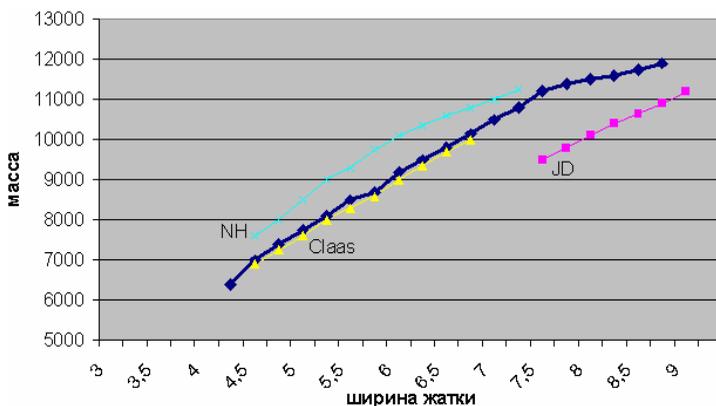


Рис.4.36. Изменение массы зерноуборочных комбайнов в зависимости от захвата

Таким образом, аппроксимирующая функция взаимосвязи ширины захвата жатки при уборке B и массы M

$$M = 1595 \times B^{0,968}.$$

Прогнозируемая масса комбайна класса Дон 1500, который при урожайности 60 ц/га должен агрегатироваться с жаткой 8 м, составляет 11,9 т, что близко к реальному значению.

При использовании графика $M = F(N)$ выбираем точки:

1-я точка $N = 100$ кВт м; $M = 6800$ кг;

2-я точка (для проверки) $N = 133,5$ кВт; $M = 8850$ кг;

3-я точка $N = 185$ кВт; $M = 11200$ кг.

Аппроксимирующая функция взаимосвязи мощности двигателя N и массы M

$$M = 133 \times N^{0,854}.$$

Ошибка при проверке $\delta = 2\%$ Прогнозируемая масса того же комбайна

$$M = 133 \times 235^{0,854} \approx 13 \text{ т}.$$

Существуют стандартные программы аппроксимации, использование которых может обеспечить выбор более точного параметра и большую точность прогнозирования.

В ПЗ студент должен как минимум одним методом спрогнозировать массу проектируемой машины, приведя исходные данные и ссылки на источники информации.

4.4.2.3. Анализ возможности агрегатирования сельхозмашин и энергетических средств (см. [28, 109])

Соединение сельскохозяйственных технологических машин с источником энергии (энергетическим средством) передаточными и вспомогательными устройствами называется **сельскохозяйственным агрегатом**. Агрегаты, энергетическим средством которых являются тракторы (от traction – тянуть), называют **машинно-тракторными агрегатами**. Помимо машинно-тракторных в сельском хозяйстве находят применение агрегаты на базе самоходных машин (например, комбайнов), универсальных и специализированных самоходных шасси.

По числу машин агрегаты определяют как **одномашинные** и **многомашинные**.

По составу машин и числу выполняемых операций агрегаты классифицируют: **однородные**, в которых все машины выполняют одну и ту же сельскохозяйственную операцию (например, культивацию или сев); **комплексные**, в которых машины выполняют заданную технологией возделывания культуры последовательность операций (например, основную обработку почвы, рыхление и выравнивание); **комбинированные**, в которых машины выполняют разнородные технологические операции по возделыванию культуры (например, подготовку почвы, посев, внесение удобрений и защиту растений за один проход); **универсальные**, которые приспособлены к выполнению нескольких технологических операций по возделыванию и уборке сельскохозяйственных культур.

По способу соединения (агрегатирования) рабочей машины с энергетическим средством агрегаты классифицируют как: **прицепные**, рабочие машины которых имеют собственную ходовую систему, обеспечивающую позиционирование рабочих органов в рабочем и транспортном положениях; **полунавесные**, - рабочие машины которых имеют собственную ходовую систему, но одной из опор которых является сцепное устройство энергетического средства; изменением высоты точки соединения этого сцепного устройства обеспечивают позиционирование рабочих органов в рабочем и транспортном положениях; **навесные**, рабочие машины, имеющие собственную раму, на которой смонтированы их сборочные единицы, но для перемещения и позиционирования рабочих органов используют навесное (специальное сцепное) устройство энергетического средства; **монтируемые**, рабочие машины которые не имеют единой собственной рамы, их сборочные единицы смонтированы на раме и навесных устройствах энергетическо-

го средства, обеспечивающего перемещение и позиционирование рабочих органов.

По расположению рабочих органов относительно продольной оси агрегаты бывают **симметричные** и **асимметричные**.

По способу получения энергии рабочими органами агрегаты определяют как: **тяговые**; с приводом рабочих органов от **вала отбора мощности** (ВОМ) энергетического средства; с приводом рабочих органов от **собственного двигателя**; с приводом рабочих органов от **опорно-ходовых колёс**.

Независимо от способа агрегатирования агротехнологические, энергетические, экологические, эргономические свойства агрегата существенно отличаются от свойств, входящих в него машин и тракторов. Эксплуатационные свойства агрегата в рабочем или транспортном положении могут не удовлетворять агротехническим требованиям или требованиям безопасности. Поэтому при проектировании необходимо анализировать возможности агрегатирования проектируемых сельхозмашин с энергетическими средствами.

Анализ соответствия прицепных, сцепных и навесных устройств сельхозмашин и энергетических средств. Прицепные устройства для агрегатирования прицепных и полунавесных сельхозмашин с энергетическими средствами должны соответствовать ГОСТ 13398-82. Типы, основные параметры и размеры тягово-сцепных устройств (скоба для присоединения прицепных машин, крюк для транспортных орудий, гидрокрюк для полунавесных машин, ВОМ) энергетических средств должны соответствовать ГОСТ 3481-79. Это обеспечит соответствие размеров, но только в рамках тяговых диапазонов энергетических средств. Размеры тягово-сцепных устройств энергетических средств тяговых классов 0,6 – 2 отличаются от соответствующих размеров энергетических средств классов 3 – 6, а эти, в свою очередь, от размеров тягово-сцепных устройств энергетических средств тяговых классов 8 и более.

При назначении агрегатирования сельхозмашин, таким образом, необходимо проверять соответствие размерам тягово-сцепных устройств энергетических средств, назначаемых тяговых классов, а по ГОСТ 19677-87 и по технической документации - наличие заданного типа сцепного устройства у конкретно назначаемых модификаций энергетического средства.

Навесные устройства сельхозмашин должны соответствовать ГОСТ 10677-2001 на задние навесные устройства и ГОСТ 27378-87 на передние навесные устройства энергетических средств. При этом также необходимо учитывать различия присоединительных размеров навесных устройств энергетических средств тяговых классов 0,6 – 2 и 3 – 6. Необходимо также учитывать некоторые кинематические различия навесных устройств колёсных и гусеничных энергетических средств. Если в агрегате предусмотрено устройство быстросоединяющее (автосцепка), его параметры должны соответствовать ГОСТ 25942-90.

При агрегатировании монтируемых сельхозмашин наличие присоединительных элементов энергетических средств и их размеры проверяют по технической документации, предоставляемой разработчиком или производителем этого энергетического средства.

Анализ соответствия агрегата техническим требованиям. Если у сельскохозяйственной машины и энергетического средства сцепные или навесные устройства соответствуют, предполагаемый агрегат проверяют на соответствие агротребованиям по допустимому удельному давлению на почву, колее и ширине движителя, дорожному просвету, абрису (контур) агрегата в рабочем и транспортном положениях.

Наибольший вес навешиваемой или монтируемой на энергетическое средство машины указывается в технической документации. Оценивается наибольший вес машины по запасу грузоподъёмности шин колёсного трактора и по предельному среднему давлению на почву. Например, предельное среднее давление на стерню гусеничных энергетических средств должно быть не более 80 кПа, а на пашню – 60 кПа.

Ориентировочно максимальный вес навешиваемой или монтируемой машины может быть рассчитан для агрегата с гусеничным энергетическим средством:

$$Q = 1,6Lb\rho - G ; \quad (4.32)$$

с колёсным энергетическим средством:

$$Q = 2(Y_1 + Y_2) - G , \quad (4.33)$$

где Q - наибольший вес агрегатируемой машины, кг; L – длина опорной поверхности гусеницы, см; b – ширина гусеницы, см; G – вес энергетического средства, кг; Y_1 и Y_2 – предельные нагрузки на шины переднего и заднего колес при заданном давлении по ГОСТ 7463-80, кг; ρ – допустимое время, кг/см².

Колея (расстояние между центрами опорных поверхностей шин и траков гусениц) энергетических средств, прицепных, полунавесных машин, а также расстановка опорных колёс навесных и монтируемых машин в рабочем положении должны соответствовать схеме посадки (чередованию ширин междурядий) обрабатываемой культуры на пропашных операциях. Пределы регулирования колеи, расстановки опорных колёс должны охватывать все рекомендуемые схемы посадки культур. Ширина опорной поверхности колёс и гусениц должна обеспечивать установленные агротребованиями ширины защитных полос при рекомендуемых технологией междурядиями.

Расстояние до почвы от нижней точки энергетического средства и машины в транспортном положении (дорожный просвет) у агрегата не может быть менее 0,35 м, в рабочем положении – в соответствии с агротребованиями на выполняемые операции. Наибольшая высота агрегата в транспортном положении не должна превышать 4,5 м. На агрегаты, работающие в садах, виноградниках, посадках хмеля, иных высокорослых культурах, агротребования накладывают дополнительные ограничения по контуру в рабочем и транспортном положениях. Для проверки соответствия агрегатов агротребованиям по дорожному просвету и контуру выполняют прочерчивание агрегата в рабочем и транспортном положениях.

Обеспечение устойчивости агрегата.

Устойчивость агрегата является первостепенным условием его безопасной работы. Потеря устойчивости приводит к опрокидыванию, потере управляемости или сползанию агрегата по склону рельефа с катастрофическими последствиями.

Агрегаты проверяют на устойчивость в рабочем и транспортном положениях и при переводе из рабочего в транспортное.

Транспортное положение. При транспортировании тяжесть машины создаёт опрокидывающий момент, который надо ограничивать. Для проведения расчётов необходимо определять на стадии проектирования среднюю массу машины m_M . Её определяют приближённо по ширине захвата. Для этого задаются удельной материалоемкостью q_M машины на один метр ширины, достигаемый заводами – производителями; Тогда масса машины:

$$m_M = q_M B .$$

Устойчивость агрегата при транспортировании принято проверять в трёх самых тяжёлых случаях:

- продольная устойчивость против опрокидывания при движении агрегата вверх по склону;

- поперечная устойчивость против бокового опрокидывания на склоне рельефа;

- сползание агрегата при движении поперёк склона рельефа.

Продольная устойчивость. Расчётные схемы для продольной устойчивости различны для колёсного трактора (рис. 4.37, а) и гусеничного трактора (рис. 4.37, б).

Исходными данными являются масса машины и массово-геометрические параметры трактора и машины в агрегате.

Продольное опрокидывание колёсного трактора возможно вокруг точки О (см. рис. 4.37, а). Условие устойчивости требует чтобы опрокидывающий момент M_0 не превышал стабилизирующий момент M_C :

$$M_C \geq M_0, \quad (4.34)$$

Моменты выражаются через массово-геометрические параметры агрегата:

$$M_C = G_T a \cos\alpha;$$

$$M_0 = G_T h \sin\alpha + G_M b \cos\alpha + G_M H \sin\alpha$$

Условие устойчивости (4.34) принимает вид ограничения на массу машины:

$$G_M \leq G_T (a \cos\alpha - h \sin\alpha) / (b \cos\alpha + H \sin\alpha)$$

или ограничений на угол подъёма рельефа поля:

$$\operatorname{tg}\alpha \leq (G_T a - G_M b) / (G_T h + G_M H).$$

Задача проектировщика состоит в этом случае в таком размещении центра тяжести машины, которое обеспечивает заданное значение предельного угла опрокидывания.

Проверка управляемости агрегата. Опрокидывающий момент снижает нагрузку на переднюю ось и агрегат может потерять управляемость раньше, чем опрокинуться.

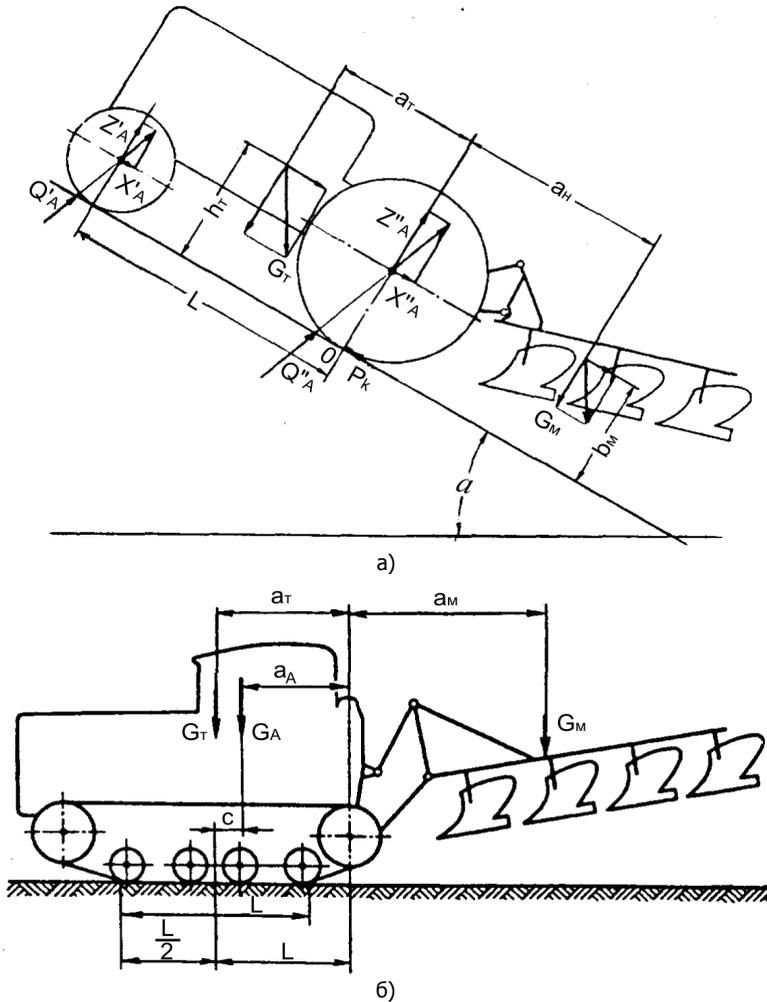


Рис. 4.37. Расчётная схема для продольной устойчивости колёсного (а) и гусеничного (б) трактора при задней навеске машины: G_T - вес трактора; G_M - вес машины, h_T ; h_M , a_T , a_M - координаты центра тяжести трактора и машины; Z'_A - нагрузка на ось переднего (рулевого) колеса- реакция опорной поверхности; Z''_A - нагрузка на ось переднего (рулевого) колеса; α - угол опрокидывания

Управляемость колёсного трактора с навесной машиной возможна, если статическая нагрузка Z'_A на переднюю ось трактора, удерживающего навесную машину в транспортном положении, составляет

не менее допустимой доли η_{\min} статической нагрузки $Z'o$ на эту же ось трактора без навесной машины, т.е. $Z'_A > \eta_{\min} Z'o$ (см. рис. 4.37, а).

Значение η_{\min} определяет завод – производитель трактора. Обычно значение $\eta_{\min} = 0,5 \dots 0,7$ в зависимости от конструкции трактора и вида работ, в среднем $\eta_{\min} = 60 \%$.

Нагрузка на передние колёса через массово-геометрические параметры агрегата:

$$Z'_A = [(G_T a_T - G_M a_M) \cos \alpha - (G_T h_T + G_M h_M) \sin \alpha] / L. \quad (4.35)$$

Нагрузку на переднюю ось без машины Z'_{AO} можно получать по этой же формуле, принимая $G_M = 0$.

С помощью выражения (4.35) условие устойчивости:

$$Z'_A / Z'_{AO} \geq \eta_{\min}$$

выражают через массово-геометрические параметры агрегата и проводят расчёт.

Для случая отсутствия уклона рельефа поля $\alpha=0$ условие устойчивости примет вид:

$$G_M a_M / G_T a_T \leq 0,4$$

Следует отметить, что условия управляемости колёсного трактора более жёсткие чем условия его продольной устойчивости.

При определении продольной устойчивости *гусеничного трактора* при транспортировании навесной машины ограничиваются определением расстояния c (рис. 4.37, б) от середины опорной поверхности гусениц до следа центра масс на опорную плоскость.

Условия продольной устойчивости и управляемости трактора принимают вид:

$$c \leq 0,167 L, \quad (4.36)$$

где L - длина опорной поверхности гусеницы. Поскольку из рис.4.37, б

$$c = l - a_A,$$

$$l - [G_T a_T - G_M a_M] / [G_T + G_M] \leq 0,167 L.$$

Поперечная (боковая) устойчивость. При движении агрегата по склону с поворотом возможно боковое опрокидывание агрегата и его боковое сползание (рис. 4.38). Задача состоит в определении координат центра тяжести машины, предотвращающих боковое опрокидывание и введение ограничений на скорость для предотвращения сползания.

Условие устойчивости на боковое опрокидывание относительно точки «О» аналогично условию (4.34).

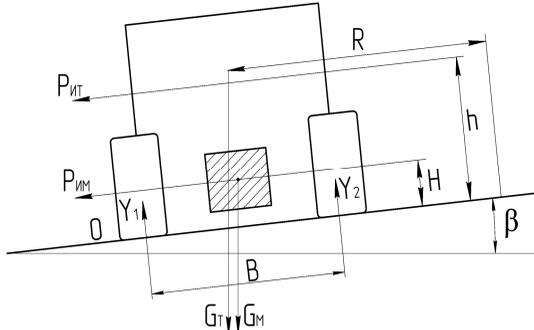


Рис. 4.38. Расчётная схема проверки поперечной устойчивости: G_T - вес трактора, Н; G_M - вес машины, Н; h - координата центра тяжести машины и трактора, м; где $P_{ИТ}$ - сила инерции трактора, Н; $P_{ИМ}$ - сила инерции машины, Н; R - радиус поворота, м (минимальный, допустимый технической характеристикой); V - скорость движения, км/ч; B - колея, м; β - угол косогора; φ - коэффициент сцепления колёс с почвой

Выражения моментов через массово-геометрические параметры агрегата:

$$M_c = \frac{1}{2} (G_T + G_M) B \cos\beta;$$

$$M_o = G_T h \sin\beta + G_M H \sin\beta + (G_M H + G_T h) V^2 / gR.$$

Условие устойчивости (4.40) принимает вид ограничения на массу машины:

$$G_M \leq (\frac{1}{2} G_T B \cos\beta - G_T h \sin\beta - G_T h V^2/gR) / (H \sin\beta + H V^2/gR - \frac{1}{2} B \cos\beta)$$

или ограничений на высоту центра тяжести машины:

$$H \leq (\frac{1}{2} (G_T + G_M) B \cos\beta - G_T h \sin\beta - G_T h V^2/gR) / G_M (\sin\beta + V^2/gR).$$

Условие устойчивости против сползания с косогора:

$$F_{\text{поп}} \leq F_{\text{сц}}$$

где $F_{\text{поп}}$ - поперечная сила, вызванная весом агрегата и силами инерции;

$$F_{\text{поп}} = (G_T + G_M) (\sin\beta + V^2/gR);$$

$F_{\text{сц}}$ - сила сцепления колёс агрегата с почвой

$$F_{\text{сц}} = \varphi (G_T + G_M) \cos\beta,$$

где φ - коэффициент сцепления.

Развёрнутое условие поперечной устойчивости

$$(G_T + G_M) (\sin\beta + V^2/gR) \leq \varphi (G_T + G_M) \cos\beta$$

или

$$(\sin\beta + V^2/gR) \leq \varphi \cos\beta,$$

откуда условие ограничения скорости движения:

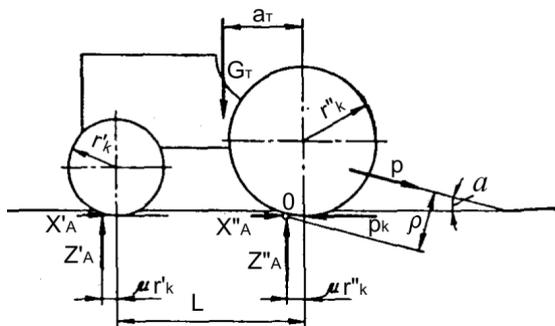
$$V^2 \leq gR(\varphi \cos\beta - \sin\beta).$$

Из этого неравенства следует вывод о необходимости при разработке принципиальной схемы машины обеспечить найденное значение высоты расположения ЦТ машины и ввести в руководство по эксплуатации на машину ограничения транспортной скорости V .

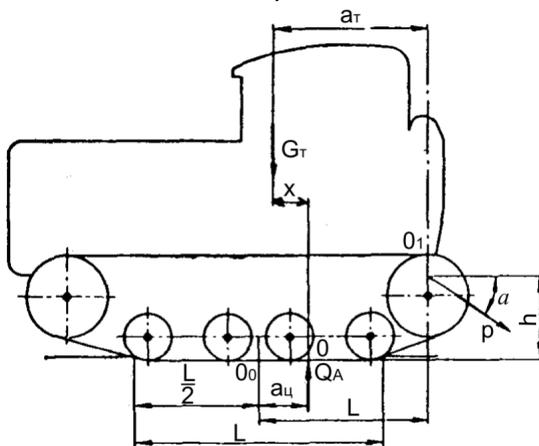
В рабочем положении проверяется статическая устойчивость трактора.

Исходными данными является сила сопротивления машины P , которая требуется для её работы и массово-геометрические параметры трактора.

Сила сопротивления P определяется силовым расчётом машины, который обычно предшествует проверке на устойчивость. Расчёт проводится по условиям равновесия всех сил, приложенных к машине.



а)



б)

Рис. 4.39. Расчётная схема нагрузок агрегата с работающей машиной (а) и гусеничного трактора (б): $r'k$ $r''k$ – радиусы колёс переднего и заднего соответственно; $X'A$ $= \mu Z'A$, и $X''A = Z''A$ – сопротивление перекатыванию передних и задних колёс трактора; α – угол наклона к горизонту силы P

Расчётная схема статической устойчивости колёсного трактора (рис. 4.39, а) учитывает вес трактора G , силу сопротивления P , приложенную на крюке или навеске трактора под углом α к горизонту и опорные реакции колёс Z'_A и Z''_A , приложенные на расстоянии μg от опорной точки колёса.

Вначале определяют нагрузку на передние колёса трактора Z'_A из уравнения моментов сил, действующих на трактор, относительно точки O :

$$Z'_A = \frac{G_T (a_T - \mu r'_k) - P \rho}{L + \mu (r'_k - r''_k)},$$

где r'_k и где r'_k r''_k – радиусы качения колёс трактора; ρ - плечо силы P относительно т. O .

Затем по этой же формуле определяют нагрузку Z'_{AO} на передние колёса трактора при отсутствии машины, т.е при $P=0$.

Условие устойчивости требует, чтобы при работе с машиной значение нагрузки на передние колеса трактора сохранялось не менее допустимого значения, необходимой для обеспечения управляемости трактора.

$$Z'_{AO} / Z'_A \geq \eta_{\min}$$

Значение η_{\min} определяет завод – производитель трактора. Обычно значение $\eta_{\min} = 0,4-0,6$ в зависимости от конструкции трактора и вида работ.

Если полученные значения Z'_A и Z''_A не обеспечивают управляемости или должного сцепления с почвой задних колес трактора, то необходимо изменить точку приложения и направление силы тяги P . Это может быть достигнуто изменением положения опорного колеса машины или конфигурации механизма навески.

Для гусеничного трактора (рис. 4.39, б) об устойчивости в рабочем режиме судят по смещению центра давления a_u .

Условие устойчивости:

$$a_u = l - (a_T - x) \leq 0,167 L \quad (4.37)$$

где x - смещение центра тяжести агрегата

$$x = \frac{P(a_T \sin \alpha + h \cos \alpha)}{G_T + P \sin \alpha}$$

Устойчивость при переводе машины из рабочего положения в транспортное. Иногда возникает необходимость проверить устойчивость при переходах между режимами, например, при выглублении рабочих органов почвообрабатывающих машин в конце гона. При подъёме рабочих органов кроме веса машины G_M преодолевается вес пластов почвы, поднимаемых машиной, и сопротивление отрыву этих пластов G_3 ; для навесной машины $G_3 = (0,3 - 0,5) G_M$, для прицепной $G_3 = (1,5 - 2,0) G_M$.

Считается, что при подъеме рабочих органов суммарная сила сопротивления R рабочих органов, остается неизменной по величине, а угол её приложения ψ меняется. По данным динамометрирования:

$$\psi = \varphi + \theta,$$

где $\theta = \arctg (V_z/V_x)$; V_z - скорость подъема машины; V_x - скорость её поступательного движения.

Эти изменения нагрузок требуют заново провести новый силовой расчёт и определить новую силу P , а затем использовать условия устойчивости для рабочего режима колёсного агрегата или гусеничного. Расчёты на устойчивость агрегата проводят по тем условиям его работы, которые имеют место конкретно для проектируемого агрегата.

Оценка скорости движения агрегата. Для агрегатов, удовлетворяющих агротребованиям и требованиям устойчивости, рассчитывают приблизительную, ориентировочную рабочую скорость движения, необходимую для оценки эффективности агрегата. Ориентировочная рабочая скорость агрегата рассчитывается зависимостью [28]

$$V_p \leq (1 - \gamma) \frac{Ne - N_b}{P_{kp} + (Gt + Gm)(f \cos \alpha + \sin \alpha)}, \quad (4.38)$$

где V_p - рабочая скорость агрегата, м/с; γ - допустимый КПД буксования агрегата (до 0,15); α - предельный угол работы агрегата, градусы; P_{kp} - тяга энергетического средства, кН; Gt - вес энергетического средства, кН; Gm - вес заправленной агрегатируемой машины, кН; f - коэффициент перекатывания для движителя по агрофону (0,6- 0,8); Ne - номинальная мощность двигателя энергетического средства, кВт; N_b - мощность на привод рабочих органов машины от вала отбора мощности (ВОМ) или от гидросистемы энергетического средства, кВт.

Если агрегатирование выбрано правильно, то рабочая скорость V_p агрегата должна быть в диапазоне 1,35-2,3 м/с. Если рассчитанная скорость движения агрегата оказывается меньше 1 м/с, то выбранное универсальное энергетическое средство может работать с машиной только при наличии дополнительного оборудования (ходоуменьшителя). Необходимо ещё раз проанализировать агрегатирование и по возможности выбрать другое, более мощное энергетическое средство. Если рассчитанная скорость более 2,5 м/с, агрегат не полностью использует эффективную мощность двигателя энергетического средства. Это также является основанием для пересмотра агрегатирования, но в меньшую сторону. Если спроектированная рабочая машина не находит эффективного агрегатирования или противоречит агротребованиям и требованиям устойчивости со всеми универсальными энергетическими средствами - это основание для пересмотра параметров этой машины.

4.4.2.4. Анализ возможности обеспечения надежности и ремонтпригодности (см. [28,85])

Наряду с обеспечением надежности технологического процесса не менее важным вопросом является решение проблемы надежности конструкций, проектируемых СХМ или агрегатов. На уровне проектирования, когда решаются вопросы структурного отображения изделий, должны найти отражение соответствующие этапы обеспечения надежности. При этом следует исходить из того, что сельскохозяйственная машина является ремонтируемым объектом, т.е. объектом, исправность и ремонтпригодность которого в случае возникновения отказа или повреждения подлежит восстановлению. Обычно в техническом задании на проектирование сельхозтехники требования к надежности задаются различными показателями (единичные и комплексные).

На стадии проектирования рациональной структуры СХМ или агрегата целесообразно решить следующие задачи:

1. Установить уровень надежности объекта проектирования, исходя из технических возможностей отрасли сельхозмашиностроения и экономической целесообразности.

2. Распределить величины показателей надежности между элементами объекта проектирования.

3. Определить конструктивные, производственные, эксплуатационные и ремонтные мероприятия, обеспечивающие установленный уровень надежности объекта проектирования.

Оценка действительных показателей надежности СХМ или агрегата проводится при испытаниях опытных образцов. При этом все возникающие отказы делят на три группы по сложности их устранения:

- а) отказы, устранение которых возможно с использованием ЗИПа (запчасти, инструмент, приспособления), прилагаемого к машине;

- б) отказы, для устранения которых ЗИПа недостаточно и требуется частичная разборка узлов с заменой деталей и сборочных единиц;

- в) отказы, сопряженные с неисправностью или повреждением базовых конструкций, устранение которых требует почти полной разборки изделия.

Время устранения отказа влияет на эксплуатационную производительность (см. [28], гл. 8) и на выработку агрегата (например, удлинение времени агросрока при уборке зерновых за счет дополнительного времени на устранение отказов в зерноуборочном комбайне снижает реальный (убранный) урожай – простой не убранного, но созревшего хлебостоя, увеличивает потерю массы зерна на 1,5-2% в су-

тки), в связи с этим решение задач ремонтпригодности проектируемой СХМ или агрегата актуально.

Ремонтпригодность включает такое понятие, как контролируемость, т.е. свойство, позволяющее быстро обнаружить неисправность; легкодоступность – свойство, связанное с длительностью подготовительных операций для устранения неисправностей; легкосъемность – затраты времени на разборку изделия для устранения неисправностей. Повышение показателей ремонтпригодности возможно и путем рациональной структуры объекта проектирования (см. [28], гл.9).

Прогнозирование уровня надёжности элементов машин экспериментально-расчётными методами. Экспериментально-расчетный прогноз уровня физической надежности наиболее эффективен на стадиях изготовления опытных образцов машины. Исследованиям подвергается не только готовая конструкция, но и ее образец, в который закладывается технология производства с ее дефектами изготовления и сборки, свойственными для данного производства, т.е. отражается культура производства. Общая схема проведения прогноза представлена на рис. 4.40.

Как видно из рис.4.40, прогноз реализован расчетными методами, но данные для расчетов получены экспериментальным путем. База экспериментальных исследований содержит данные эксплуатационной нагруженности деталей (силовые факторы, напряженно-деформируемое состояние), полученные, как правило, электротензометрированием, и характеристики предельных состояний деталей (σ_T ; σ_{1q} ; и др.).

Положительным моментом такого прогноза является его относительно высокая точность оценок – погрешность по долговечности, как правило, не превышает 15-20%, *отрицательным моментом* – необходимость изготовления экспериментального образца машины, что отражается на сроках ввода в серийное производство машины и стоимости проведения такого рода прогноза.

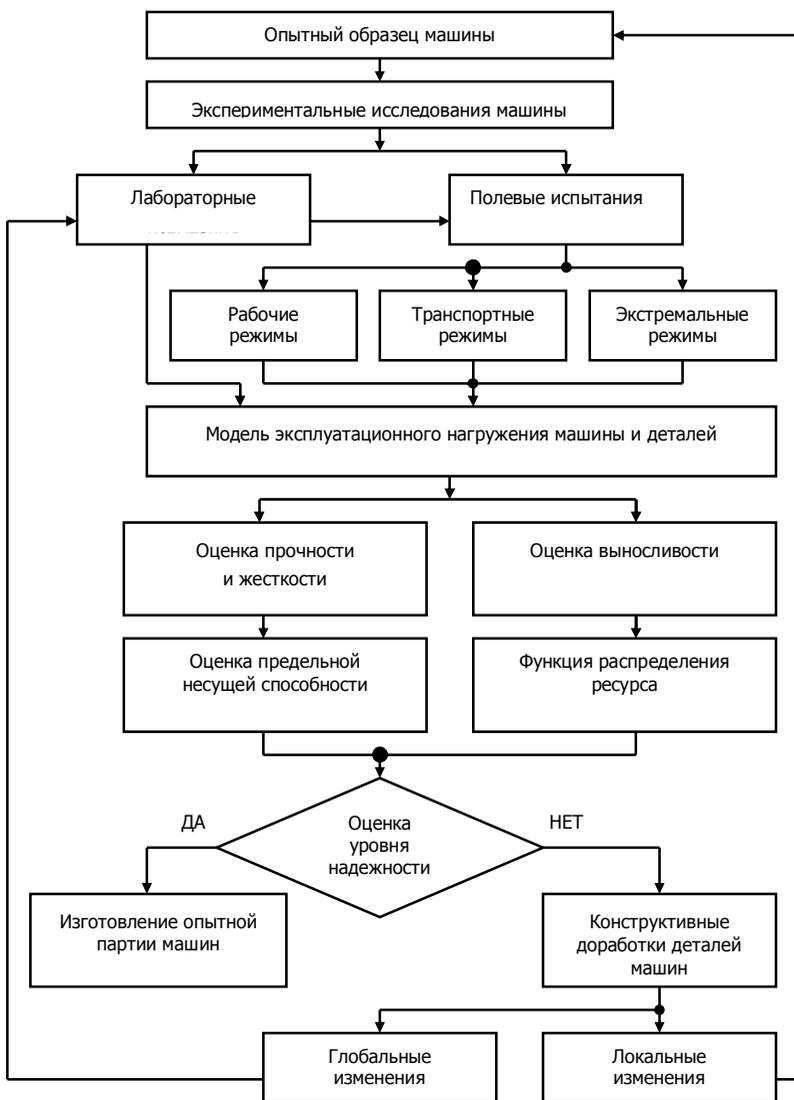


Рис.4.40. Схема оценки заданного уровня надежности деталей машины расчетно-экспериментальными методами

Экспериментальные исследования машины во всех ти-

пичных режимах работы. На основе оценки загруженности машины по режимам эксплуатации с помощью информационно-измерительных систем (ИИС) проводят исследования эксплуатационной нагруженности машины в целом и отдельных ее деталей во всех типичных режимах работы.

Эксплуатационная нагруженность характеризуется совокупностью статистических показателей процессов, происходящих в машине, ее системах, агрегатах, сборочных единицах и деталях в условиях рядовой эксплуатации и типичных перегрузках во всех природно-климатических зонах, для которых машина предназначена [3, 28].

Доля типового режима в общем объеме эксплуатации парка машин

$$a_i = \frac{t_i}{\sum t_i}; \sum a_i = 1,$$

где t_i – суммарное время эксплуатации машины в i -м режиме.

Эксплуатационное нагружение машины и деталей.

Эксплуатационные нагрузки вызывают в деталях случайные напряжения. Спектральные плотности случайных процессов, характеризующих напряженно-деформированное состояние (НДС) конструкции, являются не только комплексной характеристикой самой системы и действующих нагрузок, но и исходной информацией для прогнозирования долговечности. При записях процессов, характеризующих эксплуатационную нагруженность машины, фиксируются внешние воздействия.

Формирование нагрузок основывается на статистическом материале экспериментальных исследований образцов машины. Достоверность статистических оценок зависит от продолжительности наблюдения (записи) процессов. Обработка записей аналоговых сигналов датчиков (тензоэлементов) проводится в зависимости от цели дальнейших исследований: для оценки прочности и жесткости (экспериментальное нагружение) или для оценки выносливости (случайный эксплуатационный процесс нагружений). Для оценки НДС конструкции в экстремальных условиях рассматривается нагружение в единый момент времени. Для этого на синхронизированных записях определяют величины напряжений или деформаций, изменяющихся во времени в наиболее неблагоприятных сочетаниях. Оценивают вероятность возникновения перегрузок в данном режиме эксплуатации.

Испытания классифицируются по следующим признакам:

- *по целям:* 1 - производственные: предварительные; приемочные; периодические; 2 - исследовательские испытания: аттестационные; граничные;

- по срокам проведения: ускоренные; неускоренные;
- по методу проведения: разрушающие; неразрушающие;
- по этапам: на этапе производства; эксплуатационные.

Контрольные испытания проводятся для контроля качества продукции.

Предварительные испытания опытных образцов или опытных партий проводятся заводом–изготовителем для решения вопроса о возможности предъявления продукции на государственные, межведомственные или ведомственные испытания.

Приёмочные испытания опытных образцов или опытных партий проводятся для решения вопроса о целесообразности производства и передачи их в эксплуатацию (государственный сектор). Обычно эти испытания проводятся комиссией, назначаемой заказчиком.

Периодические испытания – это контрольные испытания готовой продукции, проводимые периодически в объемах и сроки, установленные нормативно-технической документацией (НТД).

Особое место в общей оценке машин занимают испытания на надежность, которые подразделяются: *определяющие* (надежность опытных образцов); *контрольные* (надежность серийных образцов); *ресурсные; ускоренные*.

Для проведения испытаний разрабатываются программы, которые могут содержать многоцелевую направленность и включать вопросы как производственного характера, так и научного.

План испытаний выбирается головной организацией в зависимости от вида изделия, условий эксплуатации и технической необходимости.

При проведении испытаний на надежность проверяются количественные показатели надежности и сравниваются с теми, которые были приняты на стадии проектирования. Выявляются характерные отказы элементов и узлов, возникающие в машине, и устанавливаются причины их возникновения. По характерным отказам выявляются наиболее слабые места в машине и разрабатываются мероприятия по их устранению.

Состояние проблемы надежности тракторов и сельхозмашин [28]. Сельхозмашины работают в абразивной среде [43,57,87], поэтому *основным критерием их работоспособности является износоустойчивость*. Ударные нагрузки от твердых включений в почве делают необходимым встраивание в рабочие органы машин предохранительных муфт или использование передач, обладающих предохраняющей способностью от перегрузок (например, ременных). Ресурс тракторов нормируют не в километрах пробега, как автомобилей, а в часах, что, в частности, связано с сезонностью их работы и хранением под открытым небом, при котором потеря работоспособности из-за коррозии пропорциональна времени. Коррозионное поражение незащищенных поверх-

ностей стальных деталей в атмосферных условиях достигает при хранении на открытой площадке $0,44 \text{ мм/год}$ против $0,03 \text{ мм/год}$ при хранении в закрытом помещении. Для тракторов и зерноуборочных комбайнов сложилась практика нормирования и оценки ресурса агрегатов по 80 %-ному гамма-ресурсу. Его обычно назначают кратным времени работы машины в течение нескольких сезонов.

Нагруженность рам сельскохозяйственных машин в значительной степени определяется вертикальными динамическими нагрузками от неровностей дороги и полей. При движении по улучшенным дорогам преобладают симметричные изгибающие нагрузки. При движении по проселочным дорогам и бездорожью преобладают кососимметричные нагрузки, скручивающие раму.

Нагрузки по времени распределены по законам, близким к нормальным. Большие нагрузки характерны для зимней эксплуатации на поле с бороздами (коэффициент динамичности доходит до 2,7).

При расчете трансмиссий тракторов на выносливость за расчетный момент берут меньший из двух:

- 1) развиваемый двигателем в номинальном режиме работы с учетом передаточного числа передачи;
- 2) реализуемый при заданном сцепном весе трактора, причем коэффициент сцепления с грунтом для гусеничных тракторов принимают 1,0, а для колесных – 0,7.

Время эксплуатации зубчатых пар коробки перемены передач при ресурсе трансмиссии 8000 ч принимают: для рабочих передач – от 1500 до 3000 ч; для понижающих передач – от 200 до 1000 ч. Агрегаты, расположенные за коробкой передач, рассчитывают на переменный режим работы с временем работы на рабочих передачах 5000-6000 ч и на транспортных и понижающих передачах – 1000-2000 ч. Агрегаты вала отбора мощности рассчитывают на ресурс 8000 ч при передаче полной мощности.

При работе колесного трактора класса 15 кН (при скорости движения 7,5-13 км/ч) замерены следующие колебания тяговой нагрузки: на пахоте стерни – 2500-3000 Н с частотой колебаний 5,8-11,2 Гц; на пахоте целины – 2600-4000 Н при частоте колебаний 7,3-13 Гц. Пахота отличается наибольшими амплитудами и частотами колебаний нагрузки.

Распределение отказов по узлам для гусеничного трактора характеризуют следующими цифрами, %: отказы двигателя (поломка шатунов, коленчатого вала, обрыв клапанов, повышенный износ гильз цилиндров и поршней, задир шатунных вкладышей и поршней и т.д.) – 47; ходовая система – 19; электрооборудование – 11; гидросистема – 5; коробка передач – 4; тормозная система – 4; задний мост – 3; остальные узлы – 2.

Анализ воздействия объекта проектирования на окружающую среду. Человечеством создано множество машин и сложных техниче-

ских устройств, рациональных с позиции чисто инженерных задач. Между тем отсутствие экологических подходов к решению технических задач привело к тому, что годами эксплуатируемая техника и крупные промышленные комплексы способствовали накоплению в природной среде веществ, угнетающих жизнедеятельность биосферы, снижению естественного плодородия почвы и др.

Одним из реальных путей решения противоречий между развитием техники и экологией природной среды является повышение уровня экологических знаний.

Инженерная экология – научная дисциплина, изучающая объективные закономерности процессов и средств системного взаимодействия человека, технических средств и природной среды с целью создания сложных эргатических систем «человек – техника – среда» (СЧТС), ее исследование и оптимизация в стадии проектно-конструкторских разработок сложных эргатических комплексов.

Развитие инженерной экологии направлено на комплексное решение проблем повышения производительности труда, всестороннего и гармоничного развития человека и окружающей природной среды.

Инженерная экология [7] исследует экологические процессы, на которые оказывают влияние современные технические устройства и промышленные комплексы, а также изучает, какие требования к конкретным техническим средствам и построению СЧТС вытекают из особенностей жизнедеятельности человека и биосферы, т.е. инженерная экология решает задачу приспособления техники, сложных производств к естественным условиям жизни и деятельности человеческого общества и экосистемы планет.

Сельскохозяйственные машины, взаимодействуя с природной средой, оказывают на нее двоякое воздействие: с одной стороны, способствуют использованию природных сил на благо человека, с другой – могут наносить ей невосполнимый ущерб. При проектировании следует учитывать негативные последствия применения техники, в частности, снижение ее естественного плодородия.

Почва представляет собой природную среду, обладающую свойством плодородия, которое бывает естественным и экономическим. В последнее время отмечают тот факт, что несмотря на увеличение капитальных вложений в сельское хозяйство, не наблюдается резкого увеличения урожайности. В определенной мере это связывают с разрушением структуры почвы машинами, что увеличивает масштабы эрозийных процессов, а также ее плотность [42, 51].

Стремление в последние два десятилетия к увеличению производительности за счет повышения мощностей энергетических средств привело к резкому увеличению массы машин в сельском хозяйстве. Считается, что для сохранения структуры почвы достаточно обеспечить определенное удельное давление движителей на почву. Однако известно, что тяжелые машины при том же удельном давлении оставляют более широкую колею, чем легкие. С увеличением ширины колеи доля уплотнений почвы увеличивается, а это влияет на урожайность, напри-

мер, исследования, проведенные в различных регионах, свидетельствуют, что при посеве зерновых и пропашных культур в почву с плотностью 1,3-1,4 г/см³ урожай снижается на 10-20%.

Снижение удельного давления двигателями СХМ или агрегата на почву регулируется как изменение размеров ширины и диаметра колес [10, 47], так и рациональной структурой СХМ или агрегата (например, рациональное расположение в зерноуборочном комбайне бункера для сбора зерна, двигателя, обеспечивающее равномерное удельное давление колес на почву, стремление сместить центр масс машины к ее геометрическому центру, что, кроме указанного, улучшает ее маневренность и устойчивость).

Транспортабельность объекта проектирования. Определяется рациональность структуры СХМ с учетом требований ее транспортировки на дальние расстояния и вариантов выбранных средств транспортирования (например, вагоны железнодорожного транспорта), возможность вписания габаритов объекта проектирования в ограничительные стандартами (ГОСТ 92380-73) габариты (рис.4.41). Рассматриваются возможности по уменьшению габаритных размеров за счет разворота и закрепления подвижных частей, а в случае, когда это невозможно - рассмотрение в конструкции СХМ возможности разъединения и отсоединения отдельных ее элементов с целью их рационального размещения в подвижном составе при транспортировании.

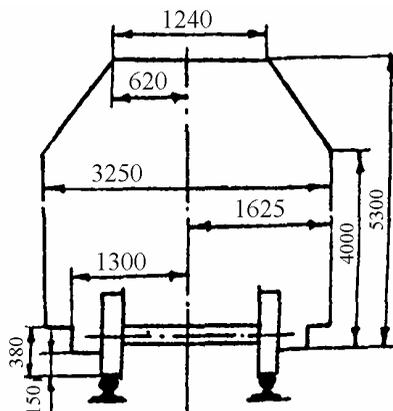


Рис.4.41. Очертания габарита 02-Т

вани.

4.4.2.5. Эргономика

Эргономические показатели [115] характеризуют систему «человек – изделие» (или «человек – машина») с позиций человека, как бы дают ей «человеческое измерение». Они устанавливают соответствие свойств изделия (машины) тем или иным свойствам человека. Эргономические показатели охватывают всю область факторов, которые влияют на работающего человека, и используемое (эксплуатируемое) им изделие.

В эту группу входят следующие подгруппы показателей:

- антропометрические;

- гигиенические;
- физиологические и психофизиологические;
- психологические.

Антропометрические показатели определяют соответствие изделия (машины) размерам, форме и весу тела человека.

В эту подгруппу входят показатели соответствия:

- конструкции изделия размерам человека;
- конструкции изделия форме тела, человека и его отдельных частей, входящих в контакт с изделием;
- конструкции изделия распределению веса человека.

Выполнение требований этих показателей качества обеспечивает работающему (пользующемуся изделием) человеку рациональную и удобную позу, правильную осанку и т.д.

Гигиенические показатели определяют соответствие изделия (машины) гигиеническим условиям жизнедеятельности и работоспособности человека. В результате такого соответствия на рабочем месте (при пользовании изделием) создаются комфортные условия.

К этой подгруппе относят показатели уровней:

- освещенности;
- температуры;
- влажности;
- давления;
- запыленности;
- токсичности;
- шума;
- вибрации;
- перегрузок (ускорений);
- напряженности магнитного и электрического полей.

Физиологические и психофизиологические показатели характеризуют соответствие изделия (всей системы «человек – машина») физиологическим свойствам человека и особенности функционирования его органов чувств.

В подгруппу входят показатели соответствия конструкции изделия (размеры, формы, яркости, контраста цвета и пространственного положения) зрительным возможностям человека и т.д.

Психологические показатели характеризуют соответствие изделия психологическим возможностям человека.

4.4.2.6. Дизайнерский анализ при структурном синтезе объекта проектирования

Современный дизайн не только воздействует на форму, структуру, композицию изделия, но и влияет на удобство и производительность работы персонала, подсказывает пути улучшения функциональности. С другой стороны, инженер-конструктор, знакомый с основами дизайна, с самого начала проектирования наряду с обеспечением утилитарности уже при схемной проработке может заложить эстетически привлекательную конфигурацию, соразмерность, выразительность. Решение вопросов художественного конструирования инженером-конструктором или подключение дизайнера к работе на поздних этапах проектирования малоэффективно, так как тектоника, композиция уже сформированы, и область художественного воздействия очень мала (очертания защитных щитков или корпуса, поверхность). Дизайн изучает и формирует вкус и потребности. При выборе машины срабатывают тяга человека к красивому и при примерно равных технических показателях покупатель (особенно неквалифицированный) отдаст предпочтение более красивой модели.

В свою очередь, дизайн, обостряя конкуренцию, способствует быстрому моральному старению машин и более частой смене конструкций. Взаимовлияние инженерного и художественного конструирования повышает конкурентоспособность и ускоряет технический прогресс.

В техническом задании на проектирование машин формируются различные требования, в том числе показатели безопасности, эстетические и эргономические. Так, регламентируется обобщенный эстетический показатель конструкции (от 1 до 5). Это может быть достигнуто в результате выполнения художественно-конструкторского проекта. Художественная проработка ведется параллельно с конструкторской и имеет те же стадии проектирования (табл.4.19).

Таблица 4.19

Стадии художественного конструирования в проектировании изделий сельхозмашиностроения и их последовательность

Стадия проектирования 1	Содержание работы художника-конструктора 2	Результат работы 3
Технические задания	Участие в разработке технического задания	Согласование задания с художником-конструктором
Художественно-конструкторский анализ	Участие в раскрытии качества аналогов и комплекса связей «человек-предмет» и «человек-среда»	Обобщение художественно-конструкторского анализа
Техническое предложение (эскизный проект)	Разработка художественно-конструкторского предложения; предварительные исследования на основе данных социологии, типологии, эргономики и других наук, изучение конструкции, материалов и технологии изготовления; определение требований, предъявляемых к разрабатываемому изделию; варианты компоновок; разработка вариантов эскизов в графике и объеме; анализ и выбор эскизных вариантов	Художественно-конструкторское предложение: компоновка двух-трех вариантов; два-три эскизных варианта в графике и объеме; обоснование решения
Технический проект	Разработка художественно-конструкторского проекта: окончательная компоновка, макетирование; разработка сложных поверхностей; выбор конструкционно-отделочных материалов; экономические обоснования	Художественно-конструкторский проект: макет; компоновочные чертежи; изображение в перспективе; пояснительная записка
Рабочая документация опытного образца	Рабочее проектирование: участие в разработке рабочих чертежей технологической оснастки; контроль за соответствием рабочих чертежей художественно-конструкторскому проекту; разработка чертежей элементов промграфики, пультов, щитков и деталей внешнего оформления изделия	Чертежи общих видов; подписание технической документации

В содержательном отношении художественная проработка заключается в приведении конструктивных решений в соответствие категориям композициям, в использовании всех ее свойств и средств для

получения наиболее эффективного, запоминающегося современного образа конструкции.

Композиция (расположение, соединение, структура) – расположение основных элементов и частей в определенной системе и последовательности, способы соединения составляющих в одно целое.

Категориями композиции являются тектоника и объемно-пространственная структура. Категории отражают наиболее общие и существенные связи и отношения в композиции [28].

Тектоника есть зримое отражение работы конструкции и материала в форме. Литая несущая конструкция должна быть так выражена в форме, чтобы не возникли сомнения, что это именно литье, а не сварная или штампованная конструкция.

В СХМ у машин много взаимодействующих элементов из листовой стали, особенно существенно решение конструкции мест их соединений друг с другом или с несущим каркасом. Иногда такие соединения оказываются случайными и непроработанными технологически. Капоты, щитки, панели не отбортованы, не профилированы, не имеют тектоничной выразительности.

Встречаются конструкции, неоправданно лишенные тектонической ясности и не информирующие о том, как работает конструкция, каково распределение усилий, - это формы ложные в тектоническом отношении. Дело в том, что взаимообусловленность конструкции и формы, выраженная в конкретном материале, - это наиболее существенное качество, предопределяющее композицию каждого изделия и работу над ним. Каждый элемент в общей конструктивной системе должен быть связан с другим единственно возможным и заданным способом.

Форму каждого изделия можно рассматривать как взаимодействие всех ее элементов между собой и с пространством – **объемно-пространственную структуру** (ОПС). В одних случаях она простая и лаконичная, в других - весьма сложная.

По видимой части объекта проектирования в любом ракурсе мы можем представить его форму. Необходимо вычленив форму из всего остального и представить ее как ОПС. Объемно-пространственная система связей всех элементов наряду с тектоникой позволяет достигнуть подлинную гармонию конструкции. Особое значение решение проблем тектоники имеет в открытых конструкциях СХМ, где она активно проявляется.

Внешний вид машины определяется функциональным назначением, т.е. сконструировать классической плуг с другой компоновкой корпусов, колес, механизмов невозможно. Форма основных рабочих элементов также определена технологическим процессом. Поэтому зачастую дизайнер прорабатывает функционально второстепенные SE: раму, навеску (в пределах рассчитанной прочности), колеса, дополнительные элементы и цветовое решение. Выбирается стиль (энергонасыщенный, фундаментальный, легкий, динамический, деловой, пред-

ставительский, спортивный), придается соответствие моде (так, у автомобилей кузов седан сменился формой комби, а затем более легкой и выразительной капсулой). В СХМ дизайнеры широко используют в качестве модных элементов детали новых отделок как нюансы - покрытия, светоотражатели, фары и новые разработки для комфортности и удобства управления и обслуживания - воздухоочистители, кондиционеры, кресла, пульта, шумо-виброизоляция, дисплеи и др.

Для современных конструкций характерны прямолинейность очертаний и закругленность форм, профилирование больших плоскостей и поверхностей, массивность рамных элементов, тонкостенность корпусных, большие объемы и площади остекления кабин, использование декопированных защитных щитков, тщательная отделка покрытий. Все эти приемы согласуются с современным состоянием развития СХМ: прямолинейность линий выражает жесткость, динамичность, скоростные качества; использование нелинейных очертаний смягчает резкость контура, придает конструкции элегантность; переход на объемные, но облегченные профили не только целесообразен для увеличения прочности и жесткости, но и придает силовой, надежный вид.

Композиция удачно спроектированного изделия обладает рядом специфических свойств, характерных для высокоорганизованной, гармоничной формы - *гармония, целостность формы, соподчиненность, композиционное равновесие, симметрия, динамичность и статичность, единство характера формы, средствами композиции.*

Инженер-конструктор должен быть готов наряду с дизайнером формировать конструкцию машины, отвечающую эстетическим требованиям.

4.4.2.7. Оценка условий эксплуатации

На стадии синтеза вариантов ПС необходимо учесть влияние условий эксплуатации СХМ и агрегатов. Можно выделить несколько направлений:

1. Основные и вспомогательные органы СХМ при выполнении технологического процесса способны травмировать обрабатываемую сельхозпродукцию (тыквы, арбузы, зерно).

При композиционном построении ПС СХМ необходимо предусмотреть взаимное расположение органов СХМ, обеспечивающих прямолинейность перемещения обрабатываемой продукции с минимальным количеством транспортеров, рациональность высоты перепадов (меньше, чем начнется травмирование), рациональность относительных скоростей их перемещений. Идеальный вариант – вертикальное последовательное расположение по высоте рабочих органов с перемещением обрабатываемого материала сверху – вниз под действием сил гравитации.

2. Мобильная СХМ оснащается широкозахватными рабочими элементами, ширина которых затрудняет их перемещение в рабочем положении по транспортным дорогам.

При композиционном построении СХМ и разработке ее технического проекта следует предусмотреть съем рабочего элемента и возможность его продольного перемещения (например, широкозахватная жатка зернокомбайна перемещается на специальной транспортной прицепной тележке) или возможность изменять ширину рабочего элемента при транспортировке СХМ (например, использование механизма для «складывания» широкозахватных культиваторов).

3. Мобильная СХМ оснащается бункером для сбора убираемой сельхозпродукции с последующей ее выгрузкой в транспортное средство.

При композиционном построении СХМ необходимо определить положение бункера, обеспечивающее не только рациональное распределение его массы по опорным колесам СХМ, но и рациональную технологию его выгрузки.

4. СХМ оснащается элементами, ресурс которых значительно меньше ресурса всей СХМ (например, сегменты режущего аппарата жатки зернокомбайна).

При композиционном построении СХМ и дальнейшей разработке ее технического проекта целесообразно предусмотреть доступность и легкосъемность элементов для их возможной замены при отказе в период эксплуатации.

Выполнение экономических условий и ограничений рынка. При обосновании ПС проектируемого объекта и обеспечения всех требований ТЗ определяющими критериями являются экономические: приведенные затраты на получаемый продукт, прибыль, рентабельность (ГОСТ 23728-88; ГОСТ 2372-88; ГОСТ 23730-88). Величины этих показателей анализируются, сравниваются с такими же показателями машин - аналогов на рынке.

При высоких экономических показателях и положительном решении группы маркетинга формируется система данных (схема функциональная, ПС, требования и условия, агротехнические и экономические показатели объекта проектирования) для разработки технического проекта (см. [28], гл.14, п.11.3.9)

4.4.3. Построение схемы принципиальной

Результаты, полученные при обосновании структуры объекта проектирования, являющиеся основанием для построения принципиальной схемы (ПС). Принципиальная схема выполняется в виде схематического разреза в нескольких проекциях, и внешние очертания выполняются в соответствии с конструкцией каждого элемента или устройства. Элементы, составляющие функциональные группы или устройства, допускаются на схемах выделять штрихпунктирными линиями с указанием наименования группы, а для устройств – наименования и шифра. Элементы, составляющие устройство, имеющее самостоятельную ПС, выделяют на основной ПС сплошной линией.

Построение ПС выполняется без строгого соблюдения масштаба. На ПС показывают пространственное расположение элементов СХМ,

первоначальный вариант схемы кинематической, несущие конструкции СХМ, движетели.

При выполнении ПС для обозначения рабочих и вспомогательных органов используется принятое в отрасли схематическое изображение с выделенными элементами, параметры которых необходимо показать в количественном виде (например, диаметр и ширина молотильного барбана, форма и угол обхвата деки, глубина и высота пневмоканала пневмосепаратора).

В ПС помещают различные технические данные. Такие сведения указывают либо около графических обозначений (по возможности, справа или сверху), либо на свободном поле.

На ПС должны быть указаны:

1. Геометрические и при необходимости динамические параметры рабочих и вспомогательных органов, несущих конструкций, двигателя, движетеля (рама, опорные колеса), присоединительные параметры для СХМ, агрегируемые с энергетическим средством, габаритные размеры СХМ.

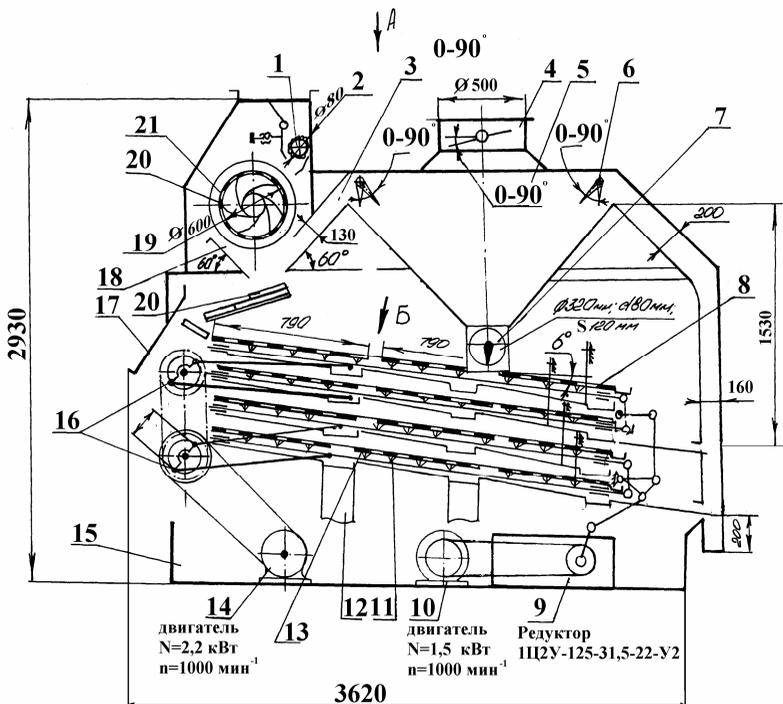
2. Параметры (линейные, угловые) пространственного композиционного построения СХМ или агрегата, определяющие взаимное расположение всех их элементов, геометрическое положение СХМ в составе агрегата.

3. Определяющие характеристики и обозначения унифицированных (например, редуктор, шкивы, сегменты режущих аппаратов) или стандартных (двигатель, мотор-редуктор, решетные сепараторы) элементов, используемых в проектируемой СХМ или агрегате.

4. Технические требования, диаграммы, таблицы, условия и основные технические характеристики проектируемого объекта (на свободном поле ПС).

Указанной на ПС схеме информации должно быть достаточно для разработки технического проекта объекта проектирования.

С использованием методологии и программных комплексов САПР «Проектирование функциональной схемы и структуры воздушно-решетной машины и общие подходы к проектированию и построению ПС» обусловлена и построена ПС универсальной воздушно-решетной машины (рис.4.42).



Техническая характеристика:

тип – стационарный;

производительность за 1 ч основного времени:

на предварительной очистке зерна пшеницы влажностью до 20%

и содержании сорных примесей до 10% (натура) 670 кг/м³...50 т/ч;

на первичной очистке (натура 760 кг/м³).....25 т/ч;

на вторичной очистке.....10 т/ч;

масса машины не более.....1750 кг;

работает с вентилятором радиальным.....ВР-86-77-6,3,

производительностью 1200 м³/ч с циклоном.

полное давление.....1430-940 Па.

Рис.4.42. Принципиальная схема воздушно-решетной зерноочистительной машины
(окончание см. на с.165)

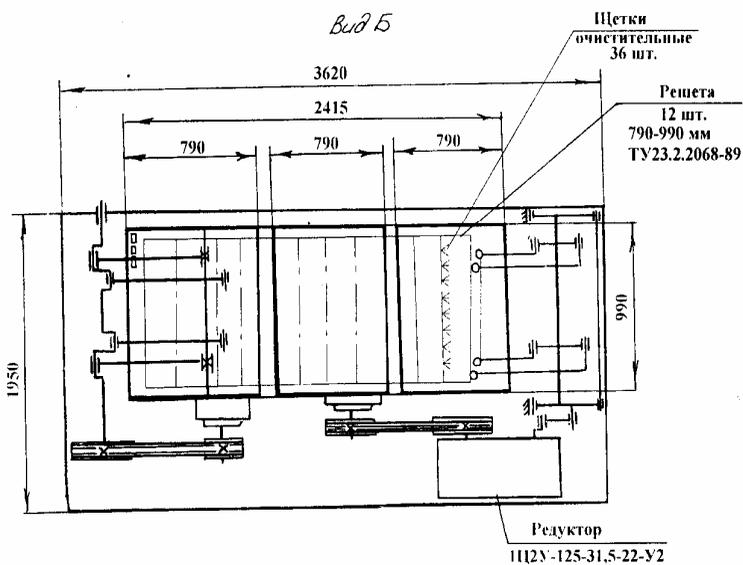
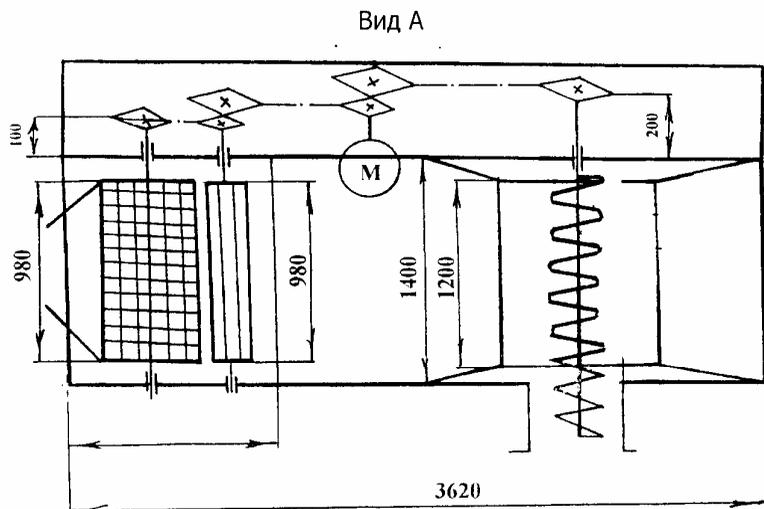


Рис.4.42. Окончание

4.5. Обоснование и построение схемы кинематической

Кинематика (от греч. kinematos – движение) – раздел механики, в котором изучаются геометрические свойства механических движений тел без учета действующих на них сил.

Кинематическая схема (КС) – схема, на которой с помощью условных обозначений изображаются звенья механизмов и кинематические пары с указанием параметров, необходимых для кинематического анализа.

Основные задачи кинематического анализа – определение положений звеньев, траекторий отдельных точек механизма, угловых скоростей и ускорений отдельных точек механизма при заданных основных размерах, определяющих кинематическую схему и законы движения ведущих звеньев.

4.5.1. Обоснование схемы кинематической

Решаются соподчиненные задачи: обоснование вида схемы (последовательная, разветвленная, параллельная, последовательно-параллельная и др.) и типов механизмов и их параметров для передачи движения от источника энергии (двигатель, вал отбора мощности энергетического средства) к рабочим органам и механизмам для управления контролем и регулирования движением машины и параметрами рабочих и вспомогательных элементов в зависимости от условий и задач при функционировании СХМ или агрегата [14, 39, 76, 91, 93, 94].

Исходными данными для этого являются ТЗ на проектирование СХМ (самоходная, навесная, прицепная), технические требования к устройству, кинематические параметры рабочих и вспомогательных органов, обеспечивающих рациональное функционирование СХМ (обоснованные в ее функциональной схеме), сведения о возможностях различных кинематических групп механизмов.

Решение задач по обоснованию рациональной кинематической схемы связано с использованием общих подходов параметрического и структурного синтеза в соответствии с назначением СХМ и следующих предпосылок:

- 1) из требований технического задания известны характеристики ведущего элемента (вид источника движения: двигатель, вал отбора мощности, ходовое колесо и пр., что соответствует валу двигателя, валу отбора мощности, оси колес, их положению в пространстве), т.е. положение оси вращения относительно вектора скорости перемещения машины, агрегата или материала, расстоянию от поверхности движения, частота и направление вращения;

- 2) из функциональной схемы известны характеристики исполнительного механизма: вид движения (поступательное, вращательное,

колебательное), направление движения по отношению к вектору перемещения машины или агрегата, положение исполнительного звена относительно поверхности почвы, относительно ведущего звена, а также сведения о неизменности или пределах изменения этой величины.

Следующей предпосылкой является то, что сведения о различных механизмах, их конструкциях, кинематические и динамические характеристики известны из соответствующих курсов («ТММ», «Детали машин»).

В связи с тем, что ведущее звено, как правило, в сельскохозяйственных машинах и агрегатах совершает вращательное движение, то движение исполнительного звена должно быть приведено к тому же виду (например, решето совершает колебательное движение, а привод осуществляется от вала с вращательным движением). Типичным для этого случая является кривошипно-шатунный механизм, преобразующий вращательное движение в колебательное. Однако при обосновании кинематической схемы следует иметь в виду, что это не единственный способ преобразования движения. Для этого случая могут быть использованы механизмы качающейся шайбы, реечные, винтовые, гидравлические и электромагнитные преобразователи.

Основным свойством приводов от ведущего звена к исполнительному или ведущему звену механизма для преобразования движения является передаточное отношение или передаточное число:

$$i = \frac{\omega_u}{\omega_g},$$

где ω_u – частота вращения исполнительного звена; ω_g – частота вращения ведущего звена: может обеспечиваться одним или несколькими механизмами, тогда $i = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \dots$

Передаточное число является одной из характеристик передаточного механизма. Например, для клиноременной передачи оно может быть до 10, для косозубых передач до 20, цепной передачи до 15 и т.д. при допустимых скоростях.

Выбор приводов. Вид привода, применяемого в кинематической схеме, предопределен его назначением в соответствии с видом движения ведущего звена (ведущего вала) и рабочего органа или механизма для изменения или преобразования вида движения, а также взаимным расположением привода и рабочих органов при ограничениях, вытекающих из свойств механизмов или требований функциональной схемы. Рассмотрим некоторые типичные для сельскохозяйственных машин примеры.

Оси валов и расстояние между валами могут изменять свое положение в пространстве. Например, передача вращения от вала отбора мощности (ВОМ) на один из валов машины при движении прицепного

агрегата, совершении им поворота или подъема машин навесного агрегата. В этом случае передать вращение можно карданным телескопическим валом, гибким валом, гидравлическим или электрическим приводом и т.д.

Перекрещивающиеся оси валов в одной плоскости. Для этого применяют зубчатые конические передачи, червячные передачи, ременные, тросовые передачи, фрикционные, гидравлические приводы и т.д.

Пересекающиеся оси валов в параллельных плоскостях. В этом случае применяют конические зубчатые, червячные передачи в сочетании с ременной, цепной, зубчатой цилиндрической, гидравлические, электрические передачи и т.д.

Расстояние между валами неизменное, оси параллельные. Для передачи движения между ними используют зубчатые цилиндрические, цепные, ременные и т.п.

Вид движения ведущего звена и рабочего органа не совпадает (колебательное, поступательное). Преобразование вращательного в колебательное было рассмотрено ранее. Поступательное движение в основном используется для перемещения материала или объектов обработки. При этом применяются транспортирующие механизмы (по квалификации И.И.Артоболевского). Критериями для выбора механизмов из их множества являются технологичность и надежность. Следует иметь в виду, что большое число отказов приходится на элементы приводов.

При выборе механизмов по этим критериям следует обращать внимание на ограничения по передаточному числу и скорости, которые являются их характеристиками, а также ограничения, которые накладывает функциональная схема в виде расстояния между валами и допустимой неравномерности хода.

Ременные и фрикционные передачи могут создавать значительную неравномерность хода из-за проскальзывания или деформации упругих элементов.

Организация кинематической схемы начинается от источника движения. При этом привод осуществляется непосредственно от ведущего звена к рабочему органу или последовательно через промежуточные валы и рабочие органы, когда вал одного рабочего органа делают источником движения для других. Выбор варианта схемы предопределяется сложностью машины (количеством активных рабочих органов). В основе выбора варианта лежат те же критерии: технологичность и надежность. Надежность передач, как правило, известна из опытов эксплуатации аналогов. Технологичность в данном случае выступает как свойство приспособленности к техническому обслуживанию и ремонту, и основным ее показателем будет являться время на устра-

нение отказов. При этом оно будет зависеть от легкодоступности и легкосъемности тех элементов, отказы которых ожидаются.

В связи с этим нецелесообразно с одной стороны вала организовывать более двух контуров передачи, сам контур (клиновой ремень, цепь) должен располагаться на консолях валов, не охватывая каких-либо конструкций, создающих затруднения для его замены. В противном случае используются передачи с разъемными контурами (например, цепная передача).

Другим правилом для организации передач следует считать целесообразность передачи движения с вала рабочего органа, требующего для выполнения технологического процесса меньшую мощность, чем последующий рабочий орган, так как защита его от перегрузок практически невозможна.

Для защиты приводов в кинематическую схему вводят защитные механизмы в виде предохранительных муфт (зубчатые, шариковые, фрикционные и т.п.) и обгонных муфт. Их необходимость устанавливается на основании анализа действия сил в неустановившемся режиме рабочих органов (разгон, останов из-за прекращения работы или нарушения технологического процесса (забывание) и других отказов).

Выбор механизмов регулирования, контроля и управления. В сельхозмашиностроении регулирование подразумевает изменение параметров рабочих органов (звеньев исполнительных механизмов и их взаимного положения) при изменении технологических свойств материалов и окружающей среды.

Изменчивость во времени (длительное сохранение свойств или постоянная изменчивость) допускает дискретное на длительный промежуток времени или непрерывное регулирование.

Регулируемые параметры рабочего органа должны обеспечивать существенное влияние на качество процесса и функционирование и соответствовать требованиям технологичности конструкции. Типичными изменяющимися параметрами являются: частота вращения; зазоры между рабочими элементами рабочего органа (расстояние между жалюзи решета, зазор между декой и бичом молотильного барабана и т.п.); углы наклона (дефлектор в силосоуборочном комбайне, граблины мотовила, гребни очесывающего аппарата); положение рабочего органа относительно поверхности поля (глубина обработки почвы, высота скашивания, высота тербления и т.д.); изменение сечения потока материала (входные окна вентилятора, прессовальная камера сенных пресов, приемная камера силосоуборочного комбайна и др.); изменение геометрических размеров (радиус кривошипа для изменения амплитуды колебания и пр.).

Типичными механизмами для приведенных примеров являются редукторы с переменным передаточным числом, вариаторы клиноре-

менные и фрикционные, плоские механизмы с фиксирующимся ведущим звеном, винтовые механизмы, гидравлические системы.

Для обеспечения положения относительно поверхности поля используются копирующие устройства различных конструкций. Их также следует отнести к системам непрерывного регулирования.

В ряде случаев непрерывное регулирование требует создания автоматизированных систем, что составляет предмет самостоятельного проектирования. В сельхозмашинах, когда рабочие органы и механизмы находятся вне поля зрения оператора (тракториста, комбайнера, рабочего), возникает потребность в механизмах контроля за нарушением технологического процесса или его предупреждения, а также за наступлением отказа. Для этого вводится система световой или звуковой сигнализации с источником питания от электросистемы энергетического средства. Обычно нарушение технологического процесса (забывание, залипание, попадание посторонних предметов) или отказ приводят к изменению крутящего момента, что вызывает относительное проскальзывание в предохранительных устройствах.

Крутящий момент контролируется при помощи механизмов, замыкающих и разрывающих электрическую цепь, для создания звукового или светового сигнала.

Аналогичным образом действуют устройства предупреждения о нарушении технологического процесса (наполнение бункера комбайна зерном, уменьшение уровня зерна в семенном ящике сеялки и т.д.).

Выбор механизма зависит в каждом конкретном случае от вида регулирования и регулируемого параметра рабочего органа.

Данные для расчета параметров кинематических элементов. После выбора механизмов приводов, управления и контроля необходимо определить их основные параметры. Для этого используется динамический анализ механизмов. Методы расчета кинематических элементов в большинстве случаев разработаны в достаточной мере (зубчатые, ременные, цепные, фрикционные передачи, винт – гайка, вал – подшипник и т.д.).

Особенность организации кинематической схемы заключается в том, что расчет следует вести от рабочего органа к источнику движения. Это обусловлено тем, что при последовательном соединении, когда предыдущий рабочий орган является источником движения для последующего, мощности будут суммироваться от последнего рабочего органа к источнику движения (рис.4.43).

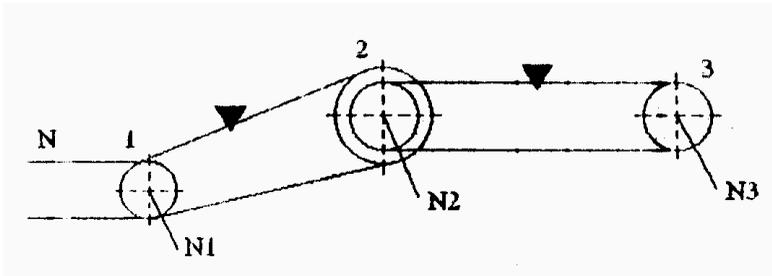


Рис.4.43. Пример сложения мощностей

Пусть мощность, потребляемая рабочим органом 1~ N_1 ; 2~ N_2 ; 3~ N_3 .

Тогда на вал рабочего органа 1 должна передаваться мощность

$$N = \frac{N_1}{\eta_1} + \frac{N_2}{\eta_2} + \frac{N_3}{\eta_3},$$

где η_1, η_2, η_3 - коэффициенты полезного действия соответствующих передач.

В связи с этим расчет диаметра вала, подшипников, ремней для рабочего органа 1 необходимо вести с учетом

$$\frac{N_1}{\eta_1} + \frac{N_2}{\eta_2} + \frac{N_3}{\eta_3}.$$

Мощность, потребляемая рабочим органом, рассчитывается исходя из условий выполнения им технологической операции с учетом свойств обрабатываемых материалов. Обычно информация о них имеется в виде сил сопротивления материала рабочим органам или их элементам в виде удельной величины (сопротивление при культивации (Н/м) при определенной глубине обработки, сопротивление скашивания (Н/м) для различных культур и т.д.), удельной энергии (работа тербления одного стебля льна, корнеплода; работа разрушения связи зерна с колосом, работа измельчения единицы массы зерна и пр.); расход мощности, отнесенный к единице подачи.

Ограничениями при решении задач синтеза схем функциональных являются требования к надежности, технологичности, эргономике, эстетике, безопасности работы.

Для передачи движения от источника энергии в сельхозмашиностроении применяются карданный телескопический вал, при малых межцентровых расстояниях зубчатые передачи, при значительных межцентровых расстояниях цепные и ременные передачи, а также кривошипно-ползунные механизмы, предохранительные и обгонные муфты.

Для натяжения цепей и ремней, регулирования геометрических параметров рабочих органов широко распространены простейшие рычажные и винтовые механизмы, устройства для автоматического натяжения ремней.

В ряде случаев требуется синтез механизмов по заданным траекториям и скоростям звеньев. Он базируется на методах, изучаемых в теории механизмов и машин. Из выбранных и синтезированных механизмов формируется система в виде кинематической схемы. При этом учитываются названные ограничения.

При обосновании вида схемы основным источником информации являются композиционное построение проектируемой машины, отраженное в ее ПС, схемы кинематические машин аналогов, их достоинства и недостатки, выявленные при испытаниях, эксплуатации; отраслевой опыт, производственные возможности и наличие на рынке различных кинематических элементов (редукторы, мотор-редукторы).

При первичном синтезе кинематической схемы необходимо оценить следующее:

1) возможности минимизации контрприводных валов (для передачи движения с одной стороны СХМ на другую), целесообразно в качестве контрприводного вала использовать валы рабочих органов СХМ;

2) положение двигателя при композиции СХМ, оно должно удовлетворять не только условиям рационального распределения давления на опоры СХМ (колеса, рамные конструкции), рационального положения, но и задач эргономики (шумы, вибрация, загазованность, безопасность); положение двигателя должно обеспечивать близкую передачу больших мощностей к энергопотребляемым рабочим и вспомогательным элементам СХМ (например, положение двигателя мобильного зерноуборочного комбайна целесообразно располагать ближе к приводу движителя молотильной группы, вентилятору воздушно-решетной очистки);

3) компоновку вида кинематической схемы при передаче движения от одного источника (вал двигателя, ведущий вал) к ведомым валам различных элементов с большим различием в потребляемой энергии целесообразно выполнять непоследовательной для уменьшения передаваемой мощности в различных звеньях (привод к элементу с большой потребляемой мощностью и привод к элементу с малой потребляемой мощностью целесообразно выполнять непоследовательными для уменьшения передаваемой мощности в различных звеньях (привод к элементу с большой потребляемой мощностью и привод к элементу с малой потребляемой мощностью целесообразно делать параллельными);

4) компоненту схемы кинематической, которая должна обеспечивать доступность, возможность регулировок и легкосъемность ее кинематических элементов (показатели ремонтпригодности (см. [28], гл.9)

4.5.2. Правила построения схем кинематических

Правила построения кинематических схем (КС) определены ГОСТ 2.703-68 (с изменением №1 (ИУС №3-81)от 01.19.81 г.) и ГОСТ 2.701-84 «Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению».

Для разработки проектной и рабочей конструкторской документации схема должна содержать сведения о геометрических и кинематических параметрах звеньев в общепринятом виде. Для получения данных закладываются: мощность, необходимая для выполнения процессов; режимы работы; усилия, приходящиеся на звенья, что позволяет определить их характеристики. Основные правила разработки кинематической схемы:

1. На КС должна быть показана все совокупность кинематических элементов и их соединений, по которым можно осуществлять регулирование, управление и контроль заданных движений исполнительных органов (прил.7); должны быть отражены кинематические связи (механические и немеханические), предусмотренные внутри исполнительных органов между отдельными парами, цепями и группами. Кроме этого, указывается связь с источником движения.

2. Кинематическую схему изделия выполняют (вычеркивают), как правило, в виде развертки. Допускается в случае необходимости КС вписывать в контур изображения изделия, а также КС вычерчивать в аксонометрических проекциях.

3. Все элементы машин и механизмов на схеме изображают условными графическими обозначениями, установленными ГОСТ 2.770-84 «Обозначения условные графические в схемах. Элементы кинематики» (прил.7, табл.4.20, рис.4.44) в ортогональных или аксонометрических проекциях или упрощенно в виде контурных очертаний (см. рис.4.44).

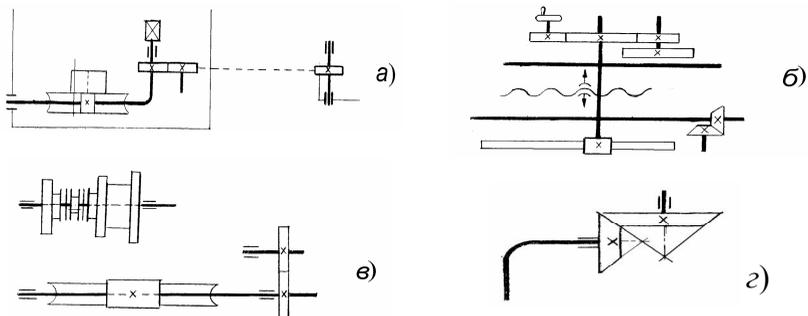


Рис.4.44. Допускаемые упрощения в изображении схемы кинематической
Таблица 4.20

Примерный перечень основных характеристик
и параметров кинематических элементов

Наименование	Данные, указанные на схеме
1. Источник движения (двигатель, ВОМ) 2. Механизм, кинематическая группа	Наименование, тип, характеристика (например, электродвигатель: N, кВт; n, об/мин) Характеристика основных исполнительных движений, диапазон регулирования и т.д. Передаточное отношение основных элементов. Размеры, определяющие пределы перемещений: длину перемещения или угол поворота исполнительного органа. Направление вращения или перемещения элементов, от которых зависит получение заданных исполнительных движений и их согласованность.
3. Кинематические звенья:	
а) шкивы ременных передач	Диаметр (для сменных шкивов – отношение диаметров ведущих шкивов к диаметрам ведомых шкивов)
б) зубчатое колесо	Число зубьев (для зубчатых секторов – число зубьев на полной окружности и фактическое число зубьев), модуль, для косозубых колес – направление и угол наклона зубьев.
в) зубчатая рейка	Модуль, для косозубых реек – направление и угол наклона зубьев.
г) червяк	Модуль осевой, число заходов, тип червяка (если он не архимедов) направление витка и диаметр червяка.
д) ходовой винт	Ход винтовой линии, число заходов, подпись «лев» - для левых резьб.
е) звездочка цепной передачи	Число зубьев, шаг цепи
ж) кулачок	Параметры кривых, определяющих скорость и пределы перемещения поводка (толкателя).

4. Допускается механизмы, отдельно собираемые и самостоятельно регулируемые (например, редуктор), изображать на КС без

внутренних связей. В этом случае схему такого механизма следует изображать в виде выносного элемента на свободном поле чертежа общей кинематической схемы изделия, в которое входит этот механизм.

5. Взаимное расположение элементов механизма на КС должно соответствовать исходному, среднему или рабочему положению исполнительных органов изделия (механизма).

Положение исполнительных органов, для которых вычерчена схема, допускается пояснять надписью.

6. На КС при условии сохранения ясности ее понимания допуска-ется:

- а) переносить элементы вверх или вниз от их истинного положения;
- б) выносить элементы за контур изделия, не меняя их положения;
- в) поворачивать элементы в положение, наиболее удобное для изображения.

В случаях, когда сопряженные звенья пары вычерчены раздельно, их соединяют штриховой линией (см. рис.4.55,а).

7. Если при изображении на схеме валы или оси пересекаются, то изображающие их линии в местах пересечения не разрывают (см. рис.4.44,б).

Если часть вала или оси на схеме закрыта какими-либо другими элементами или частями механизма, то в этих местах последние следует изображать штриховыми линиями, как невидимые (см. рис. 4.44,в).

Допускается валы условно повертывать (см. рис. 4.44,г).

8. На КС соотношение размеров графических обозначений должно примерно соответствовать действительному соотношению размеров этих элементов в изделии.

9. На КС машин и механизмов изображают:

- а) валы, оси, стержни, шатуны, кривошипы и т.п. – сплошными основными линиями толщиной S ;
- б) элементы, изображенные упрощенно в виде контурных очертаний, зубчатые колеса, червяки, звездочки, шкивы, кулачки и т.п. – сплошными линиями толщиной $S/2$;
- в) контур изделия (машины), в который вписана схема, - сплошными линиями толщиной $S/3$;
- г) кинематическая связь между сопряженными звеньями пары, вычерченными раздельно, - штриховыми линиями толщиной $S/2$.

10. На КС следует указывать:

а) наименование каждой входящей в схему кинематической группы элементов с учетом ее функционального назначения, например, привод передачи. Наименование наносят на полке мини-выноски, проведенной от кинематической группы элементов;

б) основные характеристики параметров кинематических элементов, определяющие исполнительные движения рабочих органов, входящих в изделия, или их составных частей (см. табл.4.20).

11. В тех случаях, когда КС изделия содержит отчетные, делительные и другие точные механизмы и пары, то на такой КС указывают все данные об их кинематической точности:

а) степень точности передачи;

б) величины допустимых перемещений;

в) величины допусков поворотов;

г) величины допустимых мертвых ходов между основными ведущими и исполнительными элементами и т.п.

12. Допускается на КС указывать:

а) предельные величины чисел оборотов валов кинематических цепей;

б) справочные и расчетные данные (в виде таблиц, графиков и диаграмм), отражающие последовательность процессов по времени и поясняющие связи между отдельными элементами.

13. В тех случаях, когда КС служит для динамического анализа, на ней следует указывать все необходимые размеры и характеристики элементов. Кроме этого указывают наибольшие величины нагрузок основных ведущих элементов.

На такой схеме следует показывать опоры валов и осей с учетом их функционального назначения.

14. Каждому изображенному (табл.4.21) на схеме кинематическому элементу присваивают буквенный код и порядковый номер (арабскими цифрами), началом служит источник движения, валы СХМ также нумеруются буквенным кодом и арабской цифрой от источника движения.

Таблица 4.21

Буквенные коды наиболее
распространенных групп элементов

Буквенный код	Группа элементов механизмов	Примеры элементов
А	Механизм (общее обозначение)	
В	Валы	
С	Элементы кулачковых механизмов	Кулачок, толкатель
Е	Разные элементы	
Н	Элементы механизмов с гибкими звеньями	Ремень, цепь
К	Элементы рычажных механизмов	Коромысло, кривошип, кулиса, шатун
М	Источник движения	Двигатель
Р	Элементы мальтийских и храповых механизмов	
Т	Элементы зубчатых и фрикционных механизмов	Зубчатое колесо, зубчатая рейка, зубчатый сектор, червяк
Х У	Муфты, тормоза	

Элементы (внутренние) покупных или заимствованных механизмов (редуктор, вариатор и т.д.) не нумеруют, а порядковый номер присваивают механизму в целом.

15. При наличии на КС изображения сменных кинематических элементов групп настройки их обозначают строчными буквами латинского алфавита и указывают в таблице характеристики для всего набора сменных элементов. Порядковые номера таким элементам не присваивают. Таблицу характеристик допускается выполнять на отдельных листах.

Используя вышеуказанные подходы и правила, можно обосновать и построить кинематические схемы ВРЗОМ (рис.4.45) и, как пример, картофелеуборочного комбайна (рис. 4.46).

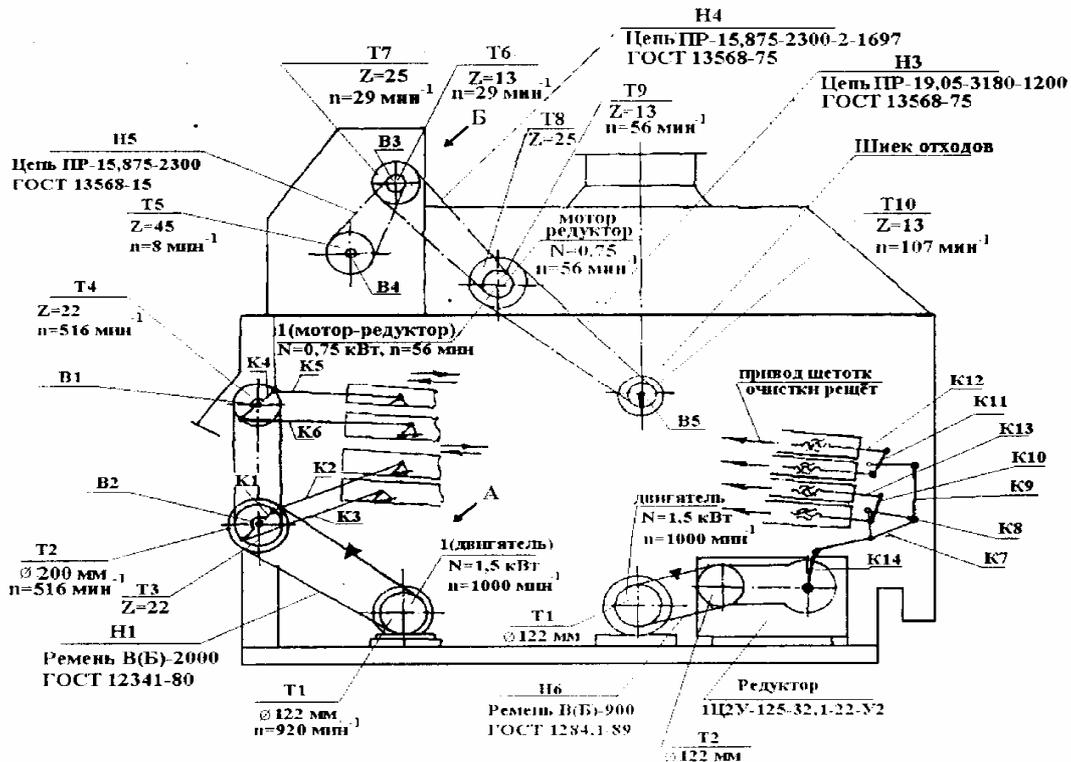


Рис.4.45. Кинематическая схема ВРЗОМ

4.6. Разработка технического проекта сельскохозяйственных машин и агрегатов

Технический проект (ГОСТ 2.120-73) разрабатывают, если это предусмотрено техническим заданием, протоколом рассмотрения технического предложения или эскизного проекта, с целью выявления окончательных технических решений, дающих полное представление о конструкции изделия, когда это целесообразно сделать до разработки рабочей документации.

При необходимости технический проект может предусматривать разработку вариантов отдельных составных частей изделия. В этих случаях выбор оптимального варианта осуществляется на основании результатов испытаний опытных образцов изделия.

При разработке технического проекта выполняют работы, необходимые для обеспечения предъявляемых к изделию требований и позволяющие получить полное представление о конструкции разрабатываемого изделия, оценить его соответствие требованиям технического задания, технологичность, степень сложности изготовления, способы упаковки, возможности транспортирования и монтажа на месте применения, удобство эксплуатации, целесообразность и возможность ремонта и т.п.

В общем случае при разработке технического проекта проводят следующие работы:

- 1) разработку конструктивных решений изделия и его основных составных частей;
- 2) выполнение необходимых расчетов, в том числе подтверждающих технико-экономические показатели, установленные техническим заданием;
- 3) выполнение необходимых принципиальных схем, схем соединений и др.;
- 4) разработку и обоснование технических решений, обеспечивающих показатели надежности, установленные техническим заданием и предшествующими стадиями разработки (если эти стадии разрабатывались);
- 5) анализ конструкции изделия на технологичность с учетом отзывов предприятий-изготовителей промышленного производства в части обеспечений технологичности в условиях данного конкретного производства, в том числе по использованию имеющегося на предприятии оборудования, а также учета в данном проекте требований нормативно-технической документации, действующей на предприятии-изготовителе; выявления необходимого для производства изделий нового оборудования (обоснование разработки или приобретения); разработку метрологического обеспечения (выбор методов и средств измерения);

- 6) разработку, изготовление и испытание макетов;
- 7) оценку изделия в отношении его соответствия требованиям эргономики, технической эстетики;
- 8) оценку возможности транспортирования, хранения, а также монтажа изделия на месте его применения;
- 9) оценку эксплуатационных данных изделия (взаимозаменяемости, удобства обслуживания, ремонтпригодности, устойчивости против воздействия внешней среды, возможности быстрого устранения отказов, контроля качества работы изделия, обеспеченность средствами контроля технического состояния и др.);
- 10) окончательное оформление заявок на разработку и изготовление новых изделий (в том числе средств измерения) и материалов, применяемых в разрабатываемом изделии;
- 11) проведение мероприятий по обеспечению заданного в техническом задании уровня стандартизации и унификации изделия;
- 12) проверку изделия на патентную чистоту и конкурентоспособность, оформление заявок на изобретения;
- 13) выявление номенклатуры покупных изделий, согласование применения покупных изделий;
- 14) согласование габаритных, установочных и присоединительных размеров с заказчиком или основным потребителем;
- 15) оценку технического уровня и качества изделия;
- 16) разработку чертежей сборочных единиц и деталей, если это вызывается необходимостью ускорения выдачи задания на разработку специализированного оборудования для их изготовления;
- 17) проверку соответствия принимаемых решений требованиям техники безопасности и производственной санитарии;
- 18) составление перечня работ, которые следует провести на стадии разработки рабочей документации, в дополнение и (или) уточнение работ, предусмотренных техническим заданием, техническим предложением и эскизным проектом

Макеты должны быть предназначены для проверки (в необходимых случаях – на объекте заказчика или потребителя) конструктивных и схемных решений разрабатываемого изделия и (или) его составных частей, а также для подтверждения окончательно принятых решений. Испытания макетов должны проводиться в соответствии с программой и методикой испытаний, разработанной по ГОСТ 2.106-68. Необходимость изготовления макетов и их количество устанавливаются организацией-разработчиком (если требуется, то совместно с заказчиком).

В технический проект включают конструкторские документы в соответствии с ГОСТ 2.102-68, предусмотренные техническим заданием и протоколом рассмотрения технического предложения, эскизного проекта.

При разработке технического проекта могут быть использованы отдельные документы, разработанные на предыдущих стадиях, если эти документы соответствуют требованиям, предъявляемым к документам технического проекта, или если в них внесены изменения с целью обеспечения такого соответствия. Разработанным документам присваивают литеру «Т».

4.7. Энергетический расчёт

4.7.1. Энергетический расчет проектируемой машины

Проводится с целью выбора привода машины, определения его характеристик, обеспечивающих работоспособность и надёжность конструкции с учётом потребного количества энергии. Расход потребной энергии зависит от скорости движения рабочего органа и значения результирующей силы, приложенной к нему при работе.

При вращательном движении мощность на валу N_N выражается через крутящий момент M_k и угловую скорость ω :

$$N_N = M_k \cdot \omega.$$

Если между рабочим органом с известной потребляемой энергией мощности и двигателем несколько передач, то определяют окружные усилия и потребляемую энергию на всех звеньях передач, продвигаясь от исполнительного органа к двигателю.

$$\begin{aligned} N_{N-1} &= N_N / \eta_{nn}^2 \eta_n ; \\ N_{N-2} &= N_N / \eta_{nn}^3 \eta_n \eta_{n-1} = N_{N-1} / \eta_{nn} \eta_{n-1} ; \\ P_{N-1} &= P_N d_N / d_{N-1} \eta_{nn}^2 n_n , \end{aligned}$$

где η_{nn} – к.п.д. пары подшипников; η_n , – к.п.д. передачи с N -го на $N-1$ -й валы; η_{n-1} - к.п.д. передачи с $N-1$ -го на $N-2$ -й валы.

Зная величину передаваемой мощности и действующих окружных усилий, можно по справочным данным выбрать стандартизованные элементы кинематики и установить марки ремней, цепей, муфт, шестерён, редукторов, карданов и пр.

Зная мощности привода рабочих органов, можно выбрать источник движения и рассчитать, например, для мобильной машины $N_{ВОМ}$.

По полученной таким образом мощности рассчитывают силы и моменты, действующие в деталях конструкции и, далее, выполняют их прочностные расчёты.

При поступательном движении рабочего органа, что обычно свойственно всем почвообрабатывающим машинам, мощность N_N на

передвижение рабочего органа выражается через силу сопротивления P и скорость движения V :

$$N_N = P \cdot V.$$

Сила сопротивления при этом определяется геометрией резания и режимами резания. Необходимо обеспечить постоянство геометрии резания независимо от величины силы сопротивления за счёт достаточной жёсткости крепления. Но при этом следует учитывать, что идеально жёсткого крепления создать невозможно, но некоторая упругость крепления оказывается полезным технологическим фактором и может снижать энергетические затраты, в связи с чем уместна задача оптимизации жёсткости крепления рабочих органов машин [38].

Пример. Энергетический расчёт фрезерного культиватора [20].

Расчет мощности на привод фрезы.

Мощность, потребляемую ротационной машиной, принято рассчитывать по составляющим: мощность на резание почвы N_p и мощность на отбрасывание почвы $N_{омб}$, т.е.

$$N_{\phi} = N_p + N_{омб}. \quad (4.39)$$

Для практических расчётов используется подход, при котором мощность фрезерования выражают через удельные работы. Удельной считается работа на единицу объёма отрезаемой почвы. По Г.Бернацки, удельная работа $A_{y\phi}$ выражается экспериментальной зависимостью:

$$A_{y\phi} = c k + (400-500) v^2, \quad (4.40)$$

где $c = 3,0-10$ – коэффициент, указывающий превышение удельного сопротивления фрезерования над удельным сопротивлением вспашки.

Мощность на фрезерование выражается через окружную скорость ножей v_o :

$$N_{\phi} = A_{y\phi} m a B s v_o/2 \cdot 102 \cdot \pi. \quad (4.41)$$

Недостаток формул (4.40) и (4.41) - не учитывается длина резания l_p , оказавшаяся, по последним исследованиям, значащим фактором энергетики фрезерования.

В этом отношении представляют ценность следующие зависимости [1]:

удельная работа резания для всей машины

$$A_p = k_p (l_p b + F)/(a b S) \text{ Нм/м}^3; \quad (4.42)$$

удельная работа на отбрасывание почвы для всей машины

$$A_{омб} = k_o^2 a B \rho V_{II} v^2 / 4g \text{ Нм/м}^3; \quad (4.43)$$

удельная работа фрезерования для всей машины

$$A_{y\phi} = A_p + A_{омб}; \quad (4.44)$$

мощность фрезерования

$$N_{\phi} = A_{y\phi} a B V_{II}. \quad (4.45)$$

По расходуемой мощности определяют среднее значение силы резания

$$P_{cp} = N_{\phi} / R \text{ в т.} \quad (4.46)$$

Пиковое значение импульса силы сопротивления в 2-2,5 раза выше P_{cp} .

Потребная суммарная мощность

$$N = N_{\phi} + N_{\phi} (I - \eta) + N_{II}, \quad (4.47)$$

где N_{ϕ} , N_{II} - мощности, затрачиваемые на фрезерование почвы и передвижение фрезы соответственно; η - КПД передачи от трактора к фрезе.

Мощность на фрезерование с учётом КПД вала отбора мощности $\eta_{ВОМ}$ и передач η_{II} согласно [69] может быть определена как

$$N_{ВОМ} = A_{y\phi} a v_{II} B / (\eta_{II} \eta_{ВОМ}). \quad (4.48)$$

Баланс мощности тракторного агрегата с фрезерной машиной и трактором мощностью Ne , весом G_T и КПД трансмиссии $\eta_M=0,91-0,936$

$$A_{y\phi} a v_{II} B = (Ne \eta_M - G_T f v / 1020) \eta_{ВОМ}, \quad (4.49)$$

где f - коэффициент сопротивления перекачиванию трактора.

По уравнению (4.49) обычно находят максимально возможную ширину захвата фрезерной машины, способную полностью загрузить трактор.

Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления передвижению фрезы, как активного рабочего органа:

$$N = \pm V_{II} P_x / 102, \quad (4.50)$$

где $\pm P_x$ - горизонтальная составляющая суммарного тягового сопротивления фрезы, которую можно определить графоаналитически при силовом расчете.

4.7.2. Обеспечение агрегатируемости проектируемой машины с энергетическими средствами

Баланс мощности. При обеспечении агрегатируемости исходят из тяговых характеристик трактора. При этом скорость движения

ограничивается возможностями рабочих органов из условия обеспечения агротребований или принимается ее значение в соответствии с прогнозом. Значение скорости позволяет судить по тяговой характеристике, на какой передаче энергетической машины будет работать агрегат.

Для проверки агрегатируемости при известном типе энергетической машины используются тяговый или мощностной баланс агрегата. При конструировании целесообразно пользоваться балансом мощности. Задача состоит в проверке достаточности мощности трактора при агрегатировании с проектируемой машиной. В общем случае баланс может быть записан в виде [20, 94].

$$N_e \eta_3 = N_f + N_\alpha + N_T + N_j + N_c + N_{\text{вoм}}, \quad (4.51)$$

где N_e - эффективная мощность двигателя; η_3 - коэффициент загрузки двигателя; N_f - мощность, затрачиваемая на перекачивание агрегата; N_α - мощность, затрачиваемая на преодоление подъема агрегата; N_T - потеря мощности в трансмиссии и ходовой части энергетического средства; N_j - мощность, затрачиваемая на разгон агрегата; N_c - мощность на преодоление сопротивления передвижению машин агрегата; $N_{\text{вoм}}$ - мощность, передававшая от вала отбора мощности.

В формуле (4.51) опущен знак «-» для учёта работы агрегата в любых условиях.

Формулы для определения составляющих баланса:

Коэффициент загрузки

$$\eta_3 = 1 - (v_n - \xi_n), \quad (4.52)$$

где v_n - коэффициент возможной перегрузки двигателя на данной операции; ξ - коэффициент допустимой перегрузки двигателя.

$$N_f = (f_3 G_3 + f_m G_m + f_c G_c) v \cos \alpha, \quad (4.53)$$

где f_3, f_c - соответственно коэффициенты сопротивления перекачиванию средства машины и сцепки; G_3, G_m, G_c - вес энергетического средства машины и сцепки соответственно, кН; α - характеристика рельефа.

$$N_\alpha = (f_3 G_3 + f_m G_m + f_c G_c) v \sin \alpha; \quad (4.54)$$

$$N_T = N_e (1 - \eta_T), \quad (4.55)$$

где η_T - к.п.д. трансмиссии к ходовой части энергетической машины.

$$N_I = m_j v = 0,1 G_a \delta_j = \delta \varepsilon v / 36, \quad (4.56)$$

где δ - коэффициент приведения массы, равен 1,1-2,1 $\text{с}^2/\text{м}$; ε - коэффициент, значение которого 7-14 кН/с ; v - скорость движения на выбранной передаче, км/ч .

$$N_c = \pm P_x v / 102, \quad (4.57)$$

где $\pm P_x$ - горизонтальная составляющая сил сопротивления рабочих органов, получаемых силовым расчетом рабочих органов или упрощенно по удельным показателям:

$$P_x = kb,$$

где k ~ удельное сопротивление агрегата, кН/м .

$$N_{BOM} = \sum N_i, \quad i = 1, 2, \dots, 5, \quad (4.58)$$

где N_i - мощность, передаваемая i -ому рабочему органу от ВОМ, определена при обосновании кинематической схемы; i - индекс рабочего органа.

В ряде случаев баланс может быть дополнен в связи с постановкой гидропривода, компрессора и т.п., что вызывает дополнительное потребление значительной мощности. После расчета условия агрегатирования считаются выполненными, если соблюдается написанное неравенство, когда левая часть больше суммы в правой части. При несоблюдении этого следует изыскать пути снижения веса или сопротивления агрегата. Возможны случаи, когда баланс записывается в приведенном виде и решается относительно ширины захвата B , если целесообразно обеспечить полное использование мощности движителя.

4.8. Разработка конструкций сборочных единиц и деталей

4.8.1. Повышение надежности на стадии разработки конструктивных решений изделия и его составных частей

Стадия «Технический проект» и «Разработка конструкторской документации опытного образца изделия» являются основными этапами проектирования изделий. На этом этапе должно обеспечиваться и подтверждаться соответствие достигнутого уровня надежности разрабатываемого или модернизируемого изделия нормативным требованиям; на этом же этапе должны быть выявлены все основные «слабые» элементы конструкции, установлены ожидаемые причины отказов. Проводимые же на этой стадии мероприятия по повышению надежности должны учитывать и быть взаимосвязаны как с технологией изготовления, так и со стратегиями технического обслуживания и ремонта техники. На этих стадиях выполняются следующие основные виды работ по обеспечению надежности [85]:

- разработка ПОН («Программы обеспечения надежности»);
- установление требований к надежности, выбор номенклатуры и нормирование показателей надежности изделий с учетом особенностей его конструктивного исполнения, режимов применения и условий эксплуатации; анализ надежности лучших отечественных и зарубежных аналогов, составных частей, комплектующих изделий, свойств конструкционных материалов;
- изучение условий эксплуатации и внешних воздействующих факторов ;
- анализ возможных схемно-конструктивных вариантов построения изделия, расчеты надежности этих вариантов изделий и выбор наилучшего по надежности варианта;
- выбор конструктивных материалов и комплектующих элементов с учетом требований к надежности;
- разработка методов и средств испытаний;
- разработка мероприятий, обеспечивающих стойкость изделий к внешним воздействиям;
- уточнение оценок показателей надежности изделия в целом, его составных частей для выбранного варианта построения изделия;
- анализ причин отказов опытных образцов, разработка мероприятий по их устранению;
- испытания на надежность макетов опытных образцов изде-

лия и его составных частей;

- анализ ремонтной и эксплуатационной документации с точки зрения обеспечения надежности;
- разработка системы сбора и обработки информации о надежности изделия и его составных частей на различных стадиях жизненного цикла изделий;
- анализ технологии изготовления с точки зрения обеспечения требований к надежности;
- технико-экономический анализ эффективности проводимых на стадии НИОКР мероприятий по обеспечению надежности;
- разработка нормативно-технической и методической документации, необходимой для обеспечения надежности.

Типовая последовательность проведения мероприятий по отработке изделий на надежность на стадиях разработки аванпроекта и эскизного проекта показана на рис.4.47, 4.48.

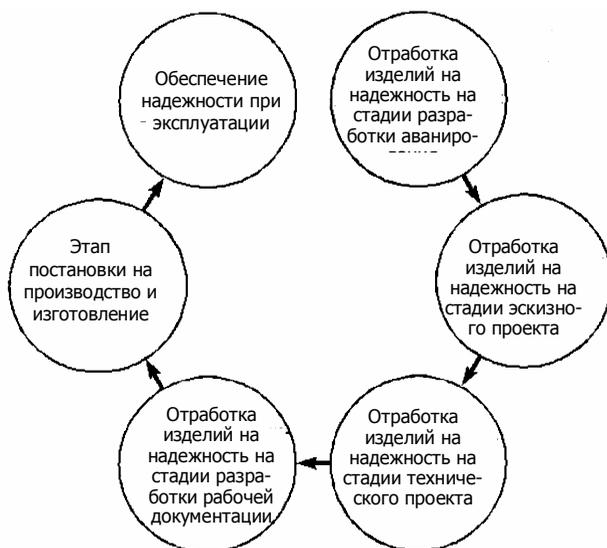


Рис.4.47 Отработка изделий на надежность на различных стадиях жизненного цикла

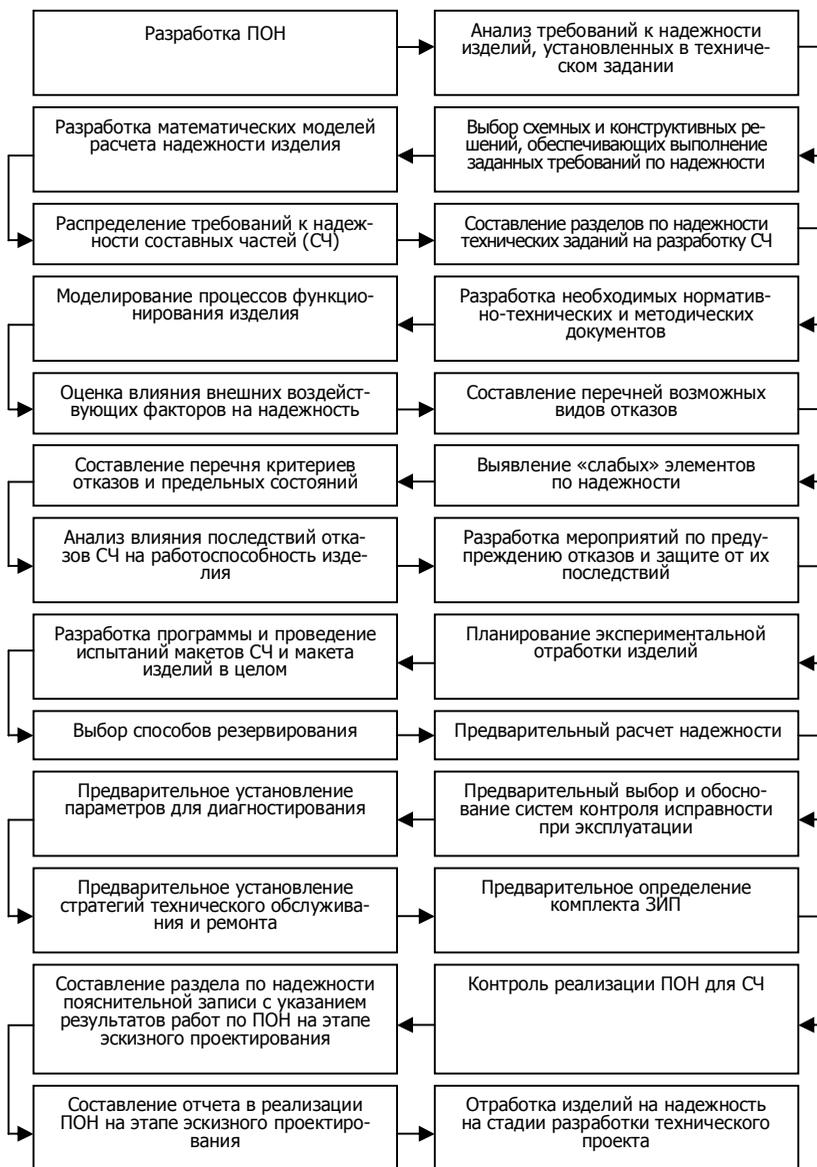


Рис. 4.48. Этапы отработки изделий на надежность

В зависимости от вида техники состав работ может быть изменен в сторону уточнения, связанного с возможностями и квалификацией работников конструкторских бюро. Как правило, за основу отработки на

надежность машин должна приниматься *требуемая* (назначенная, гарантируемая) *наработка $T_{мпр}$, ресурс или срок службы*. В зависимости от величины этой наработки или ресурса конструктор и разработчик выбирают материалы, проводят прочностные расчёты, выбирают конструктивное исполнение изделия, размеры, технологические процессы, системы технического обслуживания и ремонта так, чтобы обеспечить эти нормы для проектируемого объекта.

Основными способами и методами обеспечения надежности на данной стадии являются:

- рациональный выбор конструктивного исполнения изделия;
- введение резервирования;
- обоснование запасов прочности, введение в конструкцию средств автоматического обнаружения отказов и определения предотказного состояния средствами технического диагностирования;
- расчет размерных цепей и обоснование допусков на размеры и параметры;
- выбор смазок;
- обеспечение ремонтной и эксплуатационной технологичности, проведение испытаний и расчетов надежности;
- установление требований к надежности комплектующих изделий, к качеству конструкционных и смазочных материалов.

Надежность объекта проектирования *может быть повышена* также путем:

- увеличения числа анализируемых на надежность проектных решений;
- более детального и всестороннего анализа надежности каждого проектного решения;
- повышения точности используемых методов расчета надежности;
- автоматизации информационных потоков о надежности между различными подразделениями (данные об аналогах, результаты испытаний макетов, данные о свойствах материалов и т. п.);
- создания и совершенствования методов, позволяющих формализовать проектно-поисковые исследования и объективно делать оценки и прогноз надежности.

Отработка изделий на надежность, как правило, сопутствует это изделие на всем жизненном цикле и не ограничивается работами при проектировании (см. рис. 4.47-4.49).

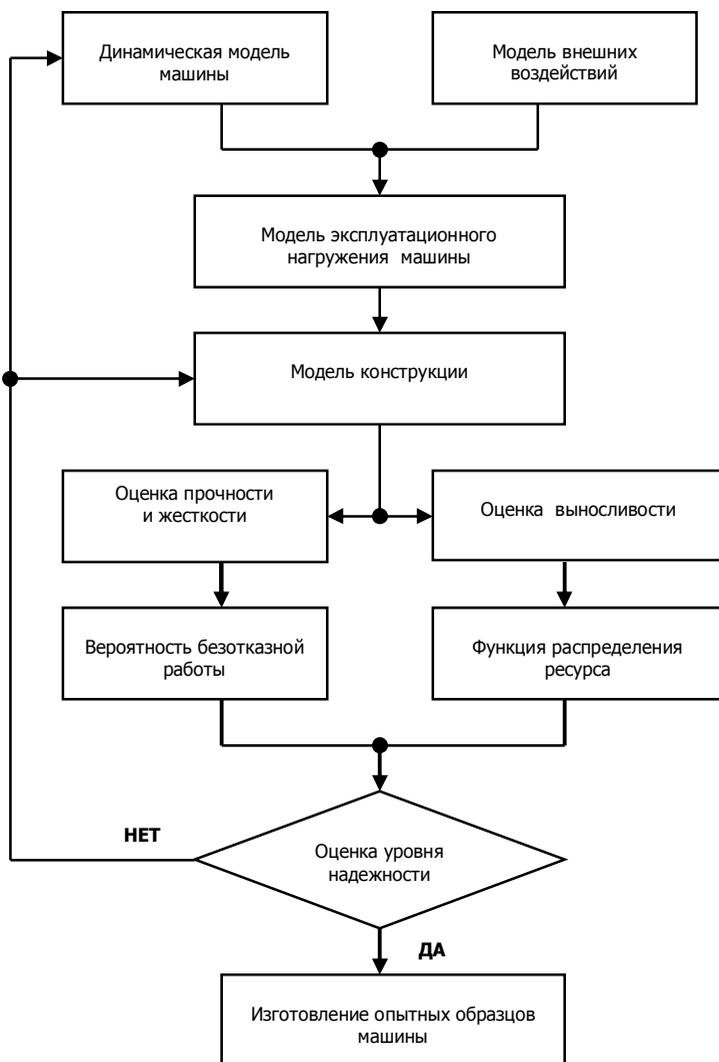


Рис.4.49. Схема достижения заданного уровня надежности элементов машин расчетными методами

Применение метода конечных элементов (МКЭ) в прочностных расчетах конструкций. Среди современных методов численного анализа *методу конечных элементов* (МКЭ) принадлежит особое место. Благодаря своим достаточно простым математическим формулировкам и очевидному физическому значению МКЭ является эффективным и наиболее распространенным методом решения различных задач механики сплошной среды [28].

Оценка прочности и жесткости. Прочность и жесткость конструкции и деталей оценивают по коэффициенту запаса по отношению к предельному состоянию [4]:

для нормальных напряжений в стальных конструкциях

$$\eta = \frac{\sigma_T}{\sigma},$$

где σ_T – предел текучести материала детали; σ – максимальное напряжение;

для деформаций

$$n = \frac{[h]}{h},$$

где $[h]$ – предельное допустимое упругое перемещение; h – максимальное перемещение под нагрузкой.

Максимальные значения напряжений и перемещений определяют расчетом по конечно-элементной модели при различных сочетаниях нагрузок в экстремальном нагружении, т.е. необходимо получить некоторый массив таких величин.

Оценка выносливости. Выносливость деталей оценивается средним ресурсом при случайных эксплуатационных нагружениях заданного режима. Расчетный прогноз уровня надежности осуществляется на базе расчетных по конечно-элементной модели напряжений. По полученному спектру случайных эксплуатационных нагрузок находят спектральную плотность случайных эксплуатационных напряжений с помощью конечно-элементных моделей. По спектральной плотности напряжений $S_\sigma(\omega)$ и параметрам B и b кривой усталости детали

$$N_p = B\sigma^{-b},$$

где N_p – число циклов напряжений до разрушения; B – число циклов, соответствующее точке перелома кривой усталости; b – показатель наклона левой ветви кривой усталости, можно определить средний ресурс

$$\bar{N} = \frac{(2\pi)^{1/2} B}{2^{1/2} \Gamma(b/2 + 1) m_k^{b/2}}; m_k = \int_0^\infty \omega^k S_\sigma(\omega) d\omega; k = 2/b,$$

где $\Gamma(b/2 + 1)$ – гамма-функция.

Гамма-функцией от аргумента n называется функция

$\Gamma(n) = \int_0^{\infty} x^{n-1} e^{-x} dx$. Для гамма-функции составлены таблицы.

Тогда [3]

$$\lg T_p = \lg \bar{T} - u_p S_{\lg \bar{T}},$$

где T_p – ресурс, соответствующий вероятности неразрушения;
 u_p – квантиль нормального распределения; $S_{\lg \bar{T}}$ – среднее квадратическое отклонение среднего значения логарифма ресурса.

Оценка уровня надежности. Оценка уровня надежности производится путём сравнения заданного (нормированного) и полученного (прогнозируемого) уровней надежности по ВБР (вероятности безотказной работы) при заданном ресурсе T_p (наработке). Допускаются отклонения 10-15% в запас. При несоблюдении этого условия необходимо вернуться в начало блок-схемы (см. рис.4.49) и проделать следующие мероприятия:

- провести снижение динамических нагрузок за счет виброзащитных средств, рациональной компоновки основных масс машины и т.п.;
- провести конструктивные изменения (геометрии, точности, термической обработки, марки материалов и т.п.) для установления соответствия конструкции воспринимаемым нагрузкам.

Прогнозирование уровня надёжности элементов машин экспериментально-расчётными методами. Экспериментально-расчётный прогноз уровня физической надежности наиболее эффективен на стадиях изготовления опытных образцов машины [85]. Исследованиям подвергается не только готовая конструкция, но и ее образец, в который закладывается технология производства с ее дефектами изготовления и сборки, свойственными для данного производства, т.е. отражается культура производства. Общая схема проведения прогноза представлена на рис. 4.50.

Как видно из рис.4.50, прогноз реализован расчетными методами, но данные для расчетов получены экспериментальным путем. База экспериментальных исследований содержит данные эксплуатационной нагруженности деталей (силовые факторы, напряженно-деформируемое состояние), полученные, как правило, электротензометрированием, и характеристики предельных состояний деталей (σ_T ; σ_{1q} ; и др.).

Положительным моментом такого прогноза является его относительно высокая точность оценок – погрешность по долговечности, как правило, не превышает 15-20%, *отрицательным моментом* – необходимость изготовления экспериментального образца машины, что отражается на сроках ввода в серийное производство машины и стоимости проведения такого рода прогноза.

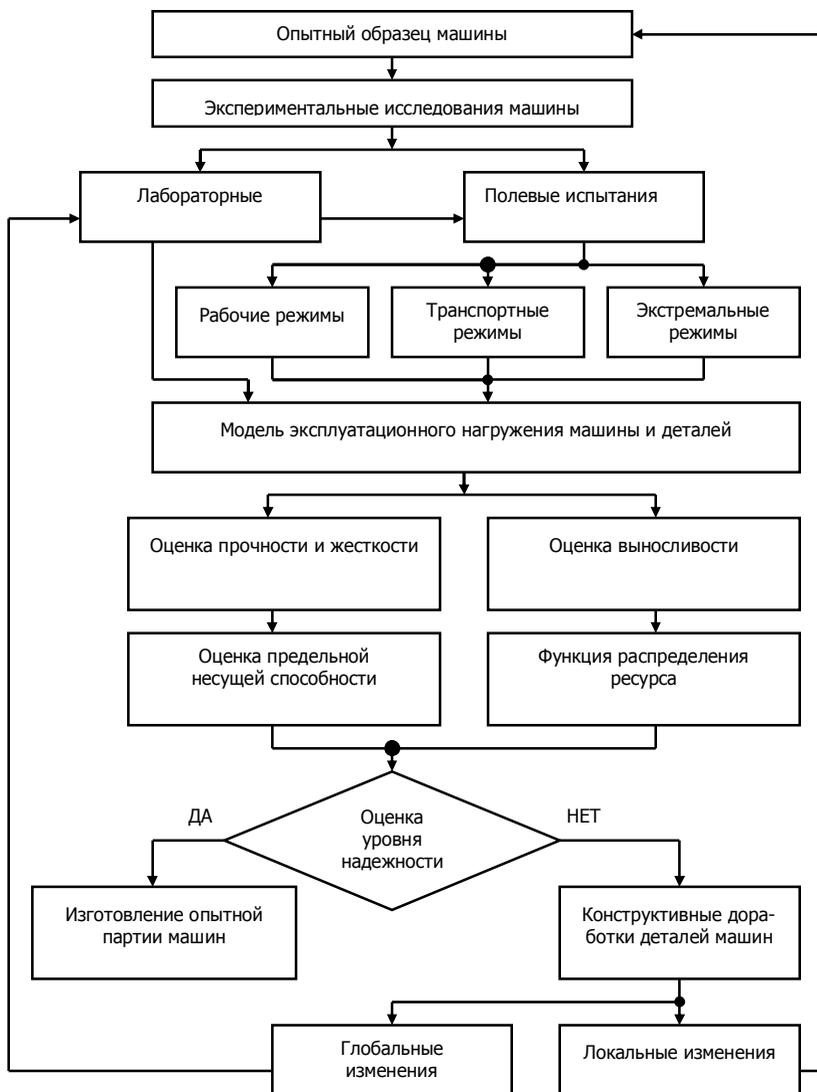


Рис.4.50. Схема оценки заданного уровня надежности деталей машины расчетно-экспериментальными методами

Для проведения испытаний разрабатываются программы, кото-

рые могут содержать многоцелевую направленность и включать вопросы как производственного характера, так и научного.

При проведении испытаний на надежность проверяются количественные показатели надежности и сравниваются с теми, которые были приняты на стадии проектирования. Выявляются характерные отказы элементов и узлов, возникающие в машине, и устанавливаются причины их возникновения. По характерным отказам выявляются наиболее слабые места в машине и разрабатываются мероприятия по их устранению [28].

4.8.2. Система мероприятий по обеспечению технологичности конструкции изделия

Система мероприятий по обеспечению технологичности конструкции изделия (СМОТКИ) делится на две группы: организационное и методическое обеспечение. Состав системы приведен на рис.4.51, а работы на стадиях проектирования изделия по обеспечению ТКИ - в табл.4.22.

Важным моментом в обеспечении ТКИ является четкое разграничение функций между конструкторами и технологическими организациями (подразделениями), совместно выполняющими техническую подготовку производства изделия.

Таблица 4.22

Работы по обеспечению технологической конструкции изделия

Стадии проектирования	Основные работы
Разработка технического задания	Уточнение изделия- аналога, состава показателей технологичности. Выбор принципиальных технологических схем работы изделия. Определение нормативных (базовых)показателей ТКИ
Разработка технического предложения	Определение технологической трудоемкости изготовления будущего изделия. Предварительная оценка показателей ТКИ, выбор оптимальных вариантов из возможных технических решений.
Разработка эскизного проекта	Уточнение значений показателей ТКИ по установленной номенклатуре, определение возможности применения стандартных унифицированных и заимствованных составных частей основных марок. Проведение качественного анализа принимаемых конструктивных решений.
Разработка технического проекта	Качественная оценка принимаемых конструктивных решений. Определение значений показателей ТКИ, принятие окончательных конструктивных решений
Разработка рабочей конструкторской документации	Выполнение качественной и количественной оценок принимаемых конструктивных решений. Определение уровня ТКИ. Согласование конструкторской документации с технологическими организациями, оформление соответствующего протокола.

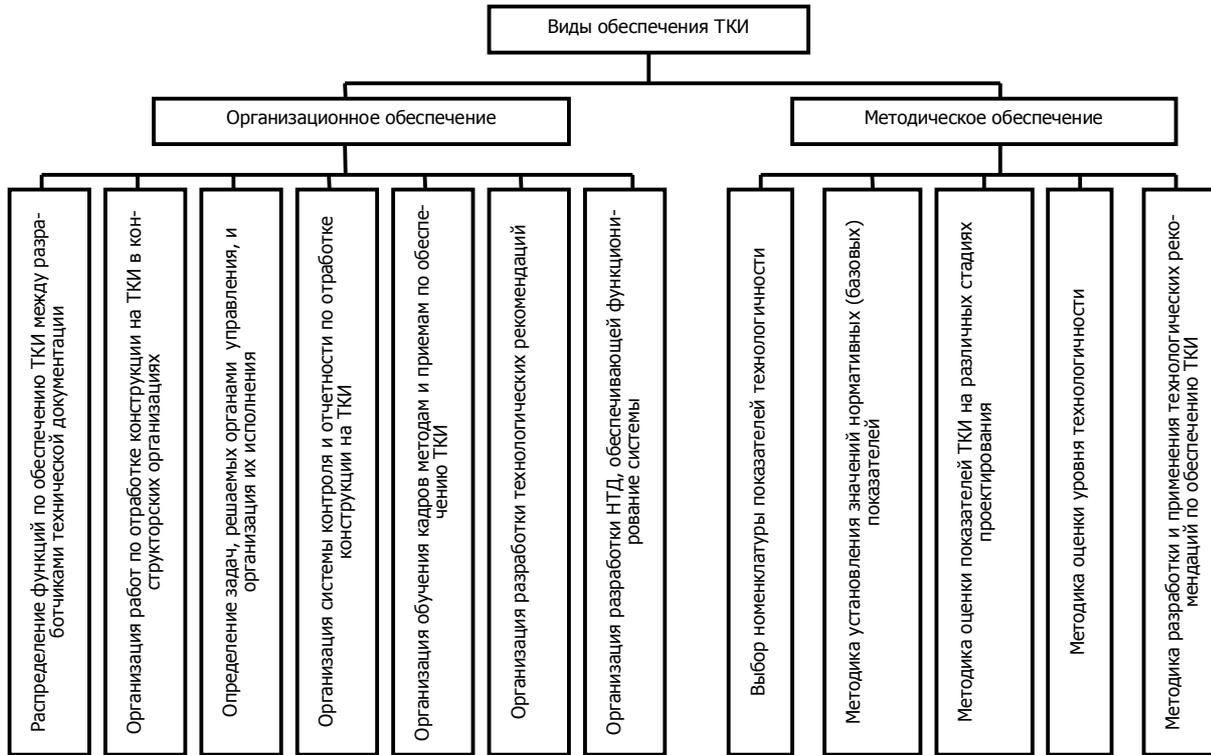


Рис.4.51. Система мероприятий по обеспечению технологичности конструкций

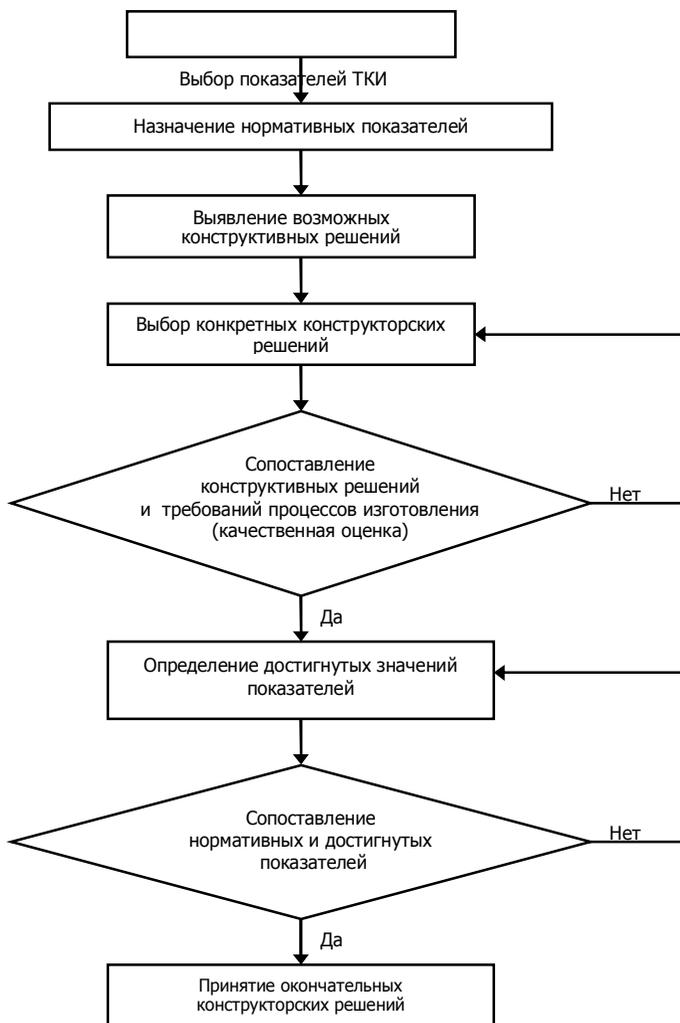


Рис. 4.52. Структурная схема отработки конструкции на технологичность

Для отработки ТКИ конструкторские организации должны выполнять следующие работы:

разрабатывать нормативно-техническую документацию, определяющую значение нормативных (базовых) показателей технологичности по закрепленной за ними номенклатуре изделий;

определять и устанавливать основной технический показатель, относительно которого определяются данные показатели (рис.4.52).

Таким образом, ответственность за соответствие расчетных показателей технологичности нормативным (базовым) на стадии проектирования возлагается на конструкторское подразделение.

Контроль за правильностью исполнения этой работы возлагается на технологические подразделения.

4.8.3. Силовой расчёт

Силовой расчёт машины заключается в определении всех сил, действующих на её рабочие органы и механизмы при переработке продукта. Далее проводится расчёт усилий, действующих на элементы привода, что позволяет разрабатывать конструкции СЕ и деталей.

Исходными данными являются усилия, возникающие в рабочих органах, и инерционные силы кинематических звеньев. Усилия, действующее на рабочие органы, определяются по различным зависимостям, выводимым в курсе "Сельскохозяйственные машины" или определяемым из литературных источников [23, 70,72, 84, 90, 92, 95, 103, 113].

Под силовым расчётом агрегата понимается определение всех сил, действующих на машину, определение реакций на колёса, на прицепное устройство, механизм навески и на трактор.

Пример. Силовой расчёт фрезы

На фрезу в профильной проекции действует сила веса G [64, 69], проходящая через центр тяжести, и сила R_H сопротивления резанию одновременно находящимися в почве ножами (рис. 4.53). Точка приложения силы R_H находится на половине глубины обработки почвы.

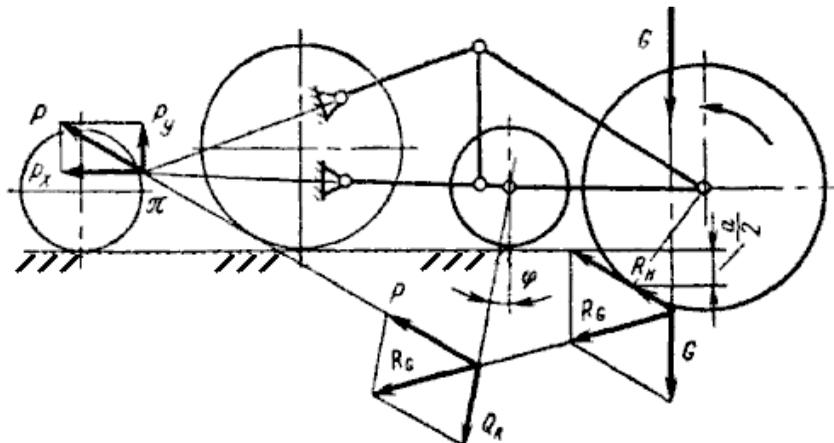


Рис.4.53. Схема сил, действующих на фрезу

Суммированием сил G и R_n , находим силу R_G , которую раскладывается на две составляющие: P и Q_K .

Сила Q_K наклонена под углом φ , зависящем от сопротивления почвы перекатыванию.

Сила P_{xy} проходит через мгновенный центр вращения системы π и является результирующей всех сил, действующих на фрезу в вертикальной плоскости.

Горизонтальная составляющая этой силы P_x при прямом направлении вращения фрезы направлена вперед; при обратном - назад, что в формуле (4.50) отражено знаками плюс и минус.

4.8.4. Обоснование конструкции сборочных единиц и деталей

Разработкой рабочих чертежей конструкций сборочных единиц (СЕ) и деталей (Д) заканчивается подготовка инженерного решения опытного образца изделия. На этом этапе реализуются принципы конструирования по обеспечению: прочности, надежности; экономичности, уменьшения металлоемкости, габаритов, энергоемкости, объема и стоимости обслуживания и ремонтных работ, расходов на оплату труда механизатора; удобств управления, сборки и разборки, которые ранее были заложены при разработке схем и обосновывались в общих чертах.

Изделия при разработке конструкторской рабочей документации подразделяются на:

- специфицируемые (сборочные единицы, комплексы, комплекты) - состоящие из двух или более составных частей;
- неспецифицируемые (детали) - не имеющие составных частей;

- комплекс - два и более специфицированных изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенные для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций. Поскольку проект выполняется по техническому заданию на проектирование машины, то комплекс не входит в содержание проекта.

Комплектом для сельскохозяйственных машин являются запасные части, инструмент, приспособления (ЗИП), предназначенные для проведения технического обслуживания и текущего ремонта в период гарантийного срока.

Каждое изделие имеет свое служебное назначение, которое определяет его форму и содержание. Структура изделия зависит в том числе и от требований к технологичности и надежности. Вопросы надежности изучались в основах конструирования и связаны с прочностью, жесткостью, состоянием контактных поверхностей, точностью изготовления, смазкой и т.д. Методы их обеспечения достаточно хорошо изучены и описаны в соответствующей литературе [3-5, 65, 90, 99].

При разработке СЕ устанавливаются состав, компоновка, форма, основные размеры и сопряжения составляющих ее деталей, техни-

ческие требования, обеспечивающие ее работоспособность,

При разработке Д устанавливаются номинальные размеры и допуски, материал, заготовка и способы её обработки, качество поверхности и технические требования, обеспечивающие ее работоспособность.

Необходимое условие правильного конструирования - постоянно иметь в виду вопросы изготовления и с самого начала придавать деталям технологически целесообразные формы.

Исходными данными для разработки СЕ служат принципиальная и другие схемы, из которых берутся размеры и компоновка основных деталей (передач, рабочих органов и т.д.), конструктивные решения. При разработке Д кроме этого используются чертежи СЕ. Показатели технического задания здесь выполняют роль ограничений.

1. Последовательность разработки СЕ и Д:

- изучение, дополнение и формулирование требований, предъявляемых к СЕ;

анализ конструкции СЕ по схемам на предмет лучшего выполнения возлагаемых на нее функций и соответствия другим предъявляемым требованиям к СЕ;

- внесение при необходимости изменений в схемы машины.

2. Вычерчивание СЕ надо начинать с эскизной компоновки СЕ.

Такое выполнение эскиза СЕ исключает возможность ошибок в увязочных размерах, обеспечивает легкое чтение всех размеров деталей. При этом способе особенно хорошо удается придать деталям плавные очертания, характерные для современного конструирования.

Конструктивное оформление СЕ должно обязательно иметь новизну по сравнению с существующими у прототипов. Полное копирование чужих разработок СЕ в проекте запрещается.

Вынесение на лист чертежа детали с подписью разработчика не должно нарушать авторские права предшественника. Поэтому следует обязательно продумать, какие элементы полезной новизны можно реализовать на чертеже. Здесь полезно воспользоваться списком контрольных вопросов по совершенствованию СЕ [107]:

1. Для чего служит СЕ, если его убрать, то какие функции перестанет выполнять изделие?

2. Как формулируется основная функция СЕ?

3. Сколько функций выполняет СЕ и можно ли их сократить или расширить?

4. Как точнее назвать СЕ, чтобы название отражало существо выполняемой им основной функции?

5. К каким областям техники можно отнести данную СЕ, исходя из выполняемых ею функций. Как там решаются подобные задачи?

6. Каким образом обеспечивается выполнение требуемых функций и можно ли их обеспечить другим способом?

7. Можно ли разделить СЕ на независимые СЕ?

8. Если СЕ разборная, нельзя ли её сделать неразборной?

9. Какой элемент СЕ самый «слабый» и нельзя ли его отделить?

10. Какое конструктивное решение СЕ совершенно очевидно?

11. Что получается, если подвижную деталь сделать неподвижной или наоборот?

12. Какая деталь СЕ самая «главная» и нельзя ли все остальные детали исключить?

13. Если СЕ работает непрерывно, что произойдет, если её работа будет периодичной?

14. Нельзя ли устранить холостой ход в работе СЕ?

15. Какие факторы в работе СЕ являются нежелательными, и есть ли возможность их использовать?

16. Нельзя ли заменить механическую систему электрической, оптической, гидравлической и т. д.?

17. Нельзя ли некоторые технологические операции по изготовлению СЕ выполнить при сборке?

18. Как упростить сборку СЕ?

19. Что получится с изделием, если СЕ будет совершать противоположное действие?

20. Что произойдет, если СЕ повернуть на 90° , на 180° ?

21. Как может измениться СЕ, если от изделия не будет требоваться 100% технического эффекта?

22. Как изменятся характеристики изделия, если объединить некоторое число деталей в СЕ?

23. Что требуется для уменьшения размера СЕ?

24. Как изменится изделие, если предъявлять менее жесткие технические требования к СЕ?

25. Можно ли заменить специальные детали СЕ стандартными?

26. Что требуется для применения более экономичного способа сборки СЕ?

27. Можно ли заменить винтовые, клепаные соединения другими?

28. Какие материалы необходимы для данной СЕ и что произойдет, если их заменить?

29. Чем плоха рассматриваемая СЕ, и что представляет собой «идеальный» вариант данной СЕ?

Ответы на эти вопросы подскажут новые технические решения конструктивного оформления СЕ.

3. Анализ конструкции СЕ по схеме на предмет обеспечения надежности, долговечности [87], технологичности [99].

Основным показателем технологичности является себестоимость изготовления изделия. Она зависит от материалоемкости и трудоемкости изготовления. В основе обоснования конструкции изделия лежит инвариантность, под которой понимают различные пути достижения цели.

Технологичность закладывается с разработки конструкции деталей. Первое, с чем сталкивается конструктор, - это выбор заготовки. Для этого могут использоваться сортаменты, литье, штампованные изделия, штампосварные соединения [35, 98]. В ряде случаев для выбора вариантов достаточно априорной информации. Например, вал изготовляют из круга, при этом вал большей длины с обрабатываемой поверхностью из холоднотянутого круга по ГОСТ 7417-75* и т. д.

Однако чаще всего технологичность требует анализа. Для анализа вариантов необходимо наличие самих вариантов, т.е. наличие чертежа каждого варианта. Чертеж дает информацию о массе детали или деталей, вошедших в изделие, точности изготовления, следовательно, о виде обработки [67], требованиях к поверхности (цементация, азотирование, закаливание и пр.). Это позволяет иметь сведения о материалоемкости, перечне операций обработки и, в соответствии с размерными характеристиками, трудоемкости каждой операции.

Кроме укрупненных нормативов, для определения материалоемкости могут быть использованы методы расчета по припускам [17,75, 79], [см. раздел 6.3.3].

Для определения трудоемкости изготовления детали могут также использоваться нормативы, обобщающие опыт, содержащиеся в специальной и справочной литературе [61], используемой нормировщиками. При отсутствии таких данных трудоемкость может быть определена по затратам станочного времени по известным формулам, используя подачу, глубину и скорость.

В ряде случаев достаточно сравнить материалоемкость и трудоемкость вариантов и выбрать тот, которому соответствует минимум этих показателей. Однако в тех случаях, когда присутствуют сборочные операции типа сварки, пайки, склеивания и т. д., этого недостаточно из-за их высокой трудоемкости. Здесь требуется определение себестоимости изготовления каждого варианта изделия и взаимное сравнение. Предпочтение *отдается* варианту, обладающему минимумом себестоимости. Для расчета себестоимости используется дополнительная информация о стоимости материала, квалификации рабочих (разряд), тарифной ставке. Обычно анализа деталей бывает достаточно для сборочной единицы, так как здесь имеет место принцип суперпозиции. Данные для анализа с целью наглядности и удобства целесообразно представлять в виде таблиц.

4. Выполнение расчетов, связанных с определением усилий, действующих на СЕ и в отдельных её частях с учетом режима нагружения, расчет на прочность, жесткость, долговечность см. в [46, 66].

Следует учитывать возможность выхода из строя наиболее нагруженных деталей СЕ и принимать меры к предупреждению поломок и предотвращения вызываемых ими серьезных аварий, а такие меры против повреждения хрупких элементов деталей, возможности неправильного обращения. Неправильное обращение должно быть исключено конструктивными мерами - вводом блокирующих устройств. Рекомендации по обеспечению надежности, технологичности, ремонтпригодности приведены в табл.4.25. Полно эти вопросы рассмотрены в специальной литературе [5, 66, 67, 79, 88 и др.].

5. Внесение соответствующих изменений в схемы машины, оценка рациональности силовой схемы, вида нагружения, выбора нагруженного сечения, степени равнопрочности составных частей, компактности конструкции, способа фиксации деталей и точности их взаимного расположения, принятие окончательного решения.

6. Формулировка технических требований, обеспечивающих работоспособность СЕ.

7. Выбор масштаба, обозначение габаритов, размеров и прорисовывание осевых линий и основных элементов конструкции СЕ. Выполнение чертежа СЕ лучше всего вести в масштабе 1:1, если допускают габариты проектируемого объекта. При этом легче выбрать нужные размеры и сечения Д, составить представление о соразмерности частей СЕ, прочности к жесткости конструкции в целом.

8. Выполнение этапов 2-7 применительно к разработке каждой Д.

9. Выполнение чертежей СЕ по ГОСТ 2.109-73 и Д по ГОСТ 2-109-73 с приведением необходимых размеров, технических требований и составлением спецификации на сборочные единицы.

На чертежах СЕ представляется три типа размеров: рабочие размеры, которые выдерживаются или выполняются в процессе сборки; технологические - размеры, необходимые для выбора оборудования, приспособлений и необходимого места для сборки (посадки, габаритные размеры и др.) и присоединительные (параметры мест крепежа СЕ, шкивов, диаметры выходных валов и др.)

Приведенная последовательность не является единственно возможной. Техника разработки СЕ и Д представляет собой процесс непрерывных поисков, проб, прикидок, разработки вариантов, их сопоставления, отбраковки негодных. Часть работ проводятся параллельно, например, эскизная компоновка и расчеты. В процессе разработки СЕ необходимо проводить расчеты сначала ориентировочные и приближенные, затем уточняющие и проверочные.

Трудоемкость изготовления СЕ и Д является одним из объективных показателей технологичности конструкции. Прежде всего трудоемкость зависит от совершенства конструкции СЕ и Д. Сложность кон-

фигурации, точность изготовления, чистота поверхности должны быть минимально допустимыми. Поэтому уже на этом этапе целесообразно провести проработку СЕ и Д, определив изменения, вносимые в их конструкцию. В то же время рост затрат на изготовление деталей, определяющих надежность СЕ, дает выигрыш в результате увеличения суммарной полезной отдачи машины, уменьшения простоев и стоимости ремонтов. Нельзя применять без оговорок во всех случаях наиболее дешевые материалы и способы изготовления, допустимые по функциональному назначению Д. Для обеспечения выполнения технических требований ТЗ существуют различные приемы (табл. 4.23, 4.24), правильное использование которых возможно при знании по общепринятым и специальным дисциплинам.

Таблица.4.23

Приёмы обеспечения технических требований для СЕ

№ п/п	Свойства основные и соподчинённые	Способы обеспечения
1	2	3
1.1.	Надёжность Равнопрочность	
	1.1.1. Статическая	Выбор рациональной схемы нагружения. Применение предварительно напряжённых конструкций. Замена деформаций изгиба и кручения на деформации растяжения-сжатия. Усиление нагруженных Д*, устранение Д – концентраторов напряжений.
	1.1.2. Усталостная	Снижение частоты, амплитуды циклов нагружения. <i>Например</i> , применение вместо колёс с жестким ободом пневматических колёс, замена колебательного движения на вращательное и т.д Введение упругих связей между Д, устранение или уменьшение зазоров в сочленениях, уменьшение инерционных нагрузок путем снижения массы СЕ, уравнивания, точности изготовления.
	1.1.3. Контактная	
1.2.	Жесткость	
	1.2.1. Изгибная	Выбор рациональной формы сечений, создание компактных СЕ, уменьшение расстояний между опорами, избежание консолей, блокирование деформаций диагональными и поперечными жесткостями.
	1.2.2. Крутильная	

Продолжение табл.4.23

1	2	3
1.3.	Износостойкость	
	1.3.1. Механическая при абразивном износе, трении скольжения.	Подбор материалов трущихся пар, уменьшение давления на поверхности трения. <i>Например</i> , при малых скоростях и больших нагрузках обе поверхности должны быть твердыми, а при движении с большими скоростями в присутствии смазки - сочетание твердой поверхности с мягкой. Увеличение площади контакта, периодическая или автоматическая компенсация износа, применение закрытых передач с жидкостным трением.
	1.3.2. Химическая (коррозионная)	Применение коррозионно-стойких материалов, химически стойких пластиков, окраска, гальванические покрытия: хромирование; оцинкование; никелирование; омеднение; осаждение химических пленок; фосфатирование; оксидирование; нанесение полимерных пленок.
1.4.	Защищенность	
	1.4.1. Техническая	Конструктивное обеспечение предохранения СЕ при неправильном обращении, случайных перегрузках, исключение возможности неправильной сборки, т.е. обеспечение конструктивными мерами сборку деталей только в необходимом положении. Исключить попадание инородных тел в механизмы и передачи, применение защитных кожухов. Обеспечение страховки резьбовых соединений от самоотвинчивания, фиксация внутренних соединений методами позитивного стопорения (шплинты, отгибные шайбы).
	1.4.2. Защита окружающей среды	Предусмотреть герметичность, фильтрацию загрязненной среды (воздуха, воды) при выходе из СЕ, снижение разрушающего воздействия на почву, деревья и другие объекты окружающей среды.
	1.4.3. Защита оператора	Обеспечение СЕ "Единых требований" за счет самой конструкции: блокировка от неправильного или случайного включения; закрытие и предупреждающая окраска; подвижных частей; применение мал шумных механизмов и передач; блокировка источников вибрации и шума герметизацией, упругой подвеской, поглощающей изоляцией.
1.5.	Ремонтопригодность	Конструирование СЕ в расчете на безремонтную эксплуатацию в течение всего срока работы.

Продолжение табл.4.23

1	2	3
	1.5.1. Сборность-разборность	Предусмотрение в СЕ мест для установки съёмников и другого демонтажного инструмента, пазов для разъединения точно подогнанных и с применением герметизирующих составов и прокладок, деталей Д. Применение разъёмных соединений в СЕ, подлежащих частой замене, регулировке, восстановлению. Использование направляющих штифтов, регулировочных прокладок и компенсаторов для сборки и регулировки после ремонта. Более легкоъемные -и доступные из Д, входящих в трущиеся пары, конструировать более простыми в изготовлении и из более легкого материала и наоборот.
	1.5.2. Агрегатность	Соединение Д в первичные СЕ агрегаты. Конструирование СЕ в виде независимых агрегатов, отдельно собираемых и регулируемых для комплексной замены СЕ новыми. Применение унифицированных СЕ и агрегатов.
2.	Технологичность	
2.1	Стандартизация и нормализация	Унификация - наиболее распространенный и эффективный метод стандартизации. Применение приемов конструирования, создающих условия для унификации (унификация стандартизации) секционирование базового агрегата, модификация, компаундирование, конвертирование. Не применять оригинальных Д там, где можно обойтись стандартными или нормализованными, заимствованными и покупными СЕ, многократное их использование для всей конструкции, добиваясь максимального сокращения номенклатуры: материалов; видов отделочных операций; гальванических покрытий; типов сварки; форм сварных швов и др. Унифицируются посадки, резьбы, шлицевые и шпоночные соединения и т.д.
2.2.	Легкосборность	Соблюдение требований унификации (см. п.2.1), защищенности (см. п.1.4) и агрегатности (см. п.1.5.2). Исключение подгоночных работ при сборке и установке Д по месту. Предусмотрение удобного прохода монтажного инструмента, возможность применения механизированного инструмента, автоматизированной сборки. Обеспечение правильной последовательности установки нескольких Д на одну Д, избегать посадки с натягом нескольких Д по одному диаметру. Устранение регулировок путем расчета размерных цепей. Предусмотрение сборочных баз для однозначной фиксации собираемых Д (пазов, буртиков и др.). Выполнение :на Д фасок, направляющих конусов, повышение точности изготовления посадочных размеров. Применение прогрессивных методов соединений (точечной сварки взамен заклепок к. др.) Обеспечение такелажирования тяжелых СЕ и Д.

Окончание табл.4.23

1	2	3
2.2.	Малая металлоемкость (материалоемкость), удельная металлоемкость	Применение рациональных кинематических и силовых схем. Использование путей повышения прочности СЕ для снижения металлоемкости. Выполнение СЕ с большей компактностью. Применение вместо одной Д облегченной составной конструкции, например, замена литого корпуса штампованным.
2.3.	Эксплуатационная технологичность	Снижение количества операций техобслуживания СЕ, устранение периодической смазки путем применения централизованной смазки, подшипников разовой смазки и металлокерамических, капроновых, фторопластовых втулок и др. Устранение периодических регулировок, выполнение механизмов самоустанавливающимися и самообслуживающимися СЕ. Механизм, нуждающийся в периодической проверке, делать доступным и удобным для осмотра. Предусмотреть периодичность обслуживания СЕ, кратную целому числу сезонов работы, автоматический контроль за состоянием работоспособности наиболее ответственных СЕ. Обеспечение сохранности техники в свободное от работы время, снижение работ по консервации. Выполнение эргономических и требований ТБ в процессе эксплуатации.

*Д – деталь, СЕ – сборочная единица.

Таблица 4.24

Приёмы обеспечения технических требований для деталей

№ п/п	Свойства основные и соподчинённые	Способы обеспечения
1	2	3
1.1.	Надёжность Равнопрочность	
	1.1.1. Статическая	Применение высокопрочных материалов для ответственных Д*, упрочняющих методов обработки (дорнования, обработка роликами, накатка резьбы, дробеструйная обработка и др.) и изготовления (центробежное литье, горячая штамповка, ковка). Химико-термическая обработка: азотирование; цементация; цианирование; поверхностная закалка. Поверхностная упрочняющая обработка. Увеличение чистоты поверхности. Усиление нагруженных участков Д, устранение концентраторов напряжений, применение галтелей и фасок.
	1.1.2. Усталостная	Конструирование Д с учетом циклической или контактной нагрузок.

Продолжение табл.4.24

1	2	3
	1.1.3. Контактная	Увеличение контактирующей площади.
1.2.	Жесткость	
	1.2.1. Изгибная	Профилирование тонкостенных Д, скруглений переходов, оребрение, образование сводчатых форм, усиление участков действия сил, отбортовка и чеканка кромок.
	1.2.2. Крутильная	
1.3.	Износостойкость	
	1.3.1. Механическая при абразивном износе, трении скольжения.	Химико-термическая обработка для повышения поверхностной твердости: бериллизация, диффузионное хромирование, борирование, борцианирование, наплавление твердыми сплавами. Улучшение антифрикционных свойств фосфатированием, графитизированием, сульфидированием.
	1.3.2. Химическая (коррозионная)	Применение коррозионно-стойких материалов, химически стойких пластиков, окраска, гальванические покрытия: хромирование; оцинкование; никелирование; омеднение; осаждение химических пленок; фосфатирование; оксидирование; нанесение полимерных пленок.
1.4.	Защищенность	
	1.4.1. Техническая	Защита тонких ребер, притупление острых кромок, снятие фасок. Д, подвергавшиеся ударам, не изготавливать из излишне хрупкого или пластичного материала. Защита Д от воздействия внешней среды, агрессивных сред. Правильный выбор материала Д. Использование в конструкции Д принципов самоочистки, самозатачива-ния, самоустановки
	1.4.2. Защита окружающей среды	
	1.4.3. Защита оператора	Снижение массы сменных Д до установленных пределов, применение безопасных деталей: стекол с пластиковой связкой; закругленной обшивки, рифленых ступенек; рукояток. Замена металлических зубчатых колёс, втулок пластмассовыми.
1.5.	Ремонтопригодность	
	1.5.1. Сборность-разборность	Выполнение трущихся поверхностей непосредственно на корпусах больших Д и включение их в отдельные легкосъёмные Д. Диагностика должна проводиться без снятия СЕ с машины до полной разборки. Сохранность установочных баз у Д, обрабатываемых при восстановлении; в конструкции Д предусматривается возможность и способ ее восстановления.

Продолжение табл.4.24

1	2	3
	1.5.2. Агрегатность	Комплексная замена изнашиваемых Д (комплекты поршневых колец, ремней) Унификация деталей -рациональное сокращение числа объектов одинакового функционального назначения Блочность – разбиение конструкции на автоматически собираемые блоки.
2.	Технологичность	
2.1	Стандартизация и нормализация	Применение ряда предпочтительных чисел (ГОСТ 8032-56) и рядов нормальных линейных размеров (ГОСТ 6536-69) при конструировании элементов деталей. Использование наиболее употребительных в с.-х. машиностроении диаметров, модулей зубьев, шага цепей и т.д. Обеспечение взаимозаменяемости деталей.
2.2.	Легкосборность	Соблюдение требований унификации и агрегатности. Исключение подгоночных работ при сборке и установке Д по месту. Предусмотрение удобного прохода монтажного инструмента, возможность применения механизированного инструмента, автоматизированной сборки. Обеспечение правильной последовательности сборки нескольких Д на одну Д, избегать посадки с натягом нескольких Д по одному диаметру. Устранение регулировок путем расчета размерных цепей. Предусмотрение сборочных баз для однозначной фиксации собираемых Д (пазов, буртиков и др.). Выполнение на Д фасок, направляющих конусов, повышение точности изготовления посадочных размеров. Применение прогрессивных методов соединений (точечной сварки взамен заклепок и др.). Обеспечивание такелажирования тяжелых СЕ и Д.

Окончание табл.4.24

1	2	3
2.3.	Малая металлоемкость (материалоемкость), удельная металлоемкость	Использование путей повышения прочности Д для снижения металлоемкости. Конструирование Д с рациональными профилями применительно к данному виду нагружения. Уменьшение массы ненагруженной части Д, удаление слабонагруженного металла из центра сечения, удаление лишнего металла (применение треугольных фланцев взамен круглых дает уменьшение массы на 15%), выбор профиля в соответствии с характером нагрузки (так, масса трубы со скважностью 0,95 составляет только 20% массы равнопрочного сплошного вала), профилирование листовых Д позволяет уменьшить их
		толщину на 30-60%. Установление минимально необходимой прочности Д. Предусмотрение изготовления Д из заготовок с формой, близкой к окончательной. Выбор рационального метода изготовления (литьё, формовка-вытяжка, гибка профильного проката, штамповка на прессах и т.п.)
2.4.	Эксплуатационная технологичность	Придание корпусным рамным каркасам и щитковым Д плавных, гладких и простых форм, облегчающих уход, содержание СЕ и их внешний вид. Предусмотрение защиты Д от коррозии (см. п. 1.2).

*Д – деталь, СЕ – сборочная единица.

Итак, надо уметь подобрать режим термообработки для определенной стали, знать свариваемость металлов, применимость разъёмных соединений и неразъёмных, уметь считать размеры цепи, назначать допуски, правильно выбрать способ получения заготовки (табл. 4.24) и др.

Подобный банк знаний, упрощенной моделью которой могут служить табл. 4.23 , 4.24, накапливается у студентов к 5-му курсу, позволяет целенаправленно выбирать конструктивные решения, оптимальные со всех точек зрения, а в сложных случаях быстро ориентироваться в справочной литературе.

Некоторые приемы обеспечивают улучшение сразу нескольких технических показателей. Так, унификация улучшает сборность и разборность СЕ, снижает номенклатуру материалов, инструмента и оборудования в процессе изготовления, эксплуатации и ремонта, что в свою очередь предопределяет улучшение технологичности и повышение надежности СЕ. Подобные примеры необходимо знать и применять при конструировании СЕ и Д.

4.8.5. Расчёты на прочность

На прочность рассчитываются основные элементы конструкции (различные механические передачи, разъемные и неразъемные соединения, муфты, передачи, валы и оси, подшипники и т. д.) [1, 46, 66]. Эти расчеты проводят с двоякой целью:

а) для определения оптимальных конструктивных размеров различных узлов и деталей машин или аппарата, обеспечивающих при минимальных расходах материала прочность, надежность и долговечность конструкции;

б) для проверки равнопрочности и ресурса окончательно сконструированных деталей узлов машины.

В первом случае расчёты проводят по необходимости. Проверочный расчёт на равнопрочность, исходя из задаваемого ресурса работы ответственных деталей, в проекте обязателен. Он проводится на окончательной стадии проектирования, когда все узлы и детали окончательно разработаны.

Условие равнопрочности и равной долговечности элементов является важным показателем совершенства конструкции. Наличие в конструкции хотя бы одного недостаточно прочного или недостаточно долговечного элемента снижает надежность конструкции в целом. На практике встречаются случаи, когда различные элементы конструкции рассчитывают на различную долговечность или на различный ресурс наработки до предельного состояния. Например, валы, как правило, рассчитывают на неограниченный, а подшипники на ограниченный ресурс. Но расчет подшипников на большой ресурс приводит к неоправданному завышению массы и габаритов конструкции в целом. Противоречие снимают допущением замены подшипников при очередных плановых ремонтах. Долговечность (ресурс работы) подшипника выбирают, исходя из длительности межремонтного цикла.

Ограниченный ресурс имеют цепи, ремни и некоторые другие элементы. Важно, чтобы ни один из этих элементов не выходил из строя раньше намеченного срока очередного планового ремонта.

Проверочные расчёты каждого рассчитываемого элемента распадаются на три принципиально отличающихся этапа:

1) разработку расчётной схемы нагружения; такая схема предусматривает какую-либо степень абстрагирования от конкретных условий работы детали; принимается в результате анализа реальной картины нагружения, введения системы разумных допущений; используется информация разного рода - экспериментальная (что достаточно редко), мнения специалистов, теоретические представления, использование аналогий; по характеру этот этап носит больше творческий эвристический характер;

2) определение величин нагрузок; используются в первую очередь результаты силовых расчётов машины, формулы и соотноше-

ния для сил сопротивления и нагрузок из курсов специализаций типа «Теория и расчёт уборочных машин» и др.; такой этап может выполнять только специалист, хорошо знающий предметную область;

3) собственно расчёт напряжений и деформаций детали по известной картине нагружения на основе законов теории упругости; этап достаточно подробно формализован и методически проработан в курсах «Детали машин» и «Сопротивление материалов».

Следует отметить ответственный характер первого этапа. Неучёт какой-либо нагрузки, принятие грубых упрощений обесмысливает остальные два этапа, приводит к неверным выводам о прочности и достаточности надёжности всей спроектированной машины и является источником всех проблем при использовании и эксплуатации машины от простых износов и поломок до тяжёлых аварий. В результате хорошая идея, заложенная в конструкции машины, не получает хорошей репутации у потребителя и судьба такой разработки печальна. Поэтому на этом этапе следует максимально избегать грубых упрощений в оценке картины нагружения детали.

Если на первых двух этапах разработчик не допустил принципиальных искажений картины и интенсивности нагружения, то третий этап – собственно расчёт – дело техники – выполняется без проблем.

Ниже приведены методики проверочного расчета различных деталей и узлов машин. Необходимые расчетные формулы даны в учебниках по курсу «Детали машин» и соответствующих справочниках [5, 46, 66, 67] .

Механические передачи. *Прямозубые и косозубые цилиндрические и прямозубые конические передачи.* Задают или выбирают число зубьев зацепляющихся колес в соответствии с кинематическим расчетом и конструктивными соображениями. Минимальное возможное число зубьев колеса - 17.

Задают (для ненагруженных передач) или определяют расчетом на прочность модуль зацепления передачи m (в мм), округляя его до ближайшего большего значения. Предпочтительный ряд модулей: 1; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16; 20.

Для косозубых передач еще определяют торцовый модуль, зная угол наклона зубьев на делительном цилиндре ($\theta=8-22^\circ$).

Для конических передач задают по конструктивным соображениям угол между осями колес.

Определяют:

- диаметры делительных окружностей колес;
- межосевое расстояние между колесами;
- угол делительного конуса колес;
- диаметры окружности выступов колес;
- длину образующей делительного конуса.

Задают по конструктивным соображениям ширину зубчатого венца колеса. Допускается подбирать ширину зубчатого венца колеса b (в мм) по следующим соотношениям:

$$\text{для прямозубых колес } b = (2-6) m;$$

$$\text{для косозубых колес } b = (5-10) m;$$

$$\text{для конических колес } b = (0,25-0,3) L,$$

где m - нормальный модуль зацепления, мм; L - длина образующей делительного конуса, мм.

Производят проверку на прочность зубчатой пары по допускаемому напряжению изгиба и допускаемому контактному напряжению для материала зуба колес. В случае получения неудовлетворительного результата увеличивают величину модуля или ширину зубчатого венца колеса, а иногда и то и другое вместе. Затем проводят повторный расчет зубчатой пары по вышеизложенной методике.

Червячные передачи. Задают или выбирают число заходов червяка и число зубьев червячного колеса в соответствии с кинематическим расчетом и конструктивными соображениями. Следует помнить:

- точность однозаходных червяков обычно выше точности многозаходных;
- число заходов червяка больше четырех применять не рекомендуется;
- число зубьев червячного колеса должно находиться в пределах от 30 до 70 (оптимальный режим работы пары).

Задают (в ненагруженных передачах) или определяют расчетом осевой модуль зацепления, округляя его до ближайшего большего значения. Предпочтительный ряд модулей: 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10.

Определяют условный угол обхвата червячного колеса. Допускается подобрать угол обхвата (в град) по следующим отношениям:

- для силовых передач 90-120;
- для неответственных передач 60-90;
- для несилевых ответственных передач 45-60.

Определяют коэффициент q , учитывающий число модулей в диаметре делительной окружности червяка. Допускается использовать

табличные значения коэффициентов q : 8; 10; 12,5; 16; 20; 25.

Определяют:

- диаметры делительных окружностей колеса и червяка;
- межосевое расстояние между колесом и червяком;
- диаметры окружностей выступов червяка и колеса;
- длину нарезной части червяка;
- ширину червячного колеса.

Производят проверку на прочность зубчатой пары по допускаемому напряжению изгиба и контактному напряжению для материала зубчатой пары.

Цепные передачи. Задают или выбирают:

- число зубьев звездочек в соответствии с кинематическим расчетом и конструктивными соображениями. Минимально возможное число зубьев звездочки $Z_{\min}=9-11$;

- шаг применяемой цепи t (в мм) в зависимости от частоты вращения меньшей звездочки и числа ее зубьев. Необходимо иметь в виду, что с увеличением шага цепи увеличивается неравномерность движения привода и возрастают ударные нагрузки. Выбранную втулочно-роликовую цепь проверяют на работоспособность по числу ударов звена в секунду, которое определяют после нахождения количества звеньев цепи;

- межосевое расстояние между звездочками.

Определяют:

- скорость набегания цепи на звездочку или среднюю скорость цепи;

- количество звеньев цепи, значение которого желательно округлять до ближайшего четного числа.

Уточняют расчетное межосевое расстояние между звездочками.

Определяют нагрузку на валы и опоры звездочек.

Производят проверку выбранной цепи по допустимым удельным давлениям в шарнирах и разрывному усилию.

Определяют номинально допустимую мощность, передаваемую рассчитанной цепной передачей.

Ременные передачи. Задают или выбирают:

- диаметры шкивов в соответствии с кинематическим расчетом и конструктивными соображениями;

- межосевое расстояние между шкивами в соответствии с конструктивными соображениями.

Определяют:

- угол обхвата меньшего шкива ремнем - для плоскоремennых передач минимальный угол обхвата 150° , для клиноремennой передачи минимальный угол обхвата 120° ;
- длину ремня - для клиноремennой передачи расчетную длину ремня округляют до ближайшего стандартного значения, после этого определяют окончательно межосевое расстояние;
- ширину ремня для плоскоремennой передачи;
- допускаемую мощность, передаваемую ремennой передачей;
- сечение и количество клиновых ремней в зависимости от передаваемой мощности и их скорости;
- число пробегов приводных ремней в единицу времени для обеспечения нормальной долговечности.

Грузовые или ходовые винтовые передачи.

Определяют (ориентировочно):

- внутренний диаметр винта по пониженному (примерно на 30%) допускаемому напряжению;
- шаг винта из условия, что должно быть самоторможение винта, т.е. угол подъема винтовой линии должен быть меньше угла трения в зацеплении.

Проверяют:

- прочность винта на совместное действие сжатия и кручения по допускаемому приведенному напряжению;
- на устойчивость винта (продольный изгиб) по формуле Эйлера при условии, что гибкость стержня больше предельной, т.е. $4l/d > 100$ (для стали), где l — длина стержня (в м), d - наружный диаметр винта (в м). При гибкости меньше предельной винт проверяют по критическому напряжению, при гибкости меньше 60 расчет на устойчивость не производят.

Определяют:

- высоту гайки;
- условие, необходимое для подъема груза (для грузового винта), и скорость перемещения гайки.

Храповые передачи. Предварительно определяют или задаются числом зубьев храпового колеса в соответствии с необходимым углом поворота храпового колеса за один кинематический цикл механизма.

Определяют:

- фактический угол поворота храпового колеса;
- ширину зубчатого венца храпового колеса;
- модуль храпового колеса, округляя его до нормального;
- диаметр окружности выступов храпового колеса.

Проверяют храповую передачу на линейное удельное давление. В случае получения неудовлетворительного результата увеличи-

вают модуль или ширину зубчатого венца храпового колеса, а иногда и то и другое вместе. Затем проводят повторный расчет передачи по вышеописанной методике.

Разъемные и неразъемные соединения.

Шпоночные соединения. Выбирают по конструктивным соображениям тип, сечение и количество шпонок. Если на валу имеется ряд шпонок, которые установлены на различных по диаметру ступенях вала, то рассчитывают шпонку на ступени наименьшего диаметра.

Проверяют:

- призматическую шпонку на смятие рабочих граней и на срез в опасном сечении;
- сегментную шпонку на смятие выступающей части и на срез в опасном сечении;
- торцовую шпонку на смятие ее узкой грани;
- цилиндрическую шпонку на срез диаметрального сечения и на смятие боковой поверхности.

В случае получения неудовлетворительного результата при проверке выбранной шпонки увеличивают сечение или количество шпонок и повторяют проверочные расчеты.

Шлицевые соединения. Выбирают по конструктивным соображениям тип шлицевого соединения. Проверяют боковые поверхности зубьев шлицевого соединения на смятие.

Заклепочные соединения. Выбирают по конструктивным соображениям тип, сечение и количество заклепок. Проверяют заклепки по допускаемым усилиям в соединении. В зависимости от типа нагружения расчет соединения может быть на смятие, срез и растяжение.

Сварные соединения. Выбирают по конструктивным соображениям тип сварного шва и его основные размеры. Подбирают для электросварки тип электрода в зависимости от материала свариваемых деталей и условий процесса сварки (ручная, автоматическая сварка).

Проверяют сварные соединения на допускаемое напряжение в зависимости от типа соединения деталей. Кроме того, при действии на сварное соединение изгибающего момента и продольной силы условие прочности находят из расчета нормальных или касательных напряжений в сварном шве.

Резьбовые соединения. Выбирают по конструктивным соображениям тип болта или винта, их диаметр и количество в соединении. Проверяют прочность элементов соединения в зависимости от условий нагружения на растяжение или сжатие, на срез и смятие.

Усилие, действующее на болты или винты в клеммных соединениях, рассчитывают из условия, что момент трения в клеммном

соединении должен равняться внешнему моменту или для надежности быть больше последнего примерно на 20%. Далее из уравнения прочности болта и винта, работающего на растяжение, определяют его размер.

Усилие, действующее на винты или болты во фланцевом соединении, определяют как сумму усилия от давления среды, открывающего крышку от фланца и силы нормального давления на прокладку, обеспечивающую плотность и герметичность соединения. Далее определяют усилие, приходящееся на один болт, и из уравнения прочности болта или винта, работающего на растяжение, определяют его диаметр.

Валы и оси.
Валы. Задают диаметры вала по конструктивным соображениям.

Далее проверяют вал расчетом на прочность и жесткость, так как вал, рассчитанный только на прочность, может не обеспечить нормальной работы зубчатых колес и подшипников, если под действием передаваемых усилий он будет чрезмерно деформироваться.

Определяют:

- крутящий момент на валу с учетом КПД и окружной скорости;
- силы, действующие на вал и подшипники (составляют расчетную схему нагружения вала);
- реакции в опорах в двух взаимно перпендикулярных плоскостях и полные реакции;
- изгибающий момент в опасном сечении (строят эпюры моментов);
- диаметр вала из расчета на прочность;
- угол наклона упругой линии в расчетном сечении в двух взаимно перпендикулярных плоскостях и суммарный угол;
- прогиб в расчетном сечении в двух взаимно перпендикулярных плоскостях и суммарный прогиб.

Сравнивают допустимое значение угла наклона упругой линии и величины прогиба вала в расчетном сечении с расчетными и принимают решение о пригодности вала к эксплуатации.

Оси. Задают диаметр оси по конструктивным соображениям.

Проверяют диаметр выбранной оси только из расчета прочности на изгиб.

Муфты. Задают тип муфты в соответствии с конструктивными соображениями и условиями эксплуатации.

Подбирают конструктивные размеры муфт обычно по таблицам в справочном материале в зависимости от диаметра соединяемых валов и допускаемого крутящего момента, передаваемого муфтой.

Проверяют:

- для втулочных муфт - на срез штифты, шлицы или шпонки, используемые для передачи крутящего момента;
- для фланцевых муфт - болты, шпильки или пальцы, передающие крутящий момент. Черные болты (поставленные с зазором) -

на растяжение, а если используются чистые болты (поставленные без зазора) — на срез.

Для зубчатых муфт пока нет надежной методики их расчета. Однако Госстандарт рекомендует выбирать зубчатые муфты по наибольшему диаметру концов соединяемых валов с последующей проверкой по формуле

$$K_1 K_2 \leq M_{\max} / M_0 ,$$

где M_{\max} — максимальный крутящий момент, который способна передать муфта, Н·м; M_0 - максимальный длительно действующий на соединяемых валах крутящий момент, Н·м; K_1 - коэффициент ответственности передачи (выбирается в зависимости от того, что вызывает поломка муфты. Например, при остановке машины - 1,0; при аварии машины - 1,2; при аварии ряда машин - 1,5; при человеческих жертвах - 1,8); K_2 - коэффициент условия работы муфты (выбирается в зависимости от режима работы механизма. Например, спокойная работа равномерно нагруженных механизмов - 1; работа неравномерно нагруженных механизмов - 1,1-1,3; тяжелая работа с ударами неравномерно нагруженных и реверсивных механизмов - 1,3-1,5).

Подшипники.

Подшипники скольжения.

Определяют:

- окружную скорость шейки вала для радиальных подшипников, а для упорных - скорость точки, находящейся от оси вращения на расстоянии $2/3$ радиуса пяты;

- удельное давление в подшипнике по действующему на него усилию и его конструктивным размерам.

Производят проверку расчетного значения удельного давления в подшипнике по допускаемому значению.

Определяют произведение удельного давления на окружную скорость вала и проверяют его по допустимому значению.

Подшипники качения. Подбирают тип подшипника, исходя из условий эксплуатации и конструкции конкретного подшипникового узла в соответствии с размерами и основными характеристиками подшипников.

Определяют:

- условную нагрузку, которая учитывает как характер и направление действующих нагрузок, так и особенности кинематики и температуру узла;
- коэффициент работоспособности подшипника по эмпирическому уравнению.

Подбирают по таблицам номер подшипника, соответствующий рассчитанному коэффициенту работоспособности.

Пример. Расчёт вала барабана.

Исходные данные:

крутящий момент $T_{кр}$ 23,5 Нм;

составляющие окружные усилия на шкиве:

F_{tY}^1 605 Н;

F_{tZ}^1 85 Н;

окружное усилие на барабане F_t^2 486 Н.

Выполняем эскизную компоновку вала (рис.4.54).

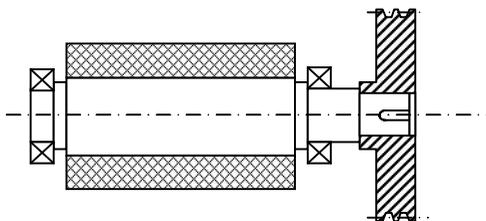


Рис. 4.54. Эскизная компоновка вала

Строим схему действующих на вал сил (рис.4.55).

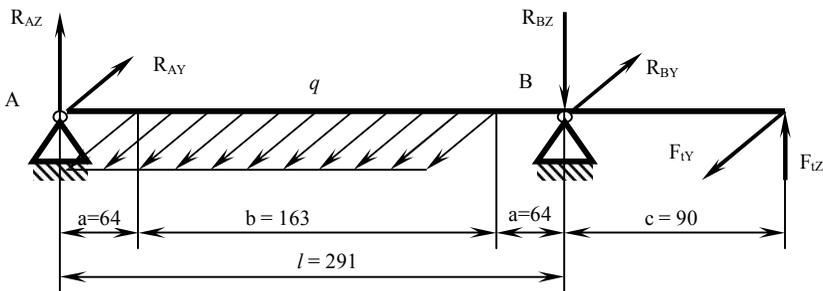


Рис.4.55. Схема действующих на вал сил

Определение опорных реакций

Окружное усилие барабана $F_t^2_{сум}$ равномерно распределяется на валу. Тогда распределённая нагрузка определяется по формуле:

$$q = \frac{F_t^2}{b},$$

где b - длина барабана.

$$q = \frac{486}{163} = 2,982 \text{ Н/мм.}$$

Опорные реакции от сил F_b и q в соответствующих плоскостях:
- в плоскости Y

$$\sum M_{AY} = 0; \quad F_B^Y \cdot (l+c) + \frac{q \cdot b \cdot (2a+b)}{2} \cdot R_{BY} \cdot l = 0,$$

отсюда

$$R_{BY} = \frac{2 \cdot F_B^Y \cdot (l+c) + q \cdot b \cdot (2a+b)}{2l} =$$

$$= \frac{2 \cdot 605 \cdot (291+90) + 2,982 \cdot 163 \cdot (2 \cdot 64 + 163)}{2 \cdot 291} = 1035,1 \text{ Н}$$

$$\sum M_{BY} = 0; \quad F_t^Y$$

отсюда

$$R_{AY} = \frac{q \cdot b \cdot (2a+b) - 2 \cdot F_t^Y \cdot c}{2 \cdot l} =$$

$$= \frac{2,982 \cdot 163 \cdot (2 \cdot 64 + 163) - 2 \cdot 605 \cdot 90}{2 \cdot 291} = 55,9 \text{ Н.}$$

- в плоскости Z

$$\sum M_{AZ} = 0; \quad F_t^Z \cdot (l+c) - R_{BZ} \cdot l = 0.$$

отсюда

$$R_{BZ} = \frac{F_t^Z \cdot (l+c)}{l} = \frac{85 \cdot (291+90)}{291} = 111,3 \text{ Н;}$$

$$\sum M_{BZ} = 0; \quad F_t^Z \cdot c - R_{AZ} \cdot l = 0;$$

отсюда

$$R_{AZ} = \frac{F_t^Z \cdot c}{l} = \frac{85 \cdot 90}{291} = 26,3 \text{ Н.}$$

Определение изгибающих моментов в сечениях и построение эпюры моментов

I-е сечение:

- в плоскости Y

$$0 < z < a;$$

$$V = R_{AY} \cdot Z: M_1 = R_{AY} \cdot 0 = 0;$$

$$M_2 = R_{AY} \cdot Z = 56 \cdot 64 = 3584 \text{ Н}\cdot\text{мм.}$$

- в плоскости Z:

$$0 < Z < a;$$

$$M = R_{AZ} \cdot Z: M_1 = R_{AZ} \cdot 0 = 0;$$

$$M_2 = R_{AZ} \cdot Z = 26,3 \cdot 64 = 1683,2 \text{ Н}\cdot\text{мм.}$$

II-е сечение:

- в плоскости Y

$$a < Z < a + b;$$

$$M = R_{AY} \cdot Z - \frac{q \cdot b \cdot (Z - a)}{2};$$

$$M_2 = M_3 = 3584 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

$$M_4 = 56 \cdot 227 - \frac{2,982 \cdot 163 \cdot 163}{2} = -26902 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

- в плоскости Z:

$$M = R_{AZ} \cdot Z;$$

$$M_2 = M_3 = 1683,2 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

$$M_4 = 26,3 \cdot 227 = 5970,1 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

III-е сечение:

- в плоскости Y

$$c < Z < c + a;$$

$$M = -F_t^Y \cdot Z + R_{BY} \cdot (Z - c);$$

$$M_6 = M_7 = -54450 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

$$M_5 = -605 \cdot 154 + 1035 \cdot 64 = -26930 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

- в плоскости Z:

$$M = F_t^Y \cdot Z - R_{BY} \cdot (Z - c);$$

$$M_6 = M_7 = 7650 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

$$M_5 = 85 \cdot 154 - 111,3 \cdot 64 = 5966,8 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

IV-е сечение:

- в плоскости Y

$$0 < Z < c;$$

$$M = -F_t^Y \cdot Z;$$

$$M_8 = -605 \cdot 0 = 0 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

$$M_7 = -605 \cdot 90 = -54450 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

- в плоскости Z:

$$M = F_t^Z \cdot Z;$$

$$M_8 = 85 \cdot 0 = 0 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

$$M_7 = 85 \cdot 90 = 7650 \text{ Н}\cdot\text{мм}.$$

Определение суммарного изгибающего и приведённого моментов

$$\text{Основная формула } M_{\text{сум}} = \sqrt{(M_{\text{из}}^Y)^2 + (M_{\text{из}}^Z)^2};$$

I-е сечение:

$$M_{\text{сум}} = \sqrt{3584^2 + 1683,2^2} = 3959,5 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

II-е сечение:

$$M_{\text{сум}} = \sqrt{(-26902)^2 + 5970,1^2} = 27349 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

III-е сечение:

$$M_{\text{сум}} = \sqrt{-54450^2 + 7650^2} = 54990 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

IV-е сечение:

$$M_{\text{сум}} = \sqrt{27830^2 + 3910^2} = 28103 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

IV сечение - дополнительное, в районе расположения шпоночного паза.

Приведённый момент в каждом сечении определяем по формуле:

$$M_{\text{np}} = \sqrt{(M_{\text{сум}})^2 + T_{\text{кр}}};$$

I-е сечение:

$$M_{\text{np}}^I = \sqrt{3959,5^2 + 23,5^2} = 3959,4 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

II-е сечение:

$$M_{\text{np}}^{II} = \sqrt{27349^2 + 23,5^2} = 27349 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

III-е сечение:

$$M_{\text{np}}^{III} = \sqrt{54990^2 + 23,5^2} = 54990 \text{ Н}\cdot\text{мм}.$$

Строим эпюры моментов (рис.4.56).

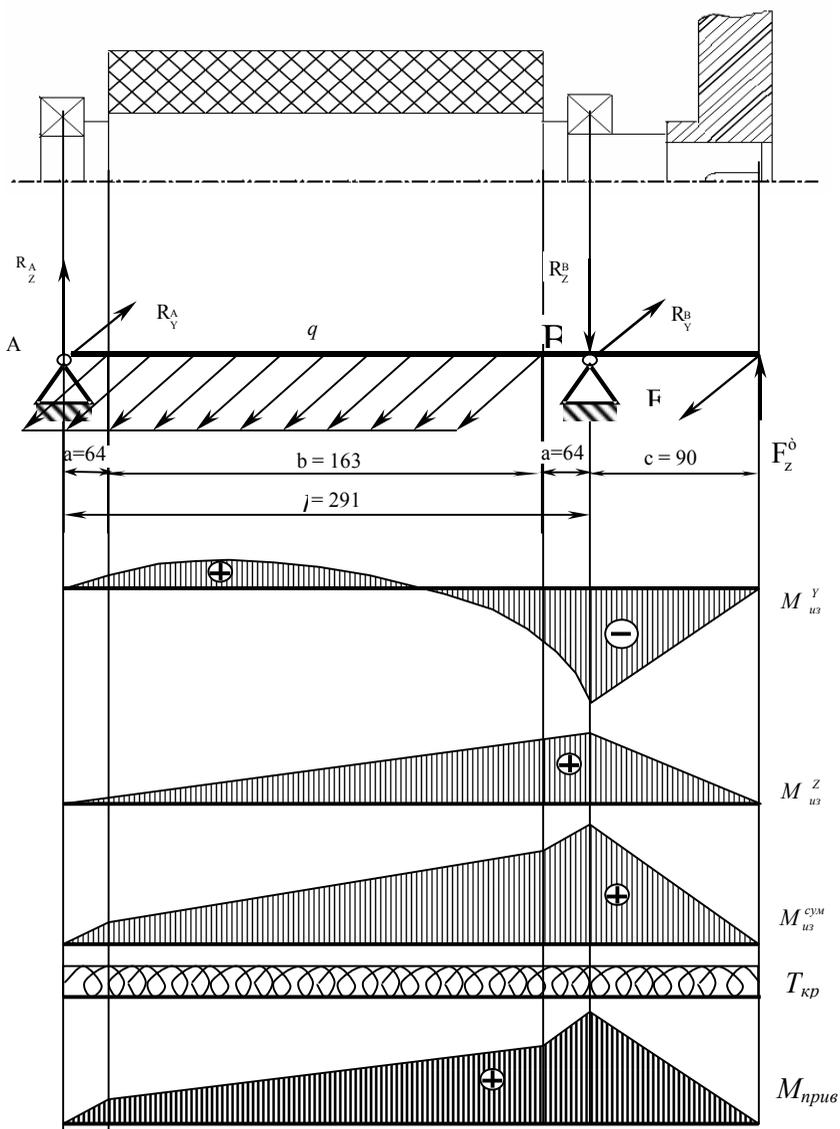


Рис. 4.56. Эпюры моментов и сил

Определение диаметров вала по сечениям

С учётом условий работы, режимов нагружения и на основе опыта проектирования машины - аналога выбираем материал вала Ст.5.

Характеристики:

твёрдость HBR = 190 единиц;

предел прочности $\sigma_B = 520$ МПа;

предел текучести $\sigma_T = 280$ МПа;

предел выносливости $\sigma_{-1} = 220$ МПа;

$\tau_{-1} = 130$ МПа;

коэффициент чувствительности $\psi_\sigma = 0$ и $\psi_\tau = 0$.

Диаметры вала в опасных сечениях вычисляем по формуле:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{np}}{0,1 \cdot [\sigma_u]}}$$

где M_{np} - приведённый момент, Н·мм; $[\sigma_u]$ - допускаемое напряжение изгиба, МПа.

$$[\sigma_u] = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma^1 \cdot S'} = \frac{220}{2 \cdot 2,2} = 50 \text{ МПа,}$$

где $K_\sigma^1 = 2$ - ориентировочное значение коэффициента концентрации напряжений; $S' = 2,2$ - ориентировочное значение коэффициента запаса прочности.

I-е сечение:

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{3959,4}{0,1 \cdot 50}} = 9,25 \text{ мм,}$$

принимаем из стандартного ряда $d_1 = 10$ мм.

II-е сечение:

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{27349}{0,1 \cdot 50}} = 17,6 \text{ мм,}$$

принимаем из стандартного ряда $d_2 = 18$ мм.

III-е сечение:

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{54990}{0,1 \cdot 50}} = 22,24 \text{ мм,}$$

принимаем из стандартного ряда $d_3 = 25$ мм.

IV-е сечение:

$$d_4 = \sqrt[3]{\frac{28106}{0,1 \cdot 50}} = 17,78 \text{ мм},$$

принимаем из стандартного ряда $d_4 = 20$ мм.

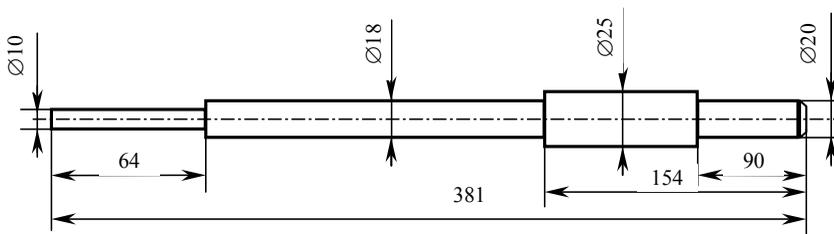


Рис. 4.57. Эскизная проработка вала

На основании расчётов получаем эскиз вала, показанный на рис.4.57.

Проверочный расчёт вала на прочность

Определяем коэффициент запаса прочности по нормальным напряжениям в опасных сечениях по формуле:

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{K_\sigma}{\beta \cdot \xi_\sigma} \cdot \sigma_a},$$

где σ_{-1} - предел выносливости материала, МПа; K_σ - коэффициент концентрации напряжений при изгибе; β - коэффициент, учитывающий влияние шероховатости поверхности при параметре $R_z=20$ мкм, принимаем $\beta=0,92$; ξ_σ - масштабный фактор для нормальных напряжений; σ_a - амплитуда нормального напряжения,

$$\sigma_a = \frac{M_{uz}}{W_u}, \quad \text{где } W_u = 0,1d^3.$$

I-е сечение:

$$\begin{aligned} K_\sigma &= 1,32; \quad \xi_\sigma = 0,92; \\ W_u &= 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 10^3 = 100 \text{ мм}^3; \\ \sigma_a &= 3959/100 = 39,59 \text{ Н/мм}^2. \end{aligned}$$

II-е сечение:

$$K_{\sigma} = 1,32; \xi_{\sigma} = 0,92;$$
$$W_u = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 18^3 = 583,2 \text{ мм}^3;$$
$$\sigma_a = 27349/583,2 = 46,9 \text{ Н/мм}^2.$$

III-е сечение:

$$K_{\sigma} = 1,32; \xi_{\sigma} = 0,92;$$
$$W_u = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 25^3 = 1562,5 \text{ мм}^3;$$
$$\sigma_a = 54990/1562,5 = 35,2 \text{ Н/мм}^2.$$

IV-е сечение:

$$K_{\sigma} = 1,5; \xi_{\sigma} = 0,92;$$
$$W_u = 0,1d^3 - \frac{b \cdot h \cdot (2d - h)^2}{16d} = 0,1 \cdot 20^3 - \frac{10 \cdot 8 \cdot (2 \cdot 20 - 8)^2}{16 \cdot 20} = 544 \text{ мм}^3;$$
$$\sigma_a = 28106/544 = 51,6 \text{ Н/мм}^2.$$

Определяем коэффициент запаса прочности:

I-е сечение:

$$S_{\sigma} = \frac{220 \cdot 0,92}{1,32 \cdot 39,59} = 3,9;$$

II-е сечение:

$$S_{\sigma} = \frac{220 \cdot 0,92}{1,32 \cdot 46,9} = 3,3;$$

III-е сечение:

$$S_{\sigma} = \frac{220 \cdot 0,92}{1,32 \cdot 35,2} = 4,26;$$

IV-е сечение:

$$S_{\sigma} = \frac{220 \cdot 0,92}{1,5 \cdot 51,6} = 2,61.$$

Определяем коэффициент запаса прочности по касательным напряжениям по формуле

$$S_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\frac{K_{\tau}}{\xi_{\tau}} \cdot \tau_a},$$

где $\tau_a = \frac{T_{\text{сп}}}{2 \cdot W_{\rho}}$; $W_{\rho} = 0,2 \cdot d^3$.

I-е сечение:

$$K_{\tau} = 1,1; \xi_{\tau} = 0,83;$$

$$W\rho = 0,2 \cdot 10^3 = 200 \text{ мм}^3;$$

$$\tau_a = \frac{23,5}{2 \cdot 200} = 0,059 \text{ Н/мм}^2;$$

$$S_{\tau l} = \frac{130 \cdot 0,83}{1,1 \cdot 1,059} = 1663 ;$$

II-е сечение:

$$K_{\tau} = 1,1; \xi_{\tau} = 0,83;$$

$$W\rho = 0,2 \cdot 18^3 = 1166,4 \text{ мм}^3;$$

$$\tau_a = \frac{23,5}{2 \cdot 1166,4} = 0,01 \text{ Н/мм}^2;$$

$$S_{\tau 2} = \frac{130 \cdot 0,83}{1,1 \cdot 0,01} = 9809 ;$$

III-е сечение:

$$K_{\tau} = 1,1; \xi_{\tau} = 0,7;$$

$$W\rho = 0,2 \cdot 25^3 = 3125 \text{ мм}^3;$$

$$\tau_a = \frac{23,5}{2 \cdot 3125} = 0,0038 \text{ Н/мм}^2;$$

$$S_{\tau} = \frac{130 \cdot 0,7}{1,1 \cdot 0,0038} = 21770,3 ;$$

IV-е сечение:

$$K_{\tau} = 1,4; \xi_{\tau} = 0,83;$$

$$W\rho = 0,2 \cdot 20^3 - \frac{bh(2d-h)^3}{16d} = 1600 - \frac{10 \cdot 8 \cdot (2 \cdot 20 - 8)^3}{16 \cdot 20} = 1344 \text{ мм}^3;$$

$$\tau_a = \frac{23,5}{2 \cdot 1344} = 0,0087 \text{ Н/мм}^2;$$

$$S_{\tau} = \frac{130 \cdot 0,83}{1,4 \cdot 0,0087} = 8858,8 .$$

Для каждого сечения определяем полный коэффициент запаса прочности по формуле

$$S_i = \frac{S_{\sigma_i} \cdot S_{\tau_i}}{\sqrt{S_{\sigma_i}^2 + S_{\tau_i}^2}} .$$

I-е сечение:

$$S_1 = \frac{3,9 \cdot 1662,6}{\sqrt{3,9^2 + 1662,6^2}} = 3,89;$$

II-е сечение:

$$S_2 = \frac{3,3 \cdot 9809,1}{\sqrt{3,3^2 + 9809,1^2}} = 3,29;$$

III-е сечение:

$$S_3 = \frac{4,26 \cdot 21770,3}{\sqrt{4,26^2 + 21770,3^2}} = 4,26;$$

IV-е сечение:

$$S_4 = \frac{2,6 \cdot 8858,8}{\sqrt{2,6^2 + 8858,8^2}} = 2,59.$$

Проверяем условие прочности вала:

$$S_i > [S_i] = 1,7;$$

$$S_1 = 3,89 > 1,7;$$

$$S_2 = 3,29 > 1,7;$$

$$S_3 = 4,29 > 1,7;$$

$$S_4 = 2,59 > 1,7.$$

Следовательно, вал выбран правильно и удовлетворяет условиям прочности.

Формализованные расчёты на третьем этапе, если их проводить вручную, для сложных картин нагружения весьма трудоёмки. Поэтому при расчётах необходимо применение компьютерных технологий и программного обеспечения разного уровня сложности, разработанных на кафедрах «Детали машин» и «Сопrotивление материалов»:

В случаях расчётных схем абстрагированных, когда деталь не рассматривается как тело с распределёнными параметрами, можно применять индивидуальные программы, использующие простые расчётные формулы сопротивления материалов:

PACVALA, MKVAL - расчёт валов на прочность; TVAL - расчёт валов на выносливость; REM-KB – расчёт ременной передачи; MKCER – расчёт цепной передачи; PEREDACH – расчёт зубчатых и червячных передач; WYBOR – выбор материалов для зубчатых и червячных передач; TEST-CM, TEST-KC, TEST-CH – расчёт и компоновка цилиндрических, конических, и червячных редукторов и др. Результат работы таких программ представлен ниже.

Пример. **Компьютерный расчёт вала программой MKVAL.** Расчёт вала на прочность по изгибу и кручению (рис.4.58)

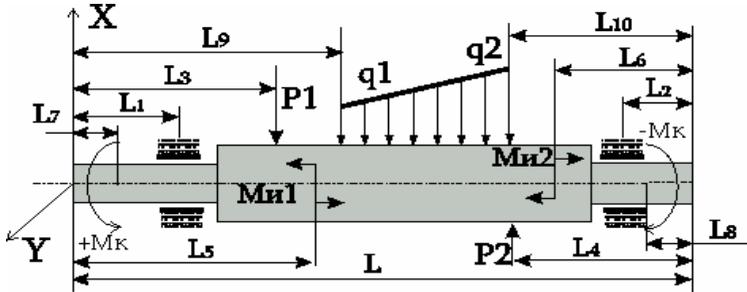


Рис.4.58. Схема исходных данных для второго вала

Исходные данные для расчёта (рис.4.59):

- длина вала $L = 500$ мм;
- расстояние от левого конца вала до опоры $L_1 = 70$ мм;
- расстояние от правого конца вала до опоры $L_2 = 70$ мм;
- расстояние от левого конца вала до силы P_3 $L_{11} = 500$ мм;
- вертикальная составляющая силы слева $P_{3x} = 3721$ Н;
- расстояние от левого конца вала до силы P_1 $L_3 = 0$ мм;
- вертикальная составляющая силы слева $P_{1x} = 5210$ Н;
- расстояние от правого конца вала до силы P_2 $L_4 = 250$ мм;
- вертикальная составляющая силы справа $P_{2x} = 7623$ Н;
- расстояние от левого конца вала до точки приложения крутящего момента $M_{к1}$ $L_7 = 0$ мм;
- величина крутящего момента слева $M_{к1} = 573$ Н·м;
- расстояние от правого конца вала до точки приложения крутящего момента $M_{к2}$ $L_8 = 0$ мм;
- величина крутящего момента справа $M_{к2} = 573$ Н·м;
- материал вала - Ст. 3, допустимые напряжения на изгиб $= 63$ МПа.

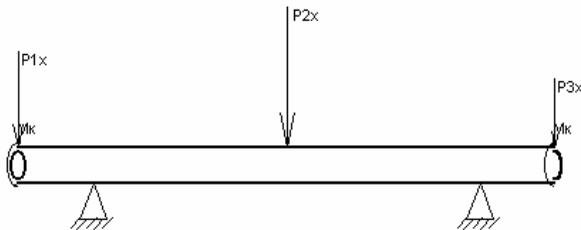


Рис.4.59. Усилия, действующие в вертикальной плоскости

Данные расчёта действующих сил и реакций (рис.4.60):

реакция на опоре А от действия сил и моментов в вертикальной плоскости $Ra_x = 9311$ Н;

реакция на опоре А от действия сил и моментов в горизонтальной плоскости $Ra_y = 0$ Н;

реакция на опоре В от действия сил и моментов в вертикальной плоскости $Rb_x = 7243$ Н;

реакция на опоре В от действия сил и моментов в горизонтальной плоскости $Rb_y = 0$ Н;

максимальный перепад эпюры сил в вертикальной плоскости $Px_{max} = 5210$ Н;

максимальный перепад эпюры сил в горизонтальной плоскости $Py_{max} = 0$ Н;

максимальный результирующий перепад эпюры сил $Pxy_{max} = 0$ Н;

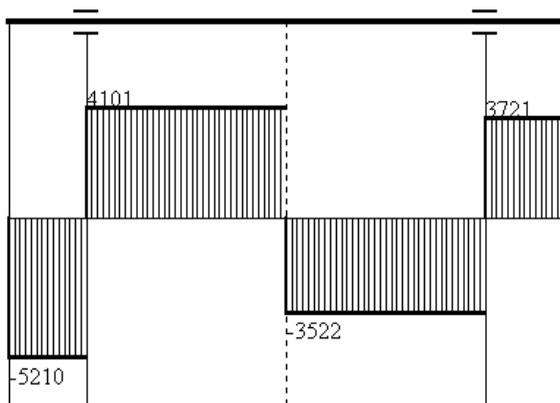


Рис.4.60. Эпюры действующих сил (Н).
Вертикальная плоскость, масштаб 0,0048 мм/Н

Данные расчёта эпюры изгибающих моментов (рис.4.61):

максимальный изгибающий момент в вертикальной плоскости $= 375,2$ Н·м;

максимальный изгибающий момент в горизонтальной плоскости $= 0$ Н·м;

максимальный суммарный изгибающий момент $= 375,2$ Н·м;

максимальный приведённый изгибающий момент $= 685$ Н·м;

допустимое напряжение на изгиб $= 63$ МПа;

запас прочности $= 1,45$;

расчётный диаметр вала в опасном сечении по изгибу $= 44$ мм;

расчётный диаметр вала в опасном сечении по изгибу и кручению
= 54 мм.

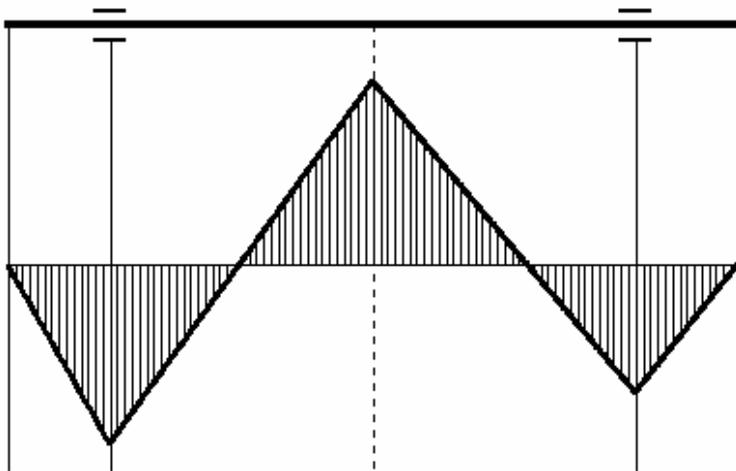


Рис.4.61. Эпюры действующих моментов (Н·м).
Вертикальная плоскость, масштаб 0,06663 мм/(Н·м)

Достоинство таких программ – быстрота счёта и подготовки исходных. Однако компьютерные технологии расчёта дают для конкретных цифровых исходных данных сразу итоговую картину, но отсутствие аналитических соотношений затрудняет поиск причин получения неприемлемого результата и принятия соответствующих мер для корректировки конфигураций схем нагружения. В случае получения неприемлемого результата приходится эвристически менять цифровые исходные данные и делать пересчёт заново, оценивать результат и снова вносить изменения и т.д. Это общий недостаток компьютерных технологий, основанных на цифровом моделировании. Применять такие программы в квалификационной работе можно только по согласованию с руководителем проекта.

Для случаев сложной конфигурации детали (оболочка, полая оболочка, литая деталь, сварная рама и т.п.), когда требуется рассматривать её как тело (среду) с распределёнными параметрами и получить многомерную картину распределения напряжений в толще материала, следует применять более сложные программные продукты.

В этих случаях следует обратиться к комплексу программ автоматизированного расчёта и проектирования типа APM Win Machine. В

дополнение к подсистеме APM Graph оформления проектной документации она включает следующие программные продукты для расчётов:

APM Shaft - расчёт и проектирование валов;

APM Drive – модуль создания кинематических схем;

APM Trans- расчёт и проектирование механических передач;

APM Spring – расчёт и проектирование пружин, торсионов, рес-сор и других упругих элементов;

APM Cam - расчёт и проектирование кулачковых механизмов;

APM Slider - расчёт и проектирование рычажных механизмов;

APM Serev - расчёт и проектирование винтовых передач;

APM Structure3D - расчёт напряжённо-деформированного состояния, устойчивости и динамики деталей и конструкций;

APM SCAD - расчёт и проектирование рам;

APM Beam - расчёт и проектирование балочных конструкций;

APM Truss - расчёт и проектирование фермных конструкций

APM FEZO - расчёт плоских деталей с использованием МКЭ;

APM Bear- расчёт и проектирование неидеальных подшипников качения;

APM Plain- расчёт и проектирование неидеальных подшипников скольжения;

APM Joint - - расчёт и проектирование соединительных элементов;

APM Screw - расчёт и проектирование неидеальных винтовых передач;

APM REM2D – расчёт и анализ нагруженности плоских деталей МКЭ.

Эти программы дают полную картину напряжённо-деформированного состояния различных деталей и конструкций, но работа с ними требует определённой квалификации и большого времени на подготовку исходных данных. Рекомендуется для сложных деталей и картин нагружения в дипломных проектах с исследовательским уклоном.

4.8.6. Расчет надежности машин и элементов

Проблема обеспечения заданного уровня надёжности конструктивных решений при проектировании является ключевой для повышения конкурентоспособности новой техники. Для ответственных деталей и узлов рекомендуется проводить расчёты на надёжность по методикам из работ А.А. Андросова, В.В. Спиченкова, М.М. Черкашина [3, 4, 87] в следующей последовательности.

1. Нормирование требуемых показателей надёжности машины

Основные показатели надёжности должны оговариваться в техническом задании. В первую очередь должны нормироваться вероятность безотказной работы $P(t)$ и ресурс T_p , в течение которого она регламентируется; могут устанавливаться на основе учёта величин, сложившихся в отрасли для рассматриваемого вида машин, или на уровне лучших мировых образцов, или исходя из необходимости минимизации затрат и получения максимального эффекта машиноиспользования.

Вероятность безотказной работы $P(t)$ ориентировочно может устанавливаться по классам надёжности изделий, приведённым в табл.4.25.

Таблица 4.25

Классы надёжности изделий

Класс надёжности	0	1	2	3	4	5
Допустимое значение $P(t)$	0,9	0,95	0,99	0,999	0,9999	1,0

Класс 0 составляют детали, отказ которых практически не влияет на работоспособность машины. Классы 1, 2 – нормальные требования к безотказности. Классы 3, 4 – жёсткие требования (например, для авиации $P(t) \geq 0,9999$). Класс 5 – детали и узлы, отказ которых за заданное время недопустим. Обычно в сельскохозяйственных машинах используются классы 0, 1, 2.

Расчленение машины на структурные элементы. Исходя из общепринятой концепции, что надёжность всей машины складывается из надёжности её элементов, следует выделить все составляющие машину элементы.

Сложную машину следует в первую очередь разделить на независимые подсистемы, отказ которых не изменяет надёжности других подсистем, и которые можно ремонтировать независимо друг от друга.

Подсистемы можно выделять и по функциональному признаку. Например, в комбайне можно выделить двигатель, задний и передний мосты, жатку, молотилку и т.д.

Далее следует разделить подсистемы на агрегаты (конструктивный комплекс с общей корпусной (базовой) деталью, выполняющий законченную рабочую функцию), агрегаты на узлы, узлы на детали. Получаемую структуру следует отразить структурной схемой машины в ПЗ. Она будет иметь структурные единицы первого (высшего) уровня $Y=1$, второго $Y=2$, третьего $Y=3$ и т.д. уровней, вплоть до последнего (низшего) уровня $Y=K$.

Для сложных машин количество элементов низшего уровня может быть очень большим, что делает расчёты громоздкими и трудоёмкими. В этом случае элементы ненагруженные и неответственные можно из рассмотрения исключать. Но увлекаться этим не стоит.

Определение требуемых показателей надёжности структурных единиц. Считая, что поток отказов элементов систем на значительном интервале времени является стационарным пуассоновским потоком, можно для каждого уровня системы $Y < K$ связать интенсивности отказов выражением:

$$\lambda_c = \sum a_i \lambda_i \quad i = 1 \dots n,$$

где λ_c – интенсивность отказа системы на рассматриваемом уровне;

λ_i – интенсивность отказа элементов этой системы на рассматриваемом уровне; a_i – коэффициенты веса каждого элемента, зависящие от его стоимости, сложности, значимости в поддержании работоспособности системы; n – количество элементов системы на рассматриваемом уровне.

Расчёт весовых множителей. Весовые множители для элементов систем каждого уровня определяются исходя из стоимости c_i и трудоёмкости монтажа z_i i -го элемента:

$$a_i = (1 / c_i z_i) / \sum (1 / c_i z_i), \quad i = 1 \dots n.$$

В случае, когда нет данных по стоимости и трудоёмкости монтажа элементов машины, весовые множители следует определять по экспертным оценкам методом баллов. Каждый элемент сопоставляется с каждым другим элементом. Если рассматриваемый элемент стоит меньше сравниваемого, то его $a_i = 0$, а если больше $a_i = 1$. Получают матрицу A коэффициентов из нулей и единиц размерности $n \times n$ с элементами $A = \{a_{ij}\}$ $i, j = 1 \dots n$. Весовые множители определяют суммированием элементов по строкам матрицы:

$$a_i = (\sum_i a_{ij}) / (\sum_i \sum_j a_{ij}).$$

Независимо от применяемой методики контрольным условием является соотношение

$$\sum a_i = 1, \quad i = 1 \dots n.$$

При его выполнении интенсивности отказов элементов

$$\lambda_i = a_i \lambda_c,$$

где λ_c - интенсивность отказов системы данного уровня. Её требуемое значение определяется по требуемой наработке на отказ T_{oc} системы:

$$\lambda_c = 1 / T_{oc}.$$

При условии равной долговечности всех подсистем машины, что всегда желательно для снижения затрат на производство и эксплуатацию машины, интенсивность отказов системы высшего уровня следует принять равной требуемому ресурсу работы машины T_{pm} , заданной в ТЗ, т. е.

$$T_{o1} = T_{pm}.$$

По этому значению определяют интенсивности отказов элементов системы высшего уровня. По ним аналогично определяют интенсивности отказов элементов второго уровня, затем третьего и так далее, вплоть до низшего уровня.

Распределение наработки на отказ между элементами.

Для ординарных потоков отказов элементов системы без последствий наработка на отказ системы и элементов связаны приближённым соотношением:

$$T_{oc} = 1 / \sum_i (1 / T_{oi}) \quad \text{или} \quad T_{oi} = T_{oc} / a_i.$$

Такая простая зависимость точна лишь для экспоненциального закона распределения на отказ каждого элемента. Для других законов её следует считать приближённой.

Определение наработок на отказ элементов следует также начинать с подсистемы высшего уровня по её результатам, затем для второго уровня, третьего и так далее до предпоследнего уровня.

Определение ресурса элементов системы. Если принять, что отказавшие элементы не восстанавливаются, а заменяются на новые, то ресурс элемента равен его наработке на отказ, т.е.

$$T_{Pi} = T_{oi}.$$

Определение вероятности безотказной работы элементов. Вероятность безотказной работы машины

$$P_m(t) = \exp(-\lambda_c T_{pm}).$$

Вероятность безотказной работы i -го элемента в системе любого уровня определяется по интенсивности λ_i и наработке на отказ этого элемента T_{oi}

$$P_i(t) = \exp(-\lambda_i T_{oi}).$$

2. Расчёт прочности детали

Исходными данными для такого расчёта является чертёж детали с приложенной нагрузкой, определённой при силовых расчётах. Расчёт для деталей типа вала проводится по методике А.А. Андросова – М.М. Черкашина [4]. Порядок расчёта предусматривает следующие этапы.

1. Выделить на детали все «опасные» сечения, способные быть концентраторами напряжений. Это участки с резкими изменениями формы: проточки; галтели; шпоночные пазы и т.п.). В ПЗ следует привести схему детали с указанием размеров и координат опасных сечений.

2. Разработать расчётную схему нагружения детали и привести её в ПЗ. Построить эпюры нагружения; в каждом опасном сечении определить изгибающий момент M_u , продольную силу F и крутящий момент T

3. Расчёт напряжений в опасном сечении, которые принимаем как амплитудные:

$$\text{напряжения изгиба } \sigma_u = M_u / W;$$

$$\text{напряжения растяжения } \sigma_f = 4 F / S;$$

$$\text{касательные напряжения } \tau = T / 2W_p,$$

где W – момент сопротивления; S – площадь сечения; W_p – полярный момент сопротивления.

4. Расчёт коэффициентов запаса прочности s :

коэффициент запаса прочности по нормальным напряжениям

$$s_{\sigma} = \sigma_{-1} / (k_{\sigma} \sigma_a / \beta \varepsilon_{\sigma} + \psi_{\sigma} \sigma_m);$$

коэффициент запаса прочности по касательным напряжениям

$$s_{\tau} = \tau_{-1} / (k_{\tau} \tau_a / \beta \varepsilon_{\tau} + \psi_{\tau} \tau_m),$$

где σ_{-1}, τ_{-1} - пределы выносливости материала; k_{σ}, k_{τ} - коэффициенты концентрации напряжений; β - коэффициент шероховатости; σ_a, τ_a - амплитуды напряжений; σ_m, τ_m - средние напряжения; $\psi_{\sigma}, \psi_{\tau}$ - коэффициенты чувствительности к асимметрии цикла; $\varepsilon_{\sigma}, \varepsilon_{\tau}$ - масштабные факторы.

Суммарный коэффициент запаса прочности

$$s = s_{\sigma} s_{\tau} / \sqrt{s_{\sigma}^2 + s_{\tau}^2}.$$

Его значение должно быть больше допустимого для конкретных условий работы и нагружения. Прочностной расчёт можно проводить компьютерной программой val-mut в компьютерном классе кафедры ОКМ.

3. Установление достигнутого уровня надёжности сконструированных элементов

Сконструированные детали имеют под нагрузкой фактические показатели надёжности, которым надо дать оценку на предмет степени совпадения с требуемыми. Теория надёжности даёт возможность проводить такую оценку на стадии проектирования расчётным путём [3,4]

Расчёт долговечности детали. Компьютерный расчёт выполняется по программе spd-7alt в компьютерном классе кафедры ОКМ.

Моделируем случайное нагружение детали, для чего из банка данных выбираем случайный процесс в полосе частот 1,5-2,5 Гц. Можно применять процесс с частотами вращения или возмущений от других деталей. Фиксируем максимальную σ_{\max} и минимальную σ_{\min} амплитуды. Корректируем амплитуды процесса под реальные амплитуды нагружения, умножая значения случайного процесса на коэффициент n

$$n = \sigma_{nm} / (\sigma_{\max} + \sigma_{\min}),$$

где $\sigma_{nm} = \sqrt{\sigma_u^2 + 4\tau^2}$; σ_u - напряжения изгиба; τ - касательные напряжения.

Определяем приведённую амплитуду случайного процесса

$$|\sigma_{\text{ГП}}| = |\sigma_{\text{MAX}}| + |\sigma_{\text{МИН}}|.$$

Строим гистограмму полных циклов.

Предел выносливости материала при концентраторе

$$\sigma_{.1q} = \sigma_{.1} / k'_b S';$$

где $\sigma_{.1}$ – табличное значение предела выносливости; k'_b – коэффициент концентрации (ориентировочно $k'_b = 2$); S' – ориентировочный запас прочности ($S' = 2-2,5$).

Ресурс в циклах нагружения определим по формуле Серенса-Когаева:

$$N = (a_p \sigma_{.1q}^m N_G) / (\sum \sigma_{ai}^m l_i),$$

где a_p – расчётная сумма относительных долговечностей; $\sigma_{.1q}$ – медианное значение предела выносливости; N_G – абсцисса точки перелома кривой усталости; m – показатель угла наклона кривой; σ_{ai} – среднее значение амплитуды нагружения i -ой ступени гистограммы; l_i – относительное число повторений амплитуды σ_{ai} .

Оценка ресурса детали. По данным ВИСХОМа значение ресурса для сельхозмашин должно быть при $m=4$ 2000000 и при $m=5$ 5000000 циклов.

Средний ресурс в часах

$$T = N / 3600 \nu ,$$

где ν – эффективная частота нагружения.

Результаты расчёта следует отразить графиком функции ресурса с указанием расчётной рабочей точки для подтверждения её нахождения в зоне выше минимально допустимых значений функции ресурса.

Оценка оптимальности ресурса.

Полученное значение ресурса сравниваем с требуемым, которое рассчитывалось в пункте 1. Для него должно выполняться условие:

$$1,25 T_p < T > T_p$$

Если $T > 1,25 T_p$, то деталь чрезмерно прочна в данном сечении и нужно убрать излишние запасы прочности.

Если $T < T_p$, то требуется усиление прочности детали.

При выходе ресурса за оптимальные пределы необходимо провести корректировку конструкции детали.

Корректировка конструктивного оформления детали.

Коррекцию следует проводить за счёт дополнительных конструкторских проработок (изменения сечений и конфигураций детали, галтелей, про-

точек, шпоночных пазов и пр.), способствующих сближению расчётного ресурса с требуемым. Эффективно Также применение новых марок сталей, их оптимальной термической обработки (табл.4.26).

Таблица 4.26

Характеристики применяемых материалов

Параметр	Жёсткие валы						Тяжёлое нагружение			Быстроходные валы		
	D заг, мм	60	>200		120		200	120	>200	120	80	60
Марка	20	СТ5	50Л	45	45	40Х	40ХН	35ХГС	30ХГТ	20Х	12ХН3	18ХГТ
G _p , МПа	400	520	569	600	850	1000	850	980	950	650	1000	150
G _T , МПа	240	240	333	340	580	800	600	880	750	400	800	950
[G], МПа	40	45	50	55	75	90	75	90	90	60	90	95
Термообработка	Н	У	У	Н	У	У	У	У	Ц, 3, НО	Ц, 3, НО	Ц, 3, НО	Ц, 3, НО
НВ	145	130	174	197	260	270	260	270	270	197	380	330
HRC									56-63	56-63	56-63	63-65

Примечание: Н – нормализация, У – улучшение, Ц – цементация, 3 – закалка, НО – низкий отпуск.

Если не удаётся повысить T, то следует попытаться снизить требуемое значение ресурса T_p, кардинально изменив структуру узла, уменьшив число деталей в нём. Это можно сделать, объединяя ряд деталей в единую деталь. И вообще, уменьшение числа деталей, соединений между ними (резьбовых, подшипниковых) – хороший резерв повышения надёжности. Чем больше отдельных деталей в узле, тем ненадёжнее он. Чем больше узлов, тем ненадёжнее машина. Кардинальная мера: так укрупнить узлы, чтобы уменьшить число уровней K структуры машины. Скорректированная деталь снова проверяется на соответствие ресурса требуемым значениям. Процесс может быть многошаговым.

В результате расчётов конструкция детали должна быть равнонадёжной по всем сечениям и, следовательно, не иметь излишних или недостаточных запасов прочности и иметь минимальную металлоёмкость.

4.9. САПР сборочной единицы

Прикладные задачи САПР в области проектирования сводятся к повышению точности, оптимизации и снижению трудоёмкости при создании сборочных единиц, деталей и рабочих чертежей изделия [1-3]. Также следует автоматизировать процесс создания элементов, пара-

метры которых придётся существенно видоизменять в процессе проектировании и последующей оптимизации изделия. Для таких элементов необходимо сразу выявить и задать переменные, от которых будут зависеть их геометрические параметры. Также рекомендуется максимально возможно использовать прикладные библиотеки, встроенные в графическую систему или создавать свои библиотеки часто используемых элементов изделия [1-3].

Часто при проектировании какого-либо механизма необходимо изменить число оборотов или направление движения кинематического элемента системы. Рассмотрим процесс проектирования одноступенчатого редуктора с использованием прикладной библиотеки «Редуктор 3D V2.3» графического редактора Компас 3D (класс ЭВМ кафедры «СХМ и О»), рис.4.62.

Порядок подключения *rtw*-библиотеки:

- после установки модуля, в среде КОМПАС на панели „Стандартная” нажмите кнопку «Менеджер библиотек».
- в появившемся окне выберите команду контекстного меню „Добавить описание\прикладной библиотеки”, после чего появится диалоговое окно загрузки файла библиотеки, в котором необходимо найти и выбрать файл «reductor3Drus.rtw».
- при запросе выбора режима работы лучше выбрать пункт «Меню».

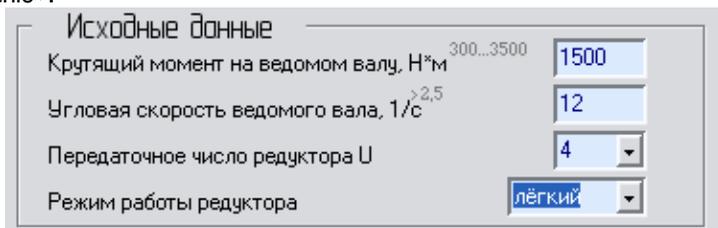


Рис.4.62. Окно запуска библиотеки графического редактора

Запускаем библиотеку. В появившемся окне производим выбор типа редуктора, который осуществляется нажатием кнопки с названием редуктора, либо нажатием на заголовок над панелью с расчётами. Изображение выбранного на данный момент редуктора показывается в цвете, двух других остаётся монохромным.

Вводятся исходные данные на панели «Исходные данные». Они включают в себя: крутящий момент на ведомом валу ($H \cdot m$); угловую скорость ведомого вала ($рад./с.$); передаточное число редуктора U (оно выбирается из раскрывающегося списка, в котором приведены рекомендованные ГОСТом значения для данного типа редукторов) и режим работы механизма. Справа от надписей крутящего момента и угловой скорости указываются их конструктивные границы, для которых программа корректно проведёт расчёт и построение. Сразу после ввода,

программа автоматически рассчитает передачу (для этого нужно нажать Enter в поле «Угловая скорость ведомого вала» или произвести изменения в раскрывающемся списке выбора передаточного числа), приняв некоторые значения по умолчанию. Эти значения можно изменять для каждого типа редукторов отдельно.

Размеры крышек подшипников, самих подшипников, болтов, гаек, шпонок, значения передаточных чисел, модулей и др. рассчитываются по известным алгоритмам [4] и согласовываются со стандартами и будут созданы в автоматическом режиме.

Цилиндрический редуктор

Цилиндрический редуктор может проектироваться для трёх типов зубчатого зацепления: прямозубого, косозубого и шевронного. Параметры, которые могут быть изменены конструктором во время проектирования, включают:

- к.п.д. зубчатой цилиндрической передачи, принимается 0,96...0,97;
- коэффициент ширины зубчатого венца по межосевому расстоянию ψ_{ba} (для прямозубого зацепления $\psi_{ba} = 0,25...0,4$, для косозубого – 0,3...0,6, для шевронного – 0,4...0,8);
- число зубьев шестерни $z_{ш} = 18...30$ (лучше принимать меньшие значения);
- угол наклона линии зуба β (для прямозубого зацепления – 0°, для косозубого – 8...25°, для шевронного – 22...45°);

Эти параметры изменяются с помощью ползунков на панели «Расчёт параметров зубчатого зацепления».

Обратите внимание: не все комбинации названных параметров могут быть правильными. Критерием является величина действительных контактных напряжений в зубчатом зацеплении. Напряжения в точке контакта зубьев передачи должны находиться в пределах $(0,9...1,0) \cdot [\sigma_H]$ (где $[\sigma_H]$ – допустимые контактные напряжения, МПа, которые рассчитываются программой в зависимости от исходных данных и выбранного материала зубчатых колес). Если σ_H выходит за границы указанного диапазона, то значение напряжений отмечается красным цветом. То же касается и напряжений изгиба зубьев шестерни и колеса (правда, превышение этими величинами допустимых напряжений бывает редко – основным считается расчёт на контактную прочность, а не на изгиб). Для того, чтобы действительные напряжения попали в заданный диапазон, нужно изменять какой-либо из параметров: u , ψ_{ba} , $z_{ш}$, β , или несколько из них одновременно, пока соответственная метка (σ_H) опять не закрасится синим цветом. При передвижении одного из ползунков при изменении u , ψ_{ba} , $z_{ш}$ или β программа сама произведёт пересчёт всех величин с учётом внесенных изменений (рис.4.63).

Расчёт параметров зубчатого зацепления

Тип зацепления	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	шевронное
Крутящий момент на ведущем валу, Н*м		391
Угловая скорость ведущего вала, 1/с		48,00
КПД зубчатой цилиндрической передачи	<input type="text"/>	0,97
Коэффициент ширины зубчатого венца Ψ_{ba}	<input type="text"/>	0,6
Число зубьев шестерни $Z_{ш}$	<input type="text"/>	18
Угол наклона линии зуба β , град.	<input type="text"/>	22
Число зубьев колеса Z_k		72
Модуль зубьев m (расчётный/стандартный), мм	(5,419) 5,50	
Межосевое расстояние передачи a , мм		267
Делительный диаметр колеса d_k , мм		427
Делительный диаметр шестерни $d_{ш}$, мм		107
Ширина колеса b_k , мм		160

Проверочный расчёт передачи	
Действительные контактные напряжения G_n , МПа	310,05
Напряжения изгиба зубьев шестерни $G_{fш}$, МПа	37,10
Напряжения изгиба зубьев колеса G_{fk} , МПа	31,28

Рис.4.63. Программа изменения параметров

На панели «Материалы зубчатых колес» можно выбрать материал для зубчатых колес передачи, а на панели «Выбор подшипников качения» – тип подшипников (шариковые радиальные или радиально-упорные роликовые), которые будут установлены в редукторе. Проектируют опоры качения в таком порядке:

- намечают по эскизной компоновке расстояния между опорами (подшипниками) и закрепляемыми на валу деталями, определяют нагрузку на опоры;
- подбирают предварительно тип подшипника с учётом конструкции опоры качения, условий эксплуатации и монтажа;
- определяют расчётную долговечность подшипника, назначая ориентировочно его типоразмер, и составляют её с рекомендуемой;

- назначают в зависимости от требований, предъявляемых к работе опоры качения, класс точности подшипника, посадки на внутренние и наружные кольца (на вал и в корпус), а так же выбирают способ крепления колец подшипника;

- подбирают тип смазки, марку смазочного материала, конструкцию уплотнений;

- оформляют окончательно конструкцию опоры качения.

В конкретных условиях выбирать тип подшипника необходимо особенно тщательно, так как от этого зависят условия работы и ресурс не только подшипников, но и сопряжённых с ними деталей (например, зубчатых колёс).

Например, шариковые однорядные подшипники предназначены для восприятия в основном радиальной нагрузки, но могут воспринимать и небольшие осевые нагрузки (до 30% от радиальной). Удовлетворительно работают при перекосе колец не более 8'

В данной прикладной программе подбор типоразмера подшипников производится автоматически по диаметру участка вала под подшипник и проверяется на долговечность. Если долговечность подшипника получена недостаточной, диаметр участка вала под подшипник увеличиваем, и затем заново просчитывается подшипник.

После этого переходим к построению редуктора, для чего следует нажать кнопку «Начать построение» в правом нижнем углу панели расчётов. Появится диалоговое окно «Параметры построения и сборки», в котором следует выбрать директорию для сохранения промежуточных и окончательных результатов построения; есть возможность отредактировать файл с данными о спроектированном редукторе (или вообще запретить создание такого файла); а также есть закладка для выбора режимов построения и сборки (создание сечений, разрезов и др.).

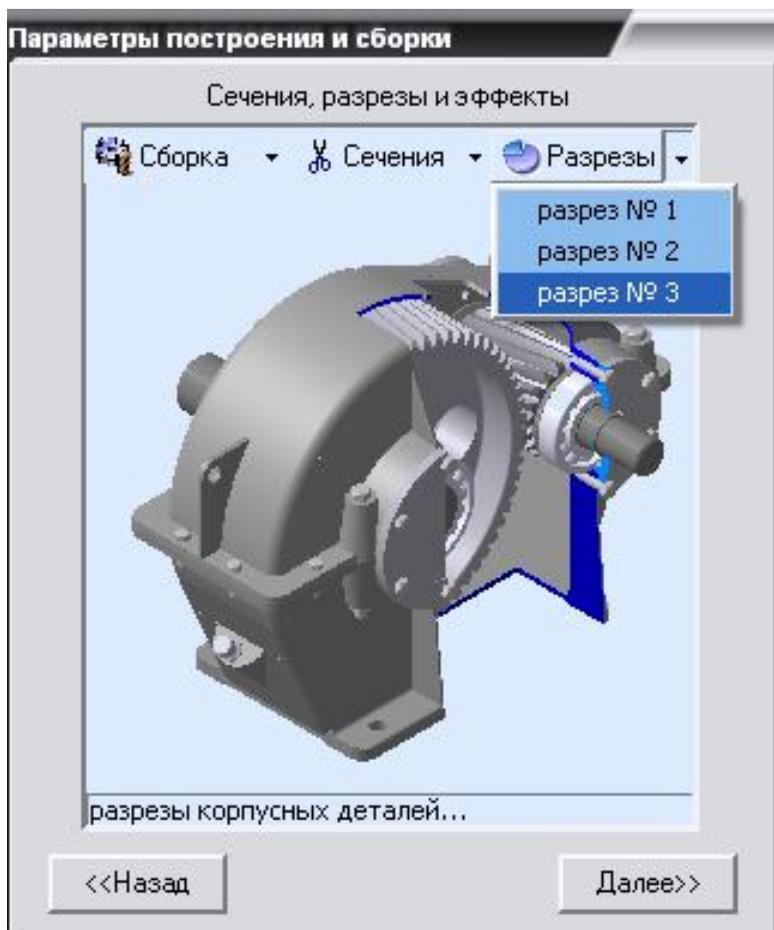


Рис 4.64. Параметры выбора разреза

На следующем скриншоте приведен результат работы библиотеки для таких данных: $M = 1500 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $\omega = 12 \text{ рад./с.}$, $u = 4$, режим работы – тяжелый, тип зубчатого зацепления – шеврон, $\psi_{ba} = 0,63$, $z_{ш} = 18$, $\beta = 22^\circ$, полная сборка, разрез №3 (рис.4.64).

Если требуется изменить какой-либо конструктивный параметр детали, выбирается сохранённая модель детали и дорабатывается с учетом требований к ней (рис.4.65).

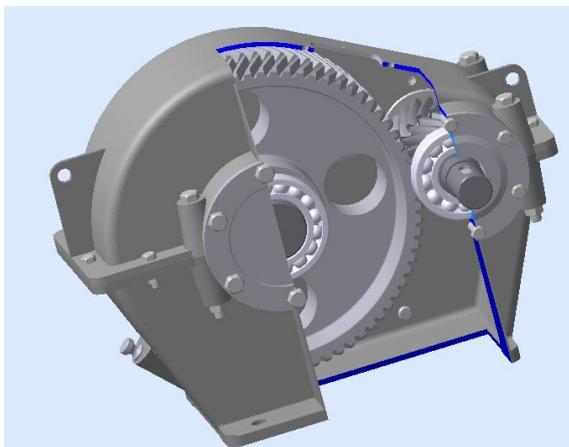


Рис.4.65. Результат расчёта цилиндрического редуктора

Конический редуктор

Конструктивные параметры конического редуктора, которые могут быть изменены:

- к.п.д. зубчатой конической передачи, 0,95...0,96;
- число зубьев шестерни $z_{ш} = 18...30$.

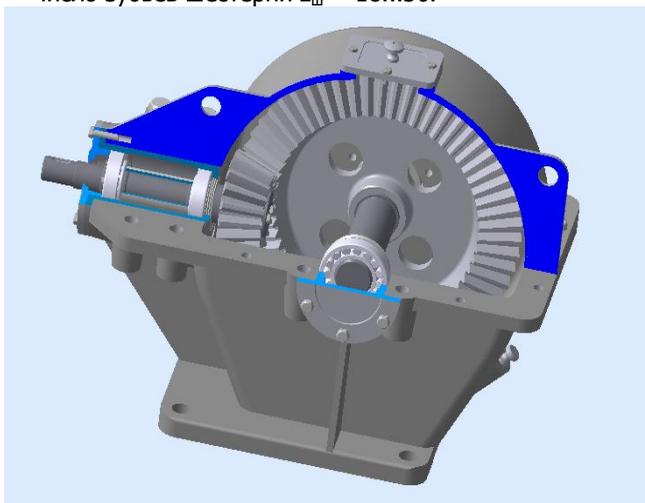


Рис. 4.66. Результат расчёта конического редуктора

Требования к проектному расчёту конического редуктора такие же как и к цилиндрическому: значения действительных контактных на-

пряжений в зацеплении не должно выходить за пределы $(0,9...1,0) \cdot [\sigma_H]$. Это достигается изменением перечисленных выше параметров.

Все остальные величины рассчитываются программой самостоятельно. После выбора материала и типа подшипников можно приступить к построению. По умолчанию для конического редуктора приняты роликовые подшипники, так как установка шариковых радиальных подшипников нежелательна из-за присутствия значительных осевых сил. При выборе шариковых подшипников программа выдаст сообщение о том, что этот тип подшипников не рекомендуется для такого редуктора, но оставит пользователю право выбора: продолжить работу с шарикоподшипниками или перейти к роликовым.

Вариант построения зубчатого конического одноступенчатого редуктора ($M = 500 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $\omega = 25 \text{ рад./с.}$, $u = 3$, режим работы – средний, $z_{\text{ш}} = 19$, $\eta = 0,96$, полная сборка, разрез №1) показан на следующем рисунке (рис.4.66).

Червячный редуктор

Этот тип редуктора имеет наибольшее количество параметров для редактирования.

Сначала выбирается размещение червяка (верхнее или нижнее), потом задается ориентировочное значение к.п.д. червячной пары, после чего нужно изменять степень точности передачи, число заходов червяка $z_{\text{ч}}$, коэффициент диаметра червяка q до тех пор, пока значение σ_H не попадет в допустимый диапазон (соответственно, метка σ_H должна быть синего цвета). Значения этих параметров изменяются с помощью ползунков или раскрывающихся списков на панели «Расчёт параметров червячного зацепления».

Общие рекомендации по подбору параметров:

- если модуль червячного колеса m выделен красным цветом, это означает, что он превысил наибольший стандартный модуль. В этом случае необходимо принять большее передаточное число U на панели «Исходные данные» или увеличить число заходов червяка $z_{\text{ч}}$;
- число зубьев колеса $z_{\text{к}}$ должно быть большим 26. Если $z_{\text{к}} < 26$, необходимо увеличить число заходов червяка до 2 или 4;
- если после этого действительные контактные напряжения всё еще находятся за пределами допустимых, можно увеличить степень точности передачи $n_{\text{ст}}$. В случае, если $n_{\text{ст}}$ и так уже равен максимальному значению 8 (в этой программе), нужно постепенно увеличивать коэффициент диаметра червяка q ;
- если ни одно из приведенных указаний не помогает, лучше всего выбрать другой материал и повторить всё сначала.

Аналогичные действия следует выполнять и тогда, когда стрела прогиба превысит допустимое значение и соответственная метка подсветится красным цветом (как правило, при этом достаточно просто увеличить передаточное число U).

После подбора всех величин можно подогнать ориентировочное значение к.п.д. под расчётное для уточнения расчёта. Подшипники

и шпонки подбираются автоматически. Выбор шарикоподшипников в червячном редукторе невозможен.

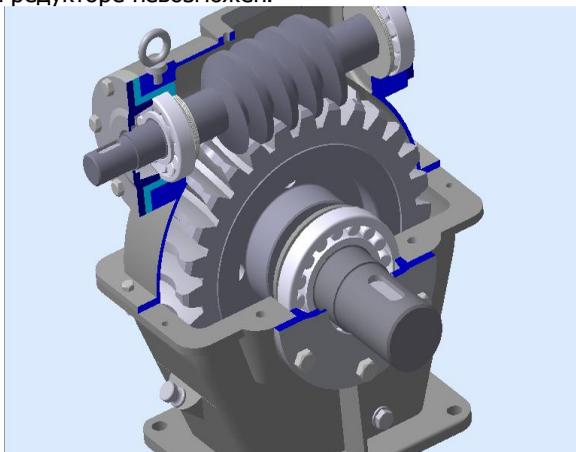


Рис.4.67. Результат расчёта червячного редуктора с угловым вырезом



Рис.4.68. Результат расчёта червячного одноступенчатого редуктора

Вариант построения червячного одноступенчатого редуктора ($M = 2100 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $\omega = 3 \text{ рад./с.}$, $u = 14$, режим работы – тяжелый, размещение червяка – верхнее, $n_{ст} = 8$, $z_ч = 2$, $q = 8$, полная сборка, разрез №1) (рис.4.67):

Вариант построения червячного одноступенчатого редуктора ($M = 1700 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $\omega = 6,8 \text{ рад./с.}$, $u = 32$, режим работы – лёгкий, размещение червяка – нижнее, $n_{ст} = 8$, $z_ч = 1$, $q = 8$, полная сборка, без разрезов) показан на рис.4.68.

Сохранение результатов построения

Каждая деталь редуктора моделируется отдельно и сохраняется отдельным файлом в директории «...\Редуктор\», путь к которой был указан в диалоговом окне «Параметры построения и сборки». Файл сборки «_РЕКДУКТОР.а3d» сохраняется там же, информация о спроектированном редукторе находится в файле «info.txt». Если среди составляющих редуктора есть составные единицы, напр. червячное колесо в червячном редукторе, то файлы отдельных деталей под сборки сохраняются в директории «...\Редуктор\Червячное колесо\», а сам файл сборки «Червячное колесо.а3d» – в директории «...\Редуктор\». Все крепёжные элементы находятся в директории «...\Редуктор\ Крепёжные элементы\».

Для создания чертежей необходимо полученные в результате расчёта трёхмерные модели спроецировать на листы. Для каждой детали и редуктора в целом необходимо создать отдельный файл чертежа по известной методике (смотри справку в программе). Число проекций и их масштаб выбирается для каждой детали индивидуально, исходя из сложности детали её габаритных размеров. Сечения и выноски, так же рекомендуется создавать в автоматизированном режиме. Для удобства простановки материалов, из которых изготовлены детали, а также для написания технических требований, рекомендуется использовать библиотеку Компаса.

1. Берлинер Э.М., Таратынов О.В. САПР в машиностроении. ФОРУМ, 2008.

2. Дементьев Ю.В., Щетинин Ю.С. САПР в автомобиле- и тракторостроении Академия, 2004

3. С.И. Пестрецов CALS – технологии в машиностроении: основы работы в CAD/CAE – системах ГОУ ВПО ТГТУ, 2010.

4. М.Е. Ерохин, С.П. Казанцев и др. Детали машин и основы конструирования. – М. КолосС, 2011. – 512 с.

5. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОЕКТИРУЕМОЙ МАШИНЫ

Организация работ относится к области эксплуатации машин. Но эффективная эксплуатация закладывается на этапе проектирования машин. Мероприятия по организации работ разрабатываются с целью реализации эксплуатационных показателей технического задания. Они включают вспомогательные процессы по подготовке машины к работе, по подготовке места работы (поля, хранилища и др.), осуществление поточности процесса: расчет необходимых транспортных средств, обеспечение работы машины сельскохозяйственными и эксплуатационными материалами или транспортом для отвоза продукции.

Мероприятия по подготовке машин к работе [38, 72, 110] – должны преследовать двоякую цель:

во-первых, обеспечить требуемое качество выполнения сельскохозяйственных работ путем регулировки рабочих органов, установкой соответствующих зазоров, рабочих углов, режимов обработки. Для этого необходимо указать, для чего, в каких пределах и какой последовательности следует производить регулировки, используя данные по обоснованию функциональной и кинематической (гидравлической), пневматической, электрической схем;

во-вторых, обеспечить требуемую надежность конструкции путем проведения мероприятий технического обслуживания и текущего ремонта. Для этого необходимо изложить последовательность, периодичность проведения вида технического обслуживания, их содержания, вид сервисного оборудования, наименование необходимых эксплуатационных материалов и запасных частей.

Мероприятия по подготовке поля к работе – направлены на сокращение непроизводительных затрат времени на холостые ходы в загоне. Выдвигаются требования и указываются средства достижения качества предшествующей обработки, обеспечивающие наилучшее выполнение работ проектируемой машиной. С учетом ограничений (сильная полеглость зерновых, эрозийная обстановка на поле из-за уклона, конфигурация поля и др.) может просчитываться и на основе расчетов приниматься наилучший вид движения в загоне (беспетлевой, челночный, вразвал, вкруговую и т.п.) с обоснованием ширины загона, с учетом обкосов, прокосов и противопожарной опашки.

Мероприятия по обеспечению проектируемой машины или агрегата транспортным средством – направлены на снижение времени простоя агрегата и обеспечения большей производительности. При этом исходят из транспортного цикла и времени заполнения бункера или расхода материала, находящегося в нем [28].

При расчетах и обоснованиях используются сведения по условиям климатических зон, машинам, взаимодействующим с проектируемой в технологическом процессе, полученные в результате обоснования функциональной и принципиальной схем. При использовании данных надо давать ссылку на раздел и страницу, откуда взяты данные для расчетов или логических построений.

Пример. Определение количества уборочных и транспортных средств при уборке свеклы.

Требуется определить, сколько комбайнов K_K , автомобилей K_A и тракторов с тележками K_T потребуется для поточной организации работ на уборке корней и ботвы в хозяйстве Краснодарского края на площади, используемой под свеклу, $П=1000$ га.

Выбираем данные для расчетов.

Урожайность корней – $Y_K=400$ ц/га, урожайность ботвы – $Y_B=350$ ц/га, агросрок уборки – $T_a=20$ дней, работа комбайнов в день $t=12$ часов (из характеристики почвенно-климатических условий).

Рассмотрена поточная технология уборки – вывоз корней на сахарный завод на расстояние $P_3=25$ км и ботвы с вывозом к силосным траншеям на расстояние $P_{cm}=5$ км. Междуурядье $v=45$ см (сведения по технологическим сельхозпроцессам).

Рабочая скорость комбайна $C_K=6$ км/ч, число убираемых рядков $n=6$, коэффициент использования рабочего времени смены $\tau=0,7$; (ТЗ и расчеты).

Средняя транспортная скорость самосвала, используемого на вывозе корней $C_A=60$ км/ч, трактора с тележкой $C_T=15$ км/ч. Объем кузова автомобиля $O_a=15$ м³; объем тележки $O_m=28$ м³. Время разгрузки самосвала на сахарном заводе $t_{pa}=10$ мин (учитывается взвешивание и оформление), время разгрузки тележки $t_{рт}=3$ мин (сведения по машинам, взаимодействующим с проектируемой в технологическом процессе).

Насыпная плотность корней $n_k=750$ кг/м³, ботвы – $n_b=200$ кг/м³ (технологические свойства обрабатываемых материалов).

Расчет требуемого количества комбайнов.

Производительность комбайна W , га/ч:

$$W = 0,1 \text{ в } n \text{ } C_K \tau = 0,1 \times 0,45 \times 6 \times 8,5 \times 0,7 = 1,6 \text{ га/ч.}$$

Выработка комбайна за день W_D и агросрок W_A :

$$W_D = W t = 1,6 \times 12 = 19 \text{ га/день;}$$

$$W_A = W_D T_a = 19 \times 20 = 380 \text{ га/сезон.}$$

Потребное количество комбайнов K_K :

$$K_K = \Pi / W_A = 1000 / 380 = 2,6 \approx 3 \text{ комбайна.}$$

Количество корней q_K , т/ч и ботвы q_B , т/ч, убираемых комбайном за час:

$$q_K = Y_K W = 40 \times 1,6 = 64 \text{ т/ч;}$$

$$q_B = Y_B W = 35 \times 1,6 = 56 \text{ т/ч.}$$

Вместимость M_a и время заполнения $T_{за}$ самосвала корнями и тракторной тележки ботвой – M_m и $T_{зм}$:

$$M_a = O_a n_K = 15 \times 0,70 = 10,5 \text{ т/ч;}$$

$$M_m = O_m n_B = 28 \times 0,2 = 5,6 \text{ т/ч;}$$

$$T_{за} = M_a / q_K = 10,5 / 64 = 0,164 \text{ ч (9,8 мин);}$$

$$T_{зм} = M_m / q_B = 0,1 \text{ ч (6 мин).}$$

Время транспортного цикла автомобиля $T_{ца}$ и трактора с тележкой $T_{цт}$ складывается из времени переезда $T_{на}$, T_{nm} , загрузки $T_{за}$, $T_{зм}$ и разгрузки t_{pa} , t_{pm} :

$$T_{ца} = T_{на} + T_{за} + t_{pa} = 2P_3 / C_A + T_{за} + t_{pa} = 2 \times 25 / 60 + 0,164 + 0,166 = 1,16 \text{ ч;}$$

$$T_{цт} = T_{nm} + T_{зм} + t_{pm} = 2P_{cm} / C_T + T_{за} + t_{pa} = 2 \times 5 / 15 + 0,1 + 0,05 = 0,817 \text{ ч.}$$

За 1 час автомобиль перевезет $q_a = M_a / T_{ца} = 10,5 / 1,16 = 9,05 \text{ т/ч.}$

За 1 час трактор перевезет $q_m = M_m / T_{цт} = 5,6 / 0,817 = 6,85 \text{ т/ч.}$

Расчет требуемого количества автомобилей и тракторов с тележками:

$$K_A = q_K / q_a = 64 / 9,05 = 7,07 \approx 7 \text{ автомобилей (самосвалов);}$$

$$K_T = q_m / q_m = 56 / 6,85 = 8,1 \approx 8 \text{ тракторов с тележками.}$$

Очевидно поточно - перевалочная технология уборки корней – вывоз корней с укладкой в кагаты вблизи поля с расстоянием $P_K = 1 \text{ км}$ для последующей очистки и вывоза на сахарный завод круглосуточно с поточной технологией уборки ботвы с более вместимыми тележками дадут меньшую потребность в транспортных средствах.

6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

6.1. Цели, задачи и содержание курсового проекта по технологии сельскохозяйственного машиностроения и технологической части дипломного проекта

В процессе изучения производства сельскохозяйственных машин и оборудования студент выполняет курсовой проект по технологии сельскохозяйственного машиностроения (ТСХМ) и технологическую часть дипломного проекта.

Целью курсового проекта является:

- развитие навыков самостоятельной работы при проектировании рациональных технологических процессов изготовления деталей и сборке сборочных единиц (СЕ);
- закрепление знаний, полученных во время технологической практики и при изучении курса ТСХМ;
- развитие способностей оценивать конструкции деталей и СЕ с позиций технологичности и норм точности в соответствии с их служебным назначением;
- подготовка к выполнению дипломного проекта.

Темы курсовых проектов должны опираться на конкретные задачи, решаемые инженером-технологом в сборочном и механическом цехах. В качестве примера можно рекомендовать следующие темы:

- «Разработать маршрутную технологию сборки активного шкива вариатора привода мотвила жатки зерноуборочного комбайна и механической обработки его диска. Годовой выпуск 70000 комбайнов».
- «Разработать маршрутную технологию сборки и окраски опорного колеса культиватора и механической обработки ступицы колеса. Годовой выпуск 40000 культиваторов».

Предпочтение отдается темам, которые можно использовать для внедрения в производство или учебный процесс, или имеющим научно-исследовательский характер.

Чаще всего курсовой проект является продолжением и развитием работ, начатых студентом в ходе технологической практики. Задание на курсовой проект утверждается заведующим кафедрой «СХМ и О». Технологическая часть дипломного проекта основывается на учебной дисциплине «ТСХМ», курсовом проекте по ТСХМ и преддипломной практике. В этой части студент должен подтвердить умение применять полученные знания при решении задач, связанных с подготовкой, организацией и реализацией процесса производства одной из сельскохозяйственных машин или модернизированной СЕ этой машины. В выполненной работе должны найти отражение вопросы по обеспечению точности сборки, комплексной механизации и автоматизации заво-

дского производства, использование современных материалов, оборудования, оснастки и инструмента.

Курсовой проект по ТСХМ и технологическая часть дипломного проекта включают пояснительную записку и графическую часть. Пояснительная записка составляется в последовательности рубрикации, изложенной в табл.б.1.

Таблица 6.1

Содержание текстовых частей проектов

Курсовой проект по ТСХМ	Технологическая часть дипломного проекта
1	2
<p>Аннотация</p> <p>Введение</p> <p>1. Служебное назначение и конструктивно-технологические особенности заданной СЕ и ее основных деталей.</p> <p>2. Технические требования и нормы точности, предъявляемые к объекту разработки.</p> <p>3. Выбор варианта получения заготовки для заданной детали.</p> <p>4. Формирование операций механической и химико-термической обработок заданной детали.</p> <p>5. Расчет размеров заготовки с учетом припусков на механическую обработку и формоизменяющих операций.</p> <p>6. Качественный анализ и количественная оценка технологичности заданной детали.</p> <p>7. Составление вариантов схем сборки СЕ. Анализ конкурирующих вариантов.</p> <p>8. Проектирование сборочных операций с ориентацией на крупносерийное производство.</p>	<p>Введение</p> <p>1. Служебное назначение и конструктивно-технологические особенности заданных СЕ и машины (орудия) в целом.</p> <p>2. Технологические требования и нормы точности, предъявляемые к объекту разработки.</p> <p>3. Обеспечение точности сборки и взаимозаменяемости деталей в СЕ.</p> <p>4. Качественный анализ и количественная оценка технологичности СЕ и изделия в целом.</p> <p>5. Составление вариантов схем сборки модернизируемой СЕ или изделия. Анализ конкурирующих вариантов.</p> <p>6. Проектирование операций сборки.</p> <p>7. Определение типа производства, его организационных форм, способов автоматизации.</p> <p>8. Технология нанесения защитно-декоративных покрытий на детали и СЕ.</p>

Окончание табл.6.1

1	2
9. Методы и средства контроля изготовления деталей. 10. Предложения о повышении технологичности заданных в проекте детали и СЕ. 11. Перечень используемой литературы. 12. Приложения, в том числе спецификации. 13. Оглавление.	9. Контроль сборочных работ. 10. Предложения о повышении технологичности деталей, СЕ и изделия. 11. Перечень используемой литературы. Приложения и оглавление включаются в соответствующие разделы дипломного проекта.

Титульный лист пояснительной записки курсового проекта является первым листом этого документа. Он должен содержать полное название учебного заведения и кафедры, в которых выполняется проект, наименование темы; фамилию, инициалы и подпись студента; фамилию, инициалы и подпись руководителя курсового проекта. На первой странице технологической части дипломного проекта должен быть высокий штамп.

Пояснительная записка должна быть краткой, но последовательно отражать все разделы (см. табл.6.1). Для иллюстрации излагаемого материала нужно приводить графики, схемы, эскизы, таблицы и фотографии. Расчеты должны сопровождаться ссылками на источники, в том числе литературу, из которых заимствованы формулы, коэффициенты, физико-механические свойства материалов и другие данные.

Пояснительная записка должна дополнять то, что представлено на эскизах и чертежах, а не пересказывать этот материал. Например, поясняя операцию механической обработки, мало сказать, что она выполняется на каком-то станке и в качестве установочной базы используется какая-то поверхность. Все это видно из эскиза. Важно объяснить, почему выбраны этот станок или базовая поверхность. Этот принцип должен быть выдержан по всей записке.

Список литературы должен включать только те источники, которые использованы при работе над проектом.

Графическая часть курсового проекта и технологической части дипломного проекта выполняется на четырех предметных листах (табл.6.2).

Таблица 6.2

Графическая часть

Курсовой проект по ТСХМ	Технологическая часть дипломного проекта
1. Рабочий чертеж СЕ. 2.* Разработка и анализ вариантов схем сборки СЕ. 3.* Карта наладок механической обработки детали. 4. Приспособление для механической обработки. 5. Планировка участка сборки СЕ. 6.* Эскизы сборочных операций СЕ.	1.* Разработка и анализ вариантов схем сборки СЕ, усовершенствованной в процессе дипломного проектирования. 2.* Эскизы сборочных операций усовершенствованной СЕ. 3. Графическая иллюстрация расчета размерной цепи. 4. Приспособление для сборки, регулировки или испытания изделия. 5. Планировка механосборочного цеха.

Выполнение листов, отмеченных «*», обязательно. Остальные листы назначает руководитель проекта. Графическая часть выполняется в соответствии с ЕСКД и стандартом предприятия СТП-2001 на листах формата А1 (841x597).

Эскизы наладок на механическую обработку детали и сборочных операций выполняют в произвольном, но постоянном масштабе в технологической последовательности (прил.12, 14). Идентичные операции (черновая и чистовая обработка) можно дублировать, достаточно указать соответствующие технологические переходы (операции).

Базирующие поверхности и приспособления в каждой установке показывают условными обозначениями (ГОСТ 3.1107-81), а обработанные на данной операции (переходе) поверхности следует выделять цветом или толщиной линии. На эскизах обязательно указываются: инструмент в конце своего рабочего хода; характер и направление движения инструмента и заготовки; размеры и шероховатость после каждой из обработок. Некоторые подробности конструкции детали (не связанные с обработкой, базированием, закреплением) можно опустить. По каждому технологическому переходу указывают режимы резания (глубина, скорость резания, подача), ориентируясь на справочные данные [89].

В материалах, отражающих технологические процессы сборки, необходимо учесть все операции сборки и контроля, включая транспортирование, мойку, балансировку, консервацию и т.д. В комментариях к вариантам схем сборки необходимо указывать особенности соединения деталей, оборудование и режим сварки, способы центрирования, усилие затяжки резьбового соединения, характер посадки подшипников и т.д. Для наглядности допускается отображать цветным карандашом элементы, присоединяемые в каждой операции.

Эскизы наладок и сборочных операций должны сопровождаться описанием, в котором содержится название операций и технологического перехода, данные о средствах технологического оснащения, оперативное время.

6.2. Служебное назначение и конструктивно-технические особенности изделия (СЕ и ее основных деталей)

Пояснительная записка начинается введением, основное содержание которого регламентируется ГОСТ 2.106-95. Введение обязательно должно быть логически связано с темой проекта, обоснованием ее важности и актуальности.

В введении необходимо отметить особенности сельскохозяйственных машин, оказывающих влияние на характер их изготовления, требования к надежности, взаимозаменяемости, унификации, защите поверхностного слоя деталей. Следует показать, за счет каких мероприятий можно повысить качество и точность изготовления продукции без значительного повышения ее себестоимости.

Под служебным назначением понимают цель, для достижения которой используется изделие. Здесь же необходимо указать все дополнительные условия и требования, которые конкретизируют служебное назначение: передаваемая энергия; надежность; подверженность абразивному износу; требования к внешнему виду; безопасности работы; удобству обслуживания и ремонта; коэффициенту полезного действия; необходимости смазки. При этом необходимо стремиться к количественному выражению этих характеристик с учетом допусков на них. Могут приводиться и качественные показатели.

При описании конструкции проектируемого объекта используются его чертеж и спецификация. Указывается состав, взаимная фиксация и расположение частей изделия. Необходимо показать, как взаимодействуют эти части при выполнении своего служебного назначения, каким образом выполняются возможные регулировки. Одновременно следует указывать функциональное назначение деталей изделия, что в дальнейшем позволит оценить их технологичность. Для этого предварительно поверхности заданной детали нумеруются и выделяются те из них, которые имеют решающее значение для выполнения своего служебного назначения. После этого дается краткое описание условий работы детали и заключение о правильности выбора конструктором материала и возможности его замены [37]. Кроме этого проектант может предложить техническое решение по снижению материалоемкости детали, например, за счет применения калиброванного проката вместо горячекатаного, использования наплавки на отдельных поверхностях детали и т.д.

Далее следует проанализировать технические требования и нормы точности, предъявляемые к объекту разработки. Обычно технические требования имеют описательный характер. *Например:*

- Звездочка должна свободно и плавно вращаться от руки.
- Лопаста вентилятора не должны задевать его кожух.

Нормы точности выражаются количественно. *Например:*

- Момент затяжки гайки М 14 в пределах 80-90 Нм.
- Радиальное биение зубьев звездочки не должно превышать 0,5 мм и т.д.

Связь технических условий и служебного назначения основывается на:

- существовании аналитических зависимостей;
- экспериментальных исследованиях;
- суждениях логического характера, вытекающих из опыта конструирования и эксплуатации аналогичных изделий;
- общепринятых, традиционных решениях, вытекающих из требований технической эстетики, конкурентной способности изделий и т.п.

При описании вышеуказанных связей проектант должен подробно указывать последствия, к которым может привести невыполнение какого-либо технического условия. *Например,* отсутствие свободного вращения звездочки может привести к перегреву и повышенному износу подшипника, т.е. снизить ресурс и работоспособность передачи. Момент затяжки гайки М 14 не может быть меньше 80 Нм, так как это приведет к ее отвинчиванию при вибрации, а больше 90 Нм – вызвать смятие резьбы при затяжке.

Радиальное биение, осевое смещение и перекося звездочек цепной передачи определяются по ГОСТ 23.2.44-80 и зависят от их геометрии и кинематики передачи. Повышенные значения этих норм точности приводят к дополнительным нагрузкам на зубья, повышенному износу и даже соскакиванию цепи.

В конце этого раздела необходимо оценить достаточность технических требований и норм точности, сформулированных в заводских документах.

6.3. Технологический процесс изготовления детали, заданной в проекте

6.3.1. Выбор варианта получения заготовки для детали

Заготовка является полуфабрикатом, который используется для изготовления детали путем механической и термической обработок, нанесения защитно-декоративного покрытия или другим способом [35, 40]. Выбор заготовки – творческий процесс, основанный на знаниях и кругозоре инженера и возможностях производства.

В разделе необходимо указать не менее трех вариантов заготовок с учетом способа их изготовления и используемого материала. *Например*, возможны не менее девяти вариантов изготовления шкива клиноременной передачи (табл.6.3), прижим режущего аппарата может быть получен отливкой из СЧ 15, штамповкой из листового материала Ст.3 или штамповкой; звездочка цепной передачи может быть получена литьем из модифицированного чугуна, штамповкой из листа Ст.65Г, поковкой из Ст.45 и даже из металлокерамики.

Таблица 6.3

Рекомендуемые марки материалов для деталей типа шкивов

Основные факторы, определяющие выбор материала		Наименование и марка материала	Примечание
максимально допустимая окружная скорость, м/с	максимально допустимый наружный диаметр, мм		
1	2	3	4
До 30	До 350	Серый чугун СЧ 15	Толщина стенки 8-15 мм. Невысокие требования к износостойкости
	До 500	Серый чугун СЧ 18	Толщина стенки 8-25 мм
Свыше 30 до 45	До 500	Модифицированные чугуны ($\sigma_b=300-400$ МПа), стальные отливки из 15 Л	-
До 60	Свыше 500	Ст.3	Ободы, диски, спицы
		Среднеуглеродистые стали	Ступицы, сварные и сборочные шкивы

Окончание табл. 6.3

1	2	3	4
---	---	---	---

Свыше 60 до 80	До 350	Неметаллические материалы: тесколит, волокнит	-
Свыше 80 до 100	До 500	Алюминиевые сплавы: АЛ 9	Отливки или заготовки, обработанные резанием
	Св.500	Алюминиевые сплавы: АЛ 4	

Заготовкой ступенчатого вала может быть круглый сортовой прокат из качественной стали, поковка из Ст. 20 или Ст. 45 с последующей химико-термической обработкой. При анализе этих вариантов необходимо учитывать ограничения, связанные с характером производства, соответствия выбранного материала способу получения заготовки, а также служебному назначению и конфигурации детали [35]. Следует также определить основные технико-экономические показатели (трудозатраты и материалоемкость) по вышеуказанным вариантам. Величину трудозатрат можно оценить эмпирической зависимостью [90]

$$t_B = k_n am_i^q,$$

где t_B - ожидаемая трудоемкость изготовления детали в нормо-часах;

k_n - коэффициент, учитывающий масштаб производства; m_i - масса детали, кг; a, q - коэффициенты, учитывающие влияние материала, способа изготовления и другие характеристики (табл.6.4).

Таблица 6.4

Значение постоянных a и q для деталей различных видов

Вид обработки	Метод изготовления	Материал и вид заготовки	Характеристика конструкции	Коэффициенты	
				a	q
1	2	3	4	5	6
Литые	Машинная формовка по металлическим моделям	Серый чугун	Простые Сложные	0,029 0,045	0,65 0,58
		Ковкий чугун	Простые Сложные	0,047 0,058	0,72 0,66
		Стальное литье	Простые Сложные	0,031 0,050	0,70 0,65

Окончание табл.6.4

1	2	3	4	5	6	
Штампованные	Горячая объемная штамповка Горячая гибка	Горячекатаная сталь	Простые	0,029	0,60	
			Сложные	0,058	0,44	
	Холодная штамповка	Тонкий лист, $s < 4$ мм	Плоские, получаемые вырубкой	Простые	0,012	0,30
				Сложные	0,024	0,43
		Толстый лист, $s > 4$ мм		0,005	0,03	
		Листовой прокат	Полые, получаемые вытяжкой	0,021	0,51	
Тянутые	Получаемые высадкой	0,014	0,47			
Подвергающиеся механической обработке	Обработка на металло-режущих станках	Литые заготовки (машинная формовка по металлическим моделям)	Втулки, диски	0,044	0,53	
			Корпусные сложные	0,082	0,74	
			Корпусные простые	0,055	0,34	
			Шестерни и звездочки	0,077	0,68	
			Рычаги и вилки	0,025	0,20	
		Заготовки, получаемые объемной штамповкой	Валы ступенчатые	0,276	0,70	
			Валы шлицевые и валы шестерни	0,139	0,59	
			Втулки и диски	0,130	0,37	
			Шестерни и звездочки	0,178	0,38	
			Шатуны и крестовины	0,244	0,74	
			Рычаги	0,119	0,53	
		Горячекатаный прокат	Валы ступенчатые простые	0,070	0,40	
			Валы ступенчатые сложные	0,100	0,40	
		Холоднотянутые заготовки	Валы	0,045	0,58	

Коэффициент использования материала можно оценить с помощью табл.6.5. В общей стоимости продукции машиностроения удельный вес затрат на материал составляет 50-80%. Поэтому в серийном производстве для снижения материалоемкости и уменьшения объема лезвийной обработки коэффициент использования материала должен превышать 70-75%.

Таблица 6.5

Средний коэффициент использования материала
при изготовлении деталей сельскохозяйственных машин

Показатели	Метод получения деталей	Механическая обработка		
		отсутствует	частичная	полная
Литые детали	Машинная формовка по металлическим моделям	0,50-0,70	0,37-0,53	
Детали, получаемые объемной штамповкой	Объемная штамповка на молотах	0,77-0,83	0,50-0,67	0,40-0,52
	Горячая гибка	0,90-0,95	0,87-0,90	-
Детали, штампуемые из листа (малоотходная и безотходная штамповка)	Штамповка из толстого листа, $s > 4$ мм	0,80-0,87	0,77-0,83	-
	Штамповка из тонкого листа, $s < 4$ мм	0,83-0,90	-	-
Детали из проката	Горячекатаные	0,87-0,95	0,77-0,87	0,62-0,68
	Холоднотянутые	0,95-0,97	0,90-0,945	-

После выбора заготовки должна быть полная определенность в назначении материала, способа получения заготовки, необходимости термообработки, величине литейных или штамповочных уклонов и радиусов, степени ее подготовки к механической обработке или к сборке.

6.3.2. Формирование операций механической и химико-термической обработок

Операция – это законченная часть технологического процесса, которая выполняется на одном рабочем месте. Поэтому при формировании операции одновременно устанавливается вид оборудования, который определяет название операции: «шлифовальная», «фрезерная», «строгальная» и т.д.

Технологический переход – это законченная часть операции, которая характеризуется постоянством применяемых инструментов и поверхностей, образованных при мехобработке или сборке. Технологический переход формулируется в повелительном наклонении, например:

- «Перевернуть заготовку на 180° и установить в 3-кулачковый патрон»;
- «Точить поверхность до $\varnothing 32$ мм на длине 100 мм при шероховатости $\sqrt{Ra25}$ »;
- «Закрепить крышку тремя болтами М8х20 с шайбами 8Н65Г».

Каждой операции присваивается номер: 005, 010, 017, 120 и т.д. Технологическому переходу присваивается номер внутри операции: 1, 2, 3, ... без пропусков.

Последовательность операций должна обеспечить экономически целесообразный переход от заготовки к детали. Последовательность обработки зависит от вида детали [33, 52].

Вначале обрабатывают поверхности, которые являются базами для дальнейшей обработки: центровые отверстия; внутренние поверхности втулок; плоские поверхности и т.д. Для повышения точности изготовления желательно, чтобы эти поверхности являлись также конструкторскими базами, относительно которых задано положение большинства других поверхностей детали.

Валы и оси могут быть жесткими ($L/D \leq 10$) и нежесткими ($L/D > 10$), где L - длина вала; D - диаметр его в средней части. Жесткие валы могут обрабатываться на токарных станках в патронах и в центрах. Нежесткие требуют дополнительного применения подвижных или неподвижных люнетов. Изготовление валов из круглых прутков чаще всего включает следующие этапы:

- 1) правка на правильно калибровочных машинах;
- 2) нарезание заготовок на пресс-ножницах, ножовочных, фрезерно-отрезных и других станках;
- 3) подрезание обоих торцов и центрование заготовки на фрезерно-центровальных станках;
- 4) черновое и чистовое обтачивание на токарных станках, многошпиндельных, многорезцовых полуавтоматах или гидрокопировальных полуавтоматах;
- 5) образование шпоночных пазов производится на универсальных горизонтально-фрезерных станках дисковыми фрезами; на шпоночно-фрезерных станках концевой фрезой маятниковым способом; шлицевые зубья получают фрезерованием с последующим шлифованием или холодным накатыванием;
- 6) сверление отверстий;
- 7) нарезание резьбы. В серийном и массовом производствах резьбы средней точности ($6g, 6h, 6H$) получают на резьботокарных или резьбонарезных полуавтоматах; менее точные резьбы ($8g, 8h, 7H, 7G$) - на резьбофрезерных и токарно-револьверных полуавтоматах. В мелкосерийном производстве используются токарно-винторезные станки;
- 8) термическая обработка;
- 9) чистовое шлифование шеек.

При обработке втулок из штучных полых заготовок (поковки, трубы) целесообразна такая последовательность:

1) зенкерование и чистовая обработка отверстия, подрезание торца и снятие фасок. При необходимости протяжка (прошивка) шлицевой поверхности;

2) черновое и чистовое обтачивание наружной поверхности, обработка бурта, проточка канавок и др.;

3) сверление второстепенных отверстий, канавок, нарезание резьбы и др.

Вышеуказанные операции выполняют на специальных станках (сверлильных, протяжных, внутришлифовальных и др.) или на универсальных токарных, револьверных, многошпиндельных полуавтоматах и др.

Обработка втулок из прутков обычно выполняется с одного станова на токарно-револьверном станке или автомате в следующем порядке:

- подрезка торца;
- подача прутка до упора;
- зацентровка под сверление;
- сверление отверстия;
- черновое и чистовое обтачивание;
- снятие фасок;
- развертывание отверстия;
- отрезка.

Конструктивной особенностью шестерен, звездочек, шкивов, дисков, маховиков является отношение толщины к диаметру меньше 0,5. Заготовками этих деталей служат отливки, штамповки, круглый и листовой прокат. Детали этого класса имеют общую схему обработки: вначале обрабатывается центральное отверстие и торцы, используемые в качестве технологических баз на последующих операциях. Далее производят протягивание шлицев или шпоночной канавки, иногда предварительно протягивается отверстие в ступице. Обработка наружных поверхностей производится на многолезцовом полуавтомате после установки детали на шлицевой (шпоночной) оправке. В зависимости от типа производства и требуемой точности зубья шестерен получают фрезерованием, протягиванием, зубодолблением, зуботочением или накатыванием с осевой или радиальной подачей. При необходимости проводят шевингование или шлифование зубьев.

Корпусные детали (коробки и крышки редукторов, корпуса водяных насосов и др.) имеют сложную конфигурацию, большое число различных по форме и размерам поверхностей и отверстий. Для высокой точности их обработки в качестве установочной базы выбирают плоскость со значительной протяженностью и два технологических отверстия на этой базе. Типовая схема обработки корпусной детали:

1) обработка базовой плоскости и изготовление двух технологических отверстий на возможно большем расстоянии друг от друга;

- 2) обработка основных плоскостей и базовых конструкторских отверстий;
- 3) фрезерование второстепенных плоскостей;
- 4) обработка крепежных отверстий.

В качестве технологической базы может быть использовано конструктивное отверстие достаточного диаметра.

Для обработки корпусных деталей используются протяжные, фрезерные, расточные, сверлильные универсальные станки и даже автоматические линии.

Детали, длина которых более чем в 2 раза превышает размеры поперечного сечения и которые не имеют форму тел вращения, относят к классу «некруглые стержни». Это рычаги, тяги, серьги, вилки, шатуны, коромысла и другие. Обрабатываемые поверхности в этих деталях незначительны и имеют вид площадок, бобышек или ступиц с отверстием.

Точность обработки отверстий 6-8 IT, а шероховатость $Ra = 0,63 - 2,5$ мкм. Особое внимание уделяют взаимной точности расположения отверстий и непараллельности их осей.

Детали класса «некруглые стержни» обрабатывают в следующей последовательности:

- 1) черновая и чистовая обработки основных отверстий и их торцов;
- 2) изготовление шпоночных пазов, сверление и другие второстепенные операции;
- 3) финишная обработка (при необходимости) основных отверстий и их торцов.

При изготовлении более сложных деталей в качестве первой базы выбирают поверхность, которая остается черновой даже в конце механической обработки. По этой базе обрабатывается поверхность, которая служит установочной базой для остальных операций. Такая чистовая база должна иметь точность в 2-3 раза выше, чем поверхности, которые по ней обрабатываются.

В крайнем случае заготовку базируют на последовательно сменяемых обработанных поверхностях. Это ведет к накоплению погрешностей, так как нарушается принцип постоянства баз. Совпадение технологической и конструкторской баз обеспечивает максимальную точность детали.

Далее, для каждой обрабатываемой поверхности детали следует наметить последовательность обработки. Решение этой задачи состоит из двух этапов:

- 1) по известным качеству точности и шероховатости конкретной поверхности выбирают метод конечной обработки;
- 2) базируясь на исходном состоянии заготовки и методе конечной обработки, устанавливают промежуточные методы. При этом ис-

пользуются таблицы экономической точности различных методов обработки [99]. Чем точнее поверхность, тем позднее она обрабатывается.

При формировании техпроцесса механической обработки детали желательно группировать однотипные черновые обработки отдельных поверхностей в операцию черновой обработки, чистовые обработки группировать в операции чистовой обработки и т.д. Выбор станков, режущего инструмента и мерительного инструмента производится с учетом принципов концентрации и дифференциации операций.

В зависимости от выбранного проектантом типа станка повышение производительности труда достигается применением многолезцовых настроек или одновременной обработкой нескольких заготовок. Специфические особенности в план изготовления детали вносит ее химико-термическая обработка.

Сквозная (объемная) закалка и отпуск создают твердость $HRC < 40$ ($HB < 390$), что позволяет вести обработку лезвийным инструментом, в том числе протяжками. Закалку и отпуск таких деталей чаще всего проводят после черновой обработки перед чистовой.

Химико-термическая обработка и закалка *ТВЧ* создают на поверхности твердость $HRC > 40$. Если такой обработке подвергается вся поверхность детали, то она осуществляется после лезвийной обработки перед шлифованием. В деталях СХМ вышеуказанную обработку назначают только для отдельных поверхностей. Например, термообработка недопустима для резьб. Для защиты поверхности от химико-термической обработки их омедняют при цементации, проводят лужение (покрывают оловом) при азотировании или оставляют повышенные припуски. В последнем из вариантов проводят насыщение всех поверхностей детали углеродом или азотом. Затем снимают ранее оставленные повышенные припуски вместе с углеродом или азотом. На конечной операции проводят закалку поверхностей, сохранивших углерод или азот. Это надежный, но трудоемкий способ, так как заготовку приходится многократно перемещать по цехам завода для мехобработки и термообработки.

6.3.3. Расчет размеров заготовки с учетом припусков на обработку резанием и формоизменяющих операций

Для получения детали в соответствии с чертежом с поверхности заготовки снимают слой металла – «припуск».

Для определения размеров заготовки необходимо знать размеры детали и общие припуски на эти размеры. Если поверхность заготовки обрабатывается последовательно несколько раз, то общий припуск будет равен сумме припусков по каждой операции. Следует различать односторонний и двухсторонний припуски.

Размер припуска определяет точность получения размера детали, качество обработанной поверхности, расход металла в стружку, производительность и экономичность обработки. При недостаточном припуске возникает брак из-за высокой шероховатости поверхности, остатков дефектного слоя, погрешностей формы детали или низкой точности размеров детали. Оптимальный операционный припуск позволяет определить промежуточные размеры заготовки, подобрать режущие и мерительные инструменты.

На практике применяют два подхода к определению припуска при обработке заготовки резанием [34, 75, 79, 89]. В первом варианте (серийное производство) вначале определяют припуски по каждой операции. Их суммирование позволяет определить общий припуск и в конечном счете размер заготовки.

Операционные припуски на механическую обработку зависят от состояния обрабатываемой поверхности - шероховатости, глубины дефектного слоя, погрешностей формы (коробление, кривизна прутка и т.п.) и погрешности установки заготовки в приспособлении. Величину припуска можно уменьшить за счет повышения точности заготовки путем ее правки, использования специальных видов литья (под давлением, в кокиль и т.п.), применением объемной штамповки с калибровкой, использованием индукционного нагрева при получении заготовки или других прогрессивных приемов.

Во втором варианте (единичное и мелкосерийное производство), используя специальные нормативы, определяют сразу общий припуск. Так как условия обработки усредняются, то общий припуск оказывается завышенным. В дальнейшем этот припуск разделяют на операционные, ориентируясь на принцип прогрессивного убывания по мере повышения точности заготовки.

При расчете по первому варианту минимальный двухсторонний припуск, удаляемый в i -й операции,

$$2Z_i^{\min} = 2(R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i),$$

где $R_{Z_{i-1}}$ - высота неровностей, возникших в $(i-1)$ операции;

T_{i-1} - глубина дефектного слоя, образованного в операции $(i-1)$. Это наклеп, микротрещины, обезуглероживание, раковины

и т.д.; ρ_{i-1} - погрешность формы заготовки, возникшая в операции $(i-1)$ (коробление, кривизна прутка, смещение оси отверстия при сверлении и т.д.); ε_i - погрешность установки заготовки в i -й операции по причине неточности приспособления, деформации зажима, износа кулачков и т.д.

В зависимости от принятого типа производства студент должен определить размер заготовки и операционные припуски по одному из вариантов.

При формоизменяющих операциях листовой штамповки (гибка, вытяжка и др.) в наружных поверхностях заготовки возникают напряжения растяжения, на внутренних поверхностях напряжения сжатия. В результате возникает удлинение одних волокон металла, сокращение других. Поэтому размер заготовки определяют по нейтральной плоскости. Для облегчения расчетов конфигурацию детали условно разделяют на фрагменты простой геометрической формы.

Длина заготовки гнутой детали равна развернутой длине ее нейтральной линии

$$L_p = \sum_{i=1}^m l_i + \frac{\pi}{180} \sum_{j=1}^k \alpha_j R_j,$$

где m - число прямолинейных участков на детали; l_i - длины этих прямолинейных участков; α_j, R_j - соответственно угол и радиус по нейтральной линии изогнутых участков; k - число криволинейных участков на детали.

Для цилиндрической детали, полученной вытяжкой, заготовкой является круг. Его диаметр D_3 определяется из условия равенства средней поверхности готовой детали F_0 и заготовки. Из условия их равенства

$$\frac{\pi D_3^2}{4} = F_0$$

получим

$$D_3 \approx 1,13 \sqrt{F_0} = 1,13 \sqrt{\sum_{j=1}^n F_j},$$

где F_j - площади отдельных элементарных участков детали; n - число таких участков.

Например, для цилиндрической детали с дном диаметр плоской заготовки

$$D_3 = \sqrt{D^2 + 4DH},$$

где D - диаметр детали по нейтральной линии; H - высота детали.

Размер плоской заготовки иногда увеличивают на 1-2%, если требуется обрезка детали по контуру.

6.4. Качественный анализ и количественная оценка технологичности объекта проектирования

Технологичность изделия (ГОСТ 14203-73) – это совокупность его свойств, которые обеспечивают минимальные затраты на изготовление и эксплуатацию при заданной программе выпуска и безусловном обеспечении потребительских свойств. Степень технологичности нового изделия устанавливается сравнением его показателей с аналогичными показателями базового изделия. В проекте должны быть охарактеризованы показатели рациональности, ресурсоемкости и преемственности; в том числе степень использования стандартных, нормализованных и унифицированных элементов (см. п.6.4.2). *Например*, пальцевый режущий аппарат жатки состоит из деталей, большинство из которых нормализовано. Поэтому его изготовление в заводских условиях не представляет сложности, в производстве он технологичен. В эксплуатации он требует частых и разнообразных регулировок для обеспечения оптимальных зазоров между подвижными и неподвижными элементами. Следовательно, в эксплуатационных условиях его технологичность невысокая. В то же время пальцевый режущий аппарат имеет удовлетворительную ремонтпригодность, все его детали взаимозаменяемы.

Требования технологичности конкретны в зависимости от возможностей и характера производства (единичное, серийное, массовое), достигнутого уровня унификации, вида исходной заготовки и т.д. В проекте должны быть строго разграничены требования технологичности к машине (орудию), СЕ и к деталям.

В соответствии с ГОСТ 2.121-73 вся конструкторская документация проверяется на соответствие требованиям технологичности на всех стадиях производства. Для сельскохозяйственной техники эти работы наиболее эффективны в период проектирования, так как выбор лучшего варианта в этот период предупреждает излишние затраты времени и средств на изготовление и испытание менее эффективных вариантов.

6.4.1. Деталь, заданная в проекте

При анализе технологичности детали чаще всего используется метод инженерно-визуальной оценки, посредством которого устанавливаются качественные показатели.

Материалы, используемые для изготовления деталей штамповкой листовых, трубных и профильных полуфабрикатов, должны соответствовать условиям эксплуатации (усталостная прочность, коррозионная стойкость и др.) и требованиям технологии изготовления (пластичность, относительное удлинение и др.).

Конструктивные элементы деталей, полученных при листовой штамповке (вырубке, гибке, вытяжке, рельефной формовке, отбортовке, обжимке), приведены в [90, 99]. Основными показателями технологичности таких деталей являются:

- симметричность относительно одной или нескольких осей;
- унификация типовых элементов (радиусыгиба, диаметры отверстий, выкусы и т.д.);
- коэффициент использования материала;
- возможность использования универсального инструмента;
- отсутствие последующей механической обработки резанием;
- минимальное количество штамповочных переходов, необходимых для изготовления детали.

Большое значение имеет оформление наружного контура, формы и расположения отверстий. Например, стороны вырубаемого на штампе наружного и внутреннего контуров должны сопрягаться возможно большими радиусами (рис.6.1), так как в острых углах матрицы и пуансона возникают трещины. Скругления углов выполняют так, чтобы дуга сопрягалась с прямыми не по касательной, а по хорде. Иначе в местах сопряжений возникают выкусы и заусенцы, и затрудняется малоотходная штамповка.

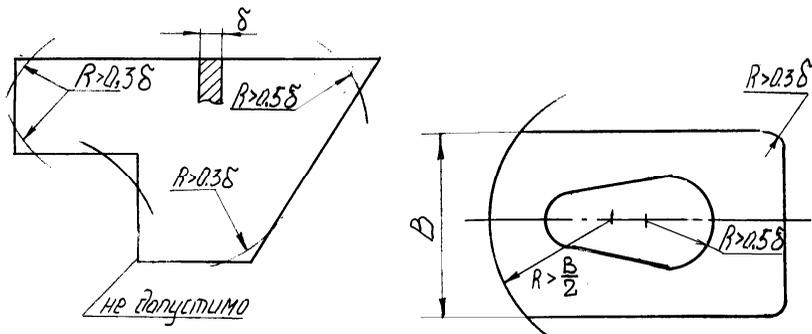


Рис.6.1. Контурь деталей, вырубаемых на штампе

Стороны детали, полученной резкой на ножницах или отрезных штампах, не должны иметь закруглений в углах (рис.6.2), так как это требует дополнительной обработки. Минимальная ширина участков детали должна быть согласована со свойствами материала и толщиной листа. Следует избегать узких и длинных вырезов:

$$h \geq (1,2 - 2,0)\delta ;$$

$$b \geq (1,2 - 2,0)\delta .$$

Для высокоуглеродистых и легированных сталей принимают большие значения.

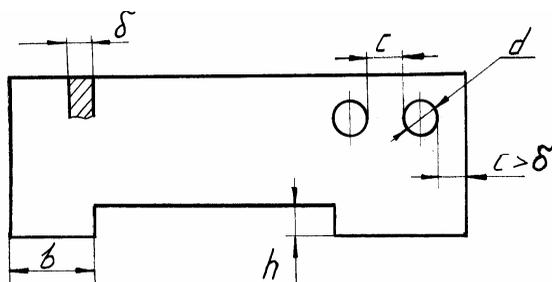


Рис.6.2. Контуры детали, полученной резкой на ножницах

Для обеспечения малоотходного раскроя контуры детали должны быть симметричными или обратнoсимметричными и оформленными прямыми и дугами. Пробивка фигурных отверстий менее технологична, чем пробивка круглых.

В деталях, полученных гибкой из листа, круглого проката, труб и специальных профилей, минимальный радиус гибки должен соответствовать толщине металла и размерам сортамента [90, 99], иначе в этом месте может возникнуть разрыв металла.

При оценке технологичности отливок обращают внимание на соответствие материала форме заготовки и ее служебному назначению. Для исключения рыхлот усадочных раковин и остаточных напряжений следует ограничивать толщину их стенок, увеличивать радиусы сопряжений поверхностей, избегать местных скоплений металла. Жесткость и прочность отливок повышают применением рациональных профилей, использованием ребер жесткости и рантов [90,99]. Выбор способа литья влияет не только на трудоемкость получения отливки, но и на ее точность и шероховатость.

Использование разовых песчано-глинистых форм является наиболее распространенным и универсальным способом литья, так как можно получить отливки из любых сплавов и сложных конфигураций. Недостатком является низкая точность отливок, поэтому 15-20% металла превращается в стружку при мехобработке. Главными показателями технологичности деталей, полученных из отливок, являются коэффициент использования металла и конструктивная сложность. Первый из них определяют как отношение массы готовой детали к массе металла, использованного для получения ее заготовки.

Коэффициент конструктивной сложности μ определяют в зависимости от вида фигуры, в которую может быть вписана литая деталь.

Для отливок, которые вписываются в параллелепипед,

$$\mu = \frac{2M}{\rho AS} \left(\frac{A}{B} + \frac{A}{C} + 1 \right);$$

для отливок, которые вписываются в цилиндр,

$$\mu = \frac{2M(R + L)}{\rho RLS};$$

для отливок, которые вписываются в шар

$$\mu = \frac{3M}{\rho SR_{ш}};$$

где A, B, C - максимальный, средний и минимальный габариты отливки, м; M - масса отливки, кг; ρ - плотность отливки кг/м³; S - площадь поверхности отливки, м²; R - габаритный размер отливки, м; L - длина габаритного цилиндра, м; $R_{ш}$ - габаритный радиус шара, м².

Чем ближе величина μ к единице, тем технологически рациональнее конструкция отливки.

Детали, получаемые *объемной штамповкой*, имеют высокие механические свойства и сравнительно низкую себестоимость благодаря высокой производительности их выпуска. Часто поверхности штамповок обрабатывают резанием. Поэтому при выборе материала детали следует учитывать не только ее эксплуатационные свойства, но и обрабатываемость резанием. При высокой пластичности материала (относительное сужение при одноосном растяжении $\psi > 0,2$) возможна его штамповка без нагрева.

Поковки должны иметь простую геометрическую форму и плавные сопряжения. Проектант должен обращать внимание на выполнение следующих специфических требований к детали, заданной в проекте:

- ребра, бобышки и другие выступающие элементы желательно располагать с одной стороны детали;
- площадь поперечного сечения по длине детали не должна изменяться более чем в 3 раза;
- деталь не должна иметь длинных узких отростков, так как это приводит к браку при незаполнении фигуры металлом;
- деталь должна быть симметричной хотя бы относительно одной оси.

Важнейшей характеристикой детали, определяющей стойкость штампа, трудоемкость и производительность техпроцесса является коэффициент сложности ее формы [35]:

$$C = \frac{V_{дет}}{V_{фиг}},$$

где $V_{дет}$ - объем детали; $V_{фиг}$ - объем условной фигуры в форме шара, цилиндра или параллелепипеда, в которую можно вписать данную деталь по ее максимальным размерам.

Чем больше C , тем выше технологичность детали. Приняты следующие градации групп сложности: первая ($0,63 < C \leq 1$); вторая ($0,32 < C \leq 0,63$); третья ($0,16 < C \leq 0,32$); четвертая ($C \leq 0,16$).

Почти все детали подвергаются *обработке резанием и шлифованием*. Оценка технологичности этих деталей включает общие и специальные требования в зависимости от их конфигурации. К общим требованиям относятся:

- максимальное использование унифицированных элементов (резьбы, фаски, канавки, отверстия, шпоночные пазы и т.д.) с одинаковыми размерами, допусками и шероховатостью поверхности;
- наличие удобных баз для установки и закрепления деталей в приспособлениях;
- применение материала, обладающего наилучшей обрабатываемостью лезвийным или абразивным инструментом;
- обрабатываемые поверхности должны иметь простую симметричную форму, допускающую применение высоко производительных методов обработки;
- другие общие требования изложены в [9, 55, 90, 99].

На технологичность конструкций деталей большое влияние оказывает способность их материала поддаваться обработке режущим инструментом. От этого показателя зависят оптимальная скорость резания и возможность получения требуемых точности и шероховатости обработанных поверхностей (табл.6.6.). Обрабатываемость металла характеризуется коэффициентом K_V , который изменяется от 0,5 до 2,1. Чем больше этот коэффициент, тем легче обрабатывается материал, но труднее получить требуемую шероховатость поверхности. Например, для Ст3 величина $K_V = 1,65$; для 25Л - $K_V = 1,0$; для Ст.65Г - $K_V = 0,6$; для Ст.25 - $K_V = 2,0$; для Ст.20Х - $K_V = 1,65$ и т.д. В общем случае обрабатываемость металла ухудшается, и увеличиваются

усилия резания с увеличением содержания углерода и уменьшением содержания серы и марганца. Поэтому имеющиеся в литературе рекомендации необходимо соотносить с характеристиками обрабатываемости материала.

Характер специальных требований зависит от конфигурации деталей. В ступенчатых валах размеры ступеней по длине желательно устанавливать одинаковыми или кратными, это сокращает время на обработку на многорезцовых станках. При двухсторонней ступенчатости диаметры должны возрастать от концов вала. Это облегчает наладку многорезцовых станков и упрощает обработку на универсальных токарных станках.

Таблица 6.6

Соотношения между полями допусков предпочтительного применения и параметрами шероховатости поверхности

Квалитет	Поля допусков		Параметры шероховатости (мкм) для поверхностей с номинальными размерами, мм									
	Вал	Отверстие	До 18	Св.18 до 30	Св.30 до 50	Св.50 до 80	Св.80 до 120	Св.120 до 180	Св.180 до 250	Св.250 до 315	Св.315 до 400	Св.400 до 450
6	g6 h6 js6 k6 n6 p6 r6 s6		Ra0,63	Ra1,25				Ra2,5				
7	f7 h7	H7 Js7 K7 N7 P7			Ra1,25				Ra2,5			
8	e8 h8	F8 H8		Ra1,25			Ra2,5				Ra6,3	
9	d9 h9	E9 H9		Ra1,25			Ra2,5				Ra6,3	
11	d11 h11	H11		Ra1,25			Ra12,5					

В мелкосерийном производстве используют гидросуппорты для обработки однотипных валов, различающихся по размерам в пределах группы. Для минимальной переналадки такого станка целесообразна простановка размеров по координатному методу (рис.6.3).

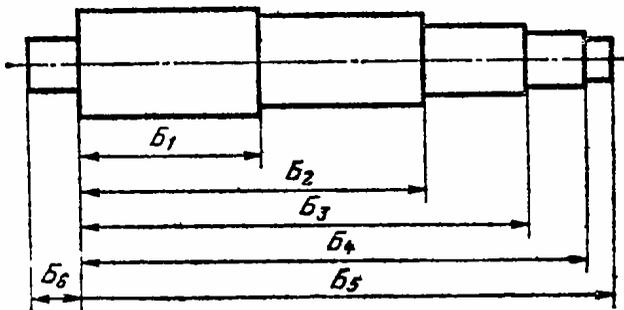


Рис.6.3. Простановка линейных размеров на валу по координатному методу

При конструировании валов со шпоночными пазами следует отдавать предпочтение обработке дисковой фрезой, так как обработка пазов пальцевой фрезой хотя и более точная, но менее производительная.

Конструкции втулок, дисков и колец должны допускать обработку всех внутренних поверхностей с одной стороны при одной установке. Это обеспечивает соосность этих поверхностей. Шлицевые отверстия во втулках должны быть сквозными, что позволяет вести обработку протягиванием.

Корпусные детали должны иметь хорошо развитые опорные базы, обеспечивающие установку и надежное крепление при обработке. Для возможности многошпиндельной обработки при сверлении отверстий расстояние между их осями следует выбирать не менее 30-45 мм.

При конструировании звездочек применительно к условиям крупносерийного производства следует исключить формообразование зубьев резанием, предпочитая накатку или радиальную штамповку.

При конструировании шкивов из алюминиевых сплавов или пластмасс их ступицы желательно армировать стальными или чугунными втулками.

Технологичность деталей зависит также от принятой конструктором системы и простановки размеров. Рациональная система позволяет совместить конструкторские и технологические базы, выбрать выгодную последовательность обработки [54].

Для снижения негативного влияния коррозии, износа, высоких контактных давлений, воздействия агрессивных веществ на поверхность деталей наносят соответствующие покрытия. В зависимости от условий эксплуатации проектант должен выбрать вид покрытия – хромирование, цинкование, оксидирование, фосфатирование, лакокрасочное или пластмассовое [36, 37].

Термическая и химико-термическая обработки повышают твердость, износостойкость, сопротивление усталости и контактной выносливости. В сельскохозяйственном машиностроении наибольшее распространение получили поверхностная закалка, улучшение (закалка и низкий отпуск), цементация в жидком или газовом карбюризаторе, нитроцементация. Азотирование используют реже, чем цементацию из-за большей длительности процесса и меньшей толщины упрочненного слоя, что ограничивает величину контактных нагрузок.

Упрочняющая обработка [89, 98] поверхностным пластическим деформированием (обкатывание, обработка дробью, дернование) формирует в поверхностном слое деталей напряжение сжатия 40-80 МПа. Поэтому на 20-40% увеличивается поверхностная твердость, повышается циклическая прочность за счет ликвидации технологических концентраторов напряжения, улучшается износостойкость. Требования к технологичности деталей, обрабатываемых пластическим деформированием, примерно такие, как требования к деталям обрабатываемым резанием.

Металлические покрытия и окраска повышают износостойкость поверхностей, изменяют их функциональные свойства, повышают коррозионную стойкость, позволяют экономить цветные сплавы и высоколегированные стали, восстанавливают изношенные поверхности деталей.

При выборе материала для деталей необходимо, по возможности, чаще использовать силумины (сплавы алюминия с кремнием и магнием), которые обладают хорошими литейными свойствами, высокой коррозионной стойкостью, упрочняются термообработкой, свариваются газовой и дуговой аргоновой сваркой.

Во всех машиностроительных отраслях промышленности все большую популярность завоевывают детали, полученные методами порошковой металлургии. Их получают из материалов, не образующих между собой сплава (*например*, медь с железом, железо с графитом и др.). Поэтому из порошков можно получить материал, обладающий специфическими свойствами [37]. Кроме того, изделия из спеченных материалов в большинстве случаев не требуют механической обработки, так как сама технология производства обеспечивает высокую точность.

Для многих конструкций весьма эффективна замена черных и цветных металлов пластмассой (термопластичными или терморезистивными полимерами). Это обусловлено не только широким спектром их

своих свойств, но и снижением трудоемкости изготовления деталей (особенно в серийном производстве), высоким коэффициентом использования материала [37].

В процессе проектирования студент должен, ориентируясь на выбранную деталь, оценить ее качественные и количественные показатели технологичности и изложить свои соображения о повышении технологичности этой детали.

6.4.2. Сборочная единица и изделие в целом

Основы технологичности конструкции создаются при разработке схемных решений. На этом этапе проектант особое внимание должен уделить оценке рациональности конструкции, ее ресурсоемкости и преемственности по отношению к аналогу. Все эти три базовых показателя должны найти отражение в проекте [9, 99].

Рациональность конструкции – это ее соответствие общепринятым правилам конструирования. Рациональность может не иметь количественного выражения, но позволяет предотвратить дефекты при изготовлении, повысить качество работы и производительность машины. Рациональность конструкции выражается, *например*, в соответствии качества и шероховатости поверхностей их служебному назначению (табл.6.7, прил.10).

Таблица 6.7

Рекомендации по выбору параметров шероховатости Ra (мкм) поверхностей деталей в зависимости от их функционального назначения при заданном качестве

Характеристика поверхности	Квалитет	При номинальных размерах, мм			
		До 50		Свыше 50 до 500	
		вал	отверстие	вал	отверстие
Посадочные поверхности сменных деталей	5	0,2	0,4	0,4	0,8
	6	0,4	0,8-0,4	0,8	1,6-0,8
	7	0,8-0,4	0,8	1,6-0,8	1,6
	8	0,8	1,6-0,8	1,6	3,2-1,6

Характеристика поверхности	Квалитет	При номинальных размерах, мм					
		До 50		Свыше 50 до 120		Свыше 120 до 500	
		вал	отверстие	вал	отверстие	вал	отверстие
Поверхности деталей для посадок с натягом: собираемые под прессом;	6-7	0,4	0,8	0,8	1,6	1,6	1,6
собираемые способом термической деформации	8	0,8	1,6	1,6-0,8	3,2-1,6	3,2-1,6	3,2-1,6

Окончание табл.6.7

Характеристика поверхности	Квалитет		При допуске радиального биения, мкм					
			2,5	4	6	10	16	25
Поверхности деталей для посадок с точным центрированием	5-7	вал отверстие	0,05	0,1	0,1	0,2	0,4	0,8
			0,1	0,2	0,2	0,4	0,8	1,6
Рабочие поверхности дисков трения	6				1,6			

Примерами отсутствия рациональности является несогласованная производительность рабочих органов машины, использование ротационного режущего аппарата при скашивании зерновых культур и т.д. Увеличение ширины захвата и рабочей скорости машины без изменения конструкции ее рабочих органов чаще всего экономически не оправдано, так как при этом снижается коэффициент готовности машины и увеличиваются потери времени на ее обслуживание. Повышение рациональности достигается применением более совершенных передаточных механизмов и рабочих органов, интенсифицирующих процесс работы.

Ресурсоемкость – это натуральные и стоимостные показатели машины, которые характеризуют количественную оценку технологичности. К натуральным показателям относятся материалоемкость, энергоемкость и трудоемкость изготовления машины. Для сравнения новой машины и аналога применяют относительные величины этих показателей.

Удельная материалоемкость

$$K_M = \frac{M}{P},$$

где M - масса машины (агрегата, орудия); P - основной технологический параметр изделия: ширина захвата; производительность; грузоподъемность и т.п.

Удельная трудоемкость

$$K_T = \frac{T}{P},$$

где T - трудоемкость изготовления изделия.

Удельная энергоемкость

$$K_{\mathcal{E}} = \frac{\mathcal{E}}{P},$$

где \mathcal{E} - установочная мощность двигателя, обеспечивающего работу изделия.

Преемственность – это сохраняемость конструктивных элементов, материалов, деталей базового изделия в новой конструкции. Пока-

затели преемственности предполагают ограничение количества оригинальных деталей, более широкое использование стандартных, нормализованных и унифицированных элементов как сборочных единиц, так и фрагментов деталей (галтели, фаски и т.п.).

При стандартизации и нормализации конструктивные решения оформляют в виде документов: стандартов и нормалей. Первые из них обязательны внутри государства или даже группы государств. Объектами стандартов являются подшипники, марки сталей, крепежные резьбы и т.п.

Коэффициент стандартизации изделия

$$K_{СТ} = \frac{E_{СТ} + Д_{СТ}}{E + Д},$$

где $E_{СТ}$ и $Д_{СТ}$ - количество стандартных сборочных единиц и деталей, не входящих в эти сборочные единицы (болтокрепёж не учитывают); E и $Д$ - количество СЕ и деталей «россыпью» в рассматриваемых изделиях.

Нормали применяют в масштабе отрасли или одного предприятия. Объектами нормализации являются специфические изделия: сегменты режущего аппарата; вариаторы; звездочки цепных передач; бичи молотильного барабана и т.д. Иногда нормализуют отдельные элементы детали: фаски; галтели; требования к отливкам и др.

Коэффициент нормализации

$$K_H = \frac{E_H + Д_H}{E + Д},$$

где E_H и $Д_H$ - количество нормализованных СЕ и деталей, не вошедших в эти СЕ.

Унификация – это сокращение многообразия конструктивных решений, предусмотренных ГОСТ или нормальями. Унификация сокращает номенклатуру применяемых материалов, сортамента, размеров отверстий, фасок и т.д. В результате сокращается количество типоразмеров инструмента, видов технологической оснастки, номенклатура запчастей.

Коэффициент унификации изделия

$$K_y = \frac{E_y + D_y}{E + D},$$

где E_y и D_y - количество унифицированных СЕ и деталей.

При выполнении этого раздела следует вычислить все вышеуказанные коэффициенты по новой машине и аналогу и сравнить их между собой.

Анализ качественных показателей технологичности должен включать решение следующих задач [55]:

- оценить соответствие габаритов и массы изделия с условиями сборки, возможной регулировки и транспортировки;
- выяснить наличие базовой детали, к которой удобно присоединять остальные элементы изделия;
- установить, обеспечивается ли единственно возможное относительное положение собираемых деталей. При наличии альтернативного варианта оценить его целесообразность;
- оценить возможность расчленения изделия на сборочные единицы, допускающие самостоятельную сборку, контроль и испытание;
- оценить возможность объединения нескольких простых деталей в одну более сложную. Такой подход позволит избежать многозвенных размерных цепей. Если сократить число звеньев нельзя, то в конструкции изделия следует предусмотреть жесткий или регулируемый компенсатор;
- проверить соответствие предусмотренных соединений деталей требованиям точности и производительности сборочных работ. *Например*, вместо клеевых соединений применить клепаные и даже сварные; прямобочные шлицевые соединения заменить эвольвентными; конический редуктор заменить перекрестной клиноременной передачей и т.д.;
- оценить наличие труднодоступных и неудобных мест для сборки, трудоемкость замены отказавших деталей;
- рассмотреть необходимость применения специальных приспособлений, например, для сжатия пружин при сборке, одновременного базирования нескольких деталей, балансировки вращающихся деталей и т.д.;
- оценить надежность предохранения резьбовых соединений от самоотвинчивания, появления недопустимых зазоров между деталями;
- оценить надежность защиты элементов конструкции от эрозии (т.е. коррозии и износа).

Взаимное соединение деталей должно учитывать технологические и эксплуатационные требования (табл.6.8).

Таблица 6.8

Типизация посадок

Группа посадок	Сочетание основных отклонений отверстия и вала в посадке		Характеристика эксплуатационных свойств посадки
	системы отверстия	системы вала	
С зазорами	H/a, H/b, H/c	A/h, B/h, C/h	Посадки с большими зазорами
	H/d H/e	D/h E/h	Широкоходовая Легкоходовая
С зазорами	H/f H/g H/h	F/h G/h H/h	Ходовая Движения Скользкая
Переходные	H/j _s H/k H/m H/n	J _s /h K/h M/h N/h	Плотная Напряженная Тугая Глухая
С натягом	H/p H/r, H/s, H/t H/u, H/x, H/z	P/h R/h, S/h, T/h U/h, X/h, Z/h	Легкопрессовая Прессовая средняя Прессовая тяжелая

Выбор посадок подвижных и неподвижных соединений приводят на основании расчетов, экспериментальных исследований или ориентируясь на аналогичные соединения, условия работы которых хорошо известны. Следует отметить, что при использовании метода аналогий необходимо указывать конкретные условия, влияющие на выбор качества и посадок. Например, при ударных нагрузках и увеличенной шероховатости поверхностей зазоры следует уменьшать, а натяги увеличивать. При большой длине соединения и высоких скоростях вращения зазоры следует увеличивать, а натяги уменьшать. При частом демонтаже зазоры и натяги должны быть минимально возможными.

Из группы посадок и зазоров наибольшее распространение в сельхозмашинах имеют *скользящая* (H8/h8, H9/h9) и *легкоходовая* (H7/e8). Скользящая посадка применяется в подвижных и неподвижных соединениях при невысоких требованиях к соосности для установки на валы деталей, передающих крутящие моменты через шпонку. Примером являются сменные шестерни, шкивы на концах валов, эксцентрик кривошипношатунного механизма. Легкоходовые посадки 7 и 8-го качества благодаря повышенным зазорам используют в многоопорных валах, увеличенной длине соединения, при разнесенных опорах (коренные шейки коленчатого вала и т.д.) Посадки с большими зазорами имеют,

как правило, низкую точность (11, 12 квалитет). Их применяют в подвижных грубоцентрированных соединениях (дистанционные втулки в редукторах, крышки подшипников, шарнирные соединения тяг, собачки предохранительных устройств).

Переходные посадки используют в подвижных, но разъемных соединениях деталей, они обеспечивают их хорошее центрирование. Натяги, получающиеся в переходных посадках, недостаточны для передачи значительных крутящих моментов и требуют дополнительного крепления соединяемых деталей шпонками, винтами и др. Наибольшее распространение получили напряженные посадки 6, 7 и 8-го квалитетов. По этим посадкам устанавливают зубчатые колеса, маховики, поршневые пальцы, подшипники и т.д.

Посадки с натягом имеют ограниченное применение в сельскохозяйственных машинах. Относительная неподвижность деталей достигается за счет напряжений, возникающих в материале сопрягаемых деталей вследствие упругих и пластических деформаций. Сборка с натягом осуществляется под прессом при нормальной температуре или с предварительным нагревом охватываемой детали. Такие посадки 7, 8-го квалитетов (H7/u7, U8/h8 и др.) используют при запрессовке пальца кривошипа, стальных втулок в силуминовые корпуса и др.

Эксплуатационные требования оказывают решающее влияние на выбор вида соединения деталей в сборочных единицах. В сельхозмашиностроении наиболее распространены сварные, резьбовые, шпачные и шлицевые соединения.

Технологичность *сварных соединений* зависит от правильности выбора материала, способа сварки, применения экономических профилей проката [36, 37, 98].

Качество наплавки и свариваемость сталей характеризуются уровнем углеродного эквивалента C_3 . Чем меньше C_3 , тем свариваемость лучше. Величину этого эквивалента можно определить по формуле

$$C_3 = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Gr/5 + Mo/4 + V/14,$$

где C, Mn, Si, Ni, Gr, Mo, V - содержание в сплаве соответствующего химического элемента, %.

Стали, имеющие $C_3 < 0,45\%$, относятся к хорошо свариваемым. Остальные стали относятся к удовлетворительно и ограничено свариваемым. Такие стали, а также кипящие стали всех марок нельзя применять для ответственных конструкций.

Стали с высоким C_3 требуют предварительного подогрева для предотвращения трещин, так как существует корреляция

между C_3 и максимальной твердостью по системе Виккерса в зоне сварного шва:

$$HV_{\max} = 660C_3 + 40.$$

В зависимости от рассчитанного значения HV_{\max} выбирается температура предварительного подогрева стального изделия:

HV_{\max} :	ниже	200	250	325	и выше
T^0 С:	без подогрева	до 150^0	$>150^0$	$>250^0$	

Например, для стали марки 15Х величина

$$C_3 = 0,15 + \frac{1,0}{5} = 0,35\%.$$

Соответственно $HV_{\max} = 660 \cdot 0,35 + 40 = 271$.

Следовательно, перед сваркой деталей из такой стали их необходимо предварительно нагреть до температуры около 200^0 С.

Сварные соединения следует располагать в зоне наименьших рабочих напряжений, так как их прочность ниже прочности основного металла. Симметричное расположение сварных швов уменьшает вероятность возникновения сварочных напряжений и деформаций. В сельскохозяйственных машинах наибольшее распространение получили точечная сварка и дуговая сварка в углекислом газе плавящимся электродом. В последние годы в общем машиностроении расширяется применение электронно-лучевой сварки, энергоемкость которой в 10-15 раз меньше чем дуговой. Электронный луч формирует точечные и шовные швы за счет проплавления соединяемых деталей.

Технологичность *резьбовых соединений* зависит от наличия открытого доступа к местам их установки, надежной нейтрализации самоотвинчивания, унификации принятого крепежа. Ресурс болтовых соединений увеличивают упрочнением отверстия и повышением радиального натяга.

В зависимости от передаваемой нагрузки выбирают вид *шпоночного соединения* [67]:

- напряженное, создаваемое клиновой шпонкой и способное передавать крутящий момент и осевую силу;
- ненапряженное, создаваемое призматической или сегментной шпонкой и передающее только крутящий момент.

Соединения клиновой шпонкой применяют в механизмах с высокой точностью, так как оно смещает ось ступицы относительно вала. Призматические шпонки обеспечивают лучшее центрирование сопрягаемых деталей, их устанавливают в неподвижных и скользящих соединениях (табл.6.9). Материал шпонок – углеродистая сталь с пределом прочности не ниже $5 \cdot 10^2$ МПа.

Таблица 6.9

Типовые сочетания полей допусков шпоночных соединений

Характер соединения	Ширина шпонки	Паз вала	Паз втулки
Свободное (обеспечивает перемещение втулки вдоль вала)	h9 (в минус, система вала)	H9 (в плюс)	D10 (в плюс)
Нормальное (неподвижное)		N9 (в минус)	I _s 9 (±)
Плотное (при циклической нагрузке)		P9 (в минус)	P9 (в минус)

Обозначение посадок: $\frac{H9}{h9}$; $\frac{D10}{h9}$ и т.д.

Для *шлицевых соединений* наиболее экономичным является центрирование по поверхности наружного диаметра, при этом высокую точность у шлицевого вала можно легко получить шлифованием, а шлицевые отверстия во втулке - протягиванием. Центрирование по поверхности внутреннего диаметра обеспечивает особо высокую точность. При этом приходится шлифовать шлицевое отверстие и вал. Точная посадка по боковым сторонам шлица применяется редко и в случае высокопеременных и реверсивных нагрузок.

Эвольвентные шлицевые соединения по сравнению с прямобочными более равнопрочны, имеют меньшую концентрацию напряжений у основания зуба, обеспечивают лучшее центрирование. Такие шлицы на валу можно получать накаткой, резанием фрезой или долбяком, а в отверстии - протягиванием если твердость ступицы $HRC < 40$. Если по конструктивным соображениям ступица должна иметь большую твердость, то шлицы вначале протягивают, а затем проводят азотирование с закалкой, которое не искажает профиль.

Технологичность шлицевых соединений зависит от требований к твердости их элементов, износостойкости, тщательной обработки центрирующих поверхностей, наличия заходных фасок. По нецентрирующим диаметрам зазоры должны быть весьма значительными, чтобы гарантировать сопряжение по центрирующим поверхностям. Рекомендуемые поля допусков и посадки представлены в табл.6.10.

Таблица 6.10

Поля допусков и посадки для шлицевых соединений

Центрирование по поверхности	Соединение	Характер передачи вращения	Посадки		
			по центрирующему диаметру	по нецентрирующему диаметру	по боковым сторонам
Прямобочные шлицевые соединения					
d	Подвижное	Не реверсируемая	H7/f7	H12/a11	F10/f9
	- « -	Реверсируемая	H7/g6	- « -	D9/h9

D	Неподвижное	Не реверсируемая	H7/j ₆	- « -	F8/f8
b	Неподвижное	Реверсируемая	H7/j ₆	H12/a11	F8/j ₇
Эвольвентные шлицевые соединения					
S	Неподвижное	Не реверсируемая	H7/k8, H7/j ₆	H16/h12, H9/h9	-
	Подвижное	Не реверсируемая Реверсируемая	H9/g9 H7/g6	H11/h16 H9/g9	-

Пример обозначения прямобочных шлицевых соединений:

- при центрировании по наружному диаметру D

$$D - 8 \times 36 \times 40 \frac{H8}{h7} \times 7 \frac{F10}{h9};$$

- при центрировании по внутреннему диаметру d

$$d - 8 \times 36 \frac{H7}{e8} \times 40 \frac{H12}{a11} \times 7 \frac{D9}{f8};$$

- при центрировании по боковым сторонам b шлиц

$$b - 8 \times 36 \times 40 \frac{H12}{a11} \times 7 \frac{D9}{f8};$$

здесь 8 – число зубьев (шлиц); $36=d$, $40=D$, $7=b$ – толщина шлица.

Пример обозначения эвольвентных шлицевых соединений:

ний:

- при центрировании по боковым сторонам зубьев с посадкой

$$\frac{H9}{g9}$$

$$50 \cdot 2 \cdot \frac{9H}{9g} \text{ ГОСТ 6033-80;}$$

- при центрировании по наружному диаметру с посадкой $\frac{H7}{g6}$

$$50 \cdot 2 \cdot \frac{H7}{g6} \text{ ГОСТ 6033-80;}$$

- при центрировании по внутреннему диаметру с посадкой $\frac{H7}{g6}$

$$i50 \cdot 2 \cdot \frac{H7}{g6} \text{ ГОСТ 6033-80;}$$

здесь $50=D$ – номинальный диаметр соединения; 2 - модуль в мм.

При монтаже подшипников необходимо обеспечивать свободное вращение вала с внутренним кольцом относительно корпуса с на-

ружным кольцом, иначе возможно заклинивание. Поэтому закрепление колец на валу и в корпусе достигается не только радиальным, но и осевым натягом [67, 98]. Техпроцесс сборки подшипниковых соединений необходимо построить так, чтобы имелась возможность непосредственно воздействовать на кольцо, которое устанавливается с натягом, иначе разрушится сепаратор.

Шероховатость посадочных поверхностей подшипника на валах $Ra = 0,08 - 0,8$ мкм, в корпусе $Ra = 0,16 - 1,25$ мкм. Несоосность посадочных поверхностей при парной установке подшипников не более 0,01-0,02 мм.

6.5. Обеспечение точности сборки и взаимозаменяемости деталей в СЕ

Конструктивное оформление деталей в сборочной единице должно исключать подгоночные работы в процессе их установки. Соблюдение этого условия позволяет применять автоматизацию и механизацию сборочных работ и прогрессивные способы организации сборки.

Взаимозаменяемость элементов конструкции достигается назначением необходимых допусков сопрягаемых контуров. Типы посадок следует выбирать в зависимости от условий работы соединения. Необходимый квалитет устанавливают размерным анализом, имеющим целью проверку работоспособности соединения при крайних значениях зазоров (натягов).

В процессе производства невозможно выполнять размеры деталей абсолютно точными. Поэтому изделие должно функционировать нормально, пока погрешности размеров контуров деталей будут лежать внутри поля допуска.

Оценка точности сборки осуществляется путем составления и анализа пространственных связей между сопрягаемыми деталями. Эти связи описываются размерными цепями в традиционном виде [25] или как графы, вершинами которых являются поверхности, линии и точки, а ребрами (дугами) – расстояния между этими элементами. Размерная цепь соответствует одному циклу графа. Для размерного описания большинства сборочных единиц требуется несколько циклов, которые объединены графом.

Каждый простой замкнутый цикл состоит из увеличивающихся, уменьшающихся и замыкающего звеньев. Во многих практических задачах весьма трудно определить вид звена. Задача упрощается и формализуется при использовании графов [34]. Для этого проектант должен предварительно выполнить три условия:

1) провести численную разметку всех поверхностей изучаемого объекта (детали или сборочной единицы) в каком-то одном направлении;

2) построить размерную схему, т.е. граф объекта;

3) выбрать направление обхода графа: по часовой стрелке или наоборот. Если вершина, в которой звено начинается, численно больше вершины, где оно оканчивается, то это будет увеличивающее звено. Другие звенья, кроме замыкающего, будут уменьшающими.

В качестве примера рассмотрим фрагмент из сборочной единицы установки шестерни на вал с использованием пружинного кольца (рис.6.4). При сборке необходимо выполнить три условия:

1) пружинное кольцо толщиной T_4 должно располагаться внутри канавки шириной T_3 ;

2) зазор между торцом шестерни и пружинным кольцом $[A_{\Sigma}] = 1_{-0,3}^{+0,5}$. При меньшем $[A_{\Sigma}]$ затрудняется установка кольца, при большем возникает фрикционная коррозия из-за осевых перемещений шестерни вдоль вала;

3) для обеспечения осевой фиксации шестерни ее торец должен свисать со ступеньки вала на величину $[B_{\Sigma}] = 1,5_{-0,8}$ мм.

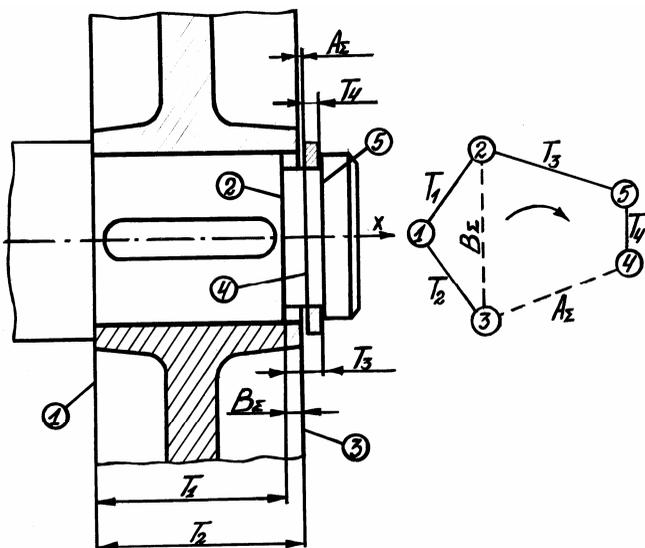


Рис.6.4. Фрагмент и граф крепления шестерни

Сложность данной задачи в том, что в этом фрагменте имеются два замыкающих звена, по отношению к которым остальные звенья могут быть увеличивающими или уменьшающими. В соответствии с изложенной выше методикой строим граф, который включает одновременно три цикла: 1-2-3, 2-5-4-3 и 1-2-5-4-3.

При выбранном направлении обхода (по часовой стрелке) уравнение цикла 1-2-3 будет $T_1 + B_{\Sigma} - T_2 = 0$, откуда $B_{\Sigma} = T_2 - T_1$. Звено T_2 - увеличивающее, T_1 - уменьшающее. Уравнение цикла 1-2-5-4-3 будет $T_1 + T_3 - T_4 - A_{\Sigma} - T_2 = 0$, откуда

$$A_{\Sigma} = T_1 + T_3 - T_2 - T_4 = T_3 - B_{\Sigma} - T_4.$$

В дипломном проекте могут решаться прямая и обратная задачи расчета графа. В первом случае определяют номинальные размеры и допуски всех звеньев графа, исходя из условий, предъявляемых к его замыкающим звеньям. При решении обратной задачи, исходя из значений номинальных размеров и допусков звеньев графа, определяют статистические характеристики замыкающего звена.

Вышеуказанные задачи могут решаться разными методами. Если в цикле графа не более 3-4 звеньев, то применяют метод полной взаимозаменяемости. При большем числе звеньев можно применять метод неполной взаимозаменяемости, получивший широкое распро-

странение в сельскохозяйственном машиностроении. В обоих случаях номинальный размер замыкающего звена [25, 42]

$$A_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i A_i,$$

где m - число звеньев в цикле; ξ_i - передаточное отношение i -го звена, имеющего размер A_i .

В частности для линейных графов с параллельными звеньями $\xi_i = 1$ - для увеличивающих и $\xi_i = -1$ - для уменьшающих звеньев.

Допуск замыкающего звена при расчете по методу полной взаимозаменяемости [25, 42]

$$T_{\Sigma}^{II} = \sum_{i=1}^{m-1} T_i,$$

при расчете по методу неполной взаимозаменяемости [25, 42]

$$T_{\Sigma}^{III} = t \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_i^2 T_i^2},$$

где T_i - допуск i -го звена; t - критерий Стьюдента (табл.6.11), зависящий от риска P получить сборочную единицу с точностью ниже регламентированной (для исправления этого брака необходимо провести переборку деталей конструкции); λ_i - коэффициент относительного рассеивания размеров: для Гауссовского распределения, характерного для серийного и массового производств $\lambda_i = 1/3$, для мелкосерийного и индивидуального производств $\lambda_i = 1/\sqrt{3}$, при среднесерийном производстве принимают $\lambda_i = 1/\sqrt{6}$ [25].

Таблица 6.11

Значения t при различной величине P

Процент риска, P %	0,01	0,05	0,1	0,27	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	10,0	32,0
Критерий t	3,89	3,48	3,29	3	2,81	2,57	2,32	2,17	1,96	1,65	1,0

В сельскохозяйственных машинах для обеспечения достаточной точности сборки деталей со значительными допусками размеров широко распространен метод регулирования A_{Σ} подвижными или неподвижными компенсаторами [25]. В качестве неподвижных компенсато-

ров, например, (регулировка зазора между сегментом и противорезом) используются шайбы, прокладки одинаковой или разной толщины. В качестве подвижных компенсаторов используют, например, резьбовые соединения, пружины. Примером является регулировка длины шатуна. Расчет размерной цепи осуществляется по методу полной или неполной взаимозаменяемости.

Реже используется метод селективной сборки (групповая взаимозаменяемость) [25], который эффективен в массовом и крупносерийном производствах для малозвенных циклов и при очень жестких требованиях к точности замыкающего звена, когда $T_{\Sigma} \leq 0,05$ мм. Этот метод используют при разработке процессов сборки подшипников, поршневых колец и поршней и др. Расчет такой размерной цепи ведут методом полной взаимозаменяемости.

Метод пригонки применяют в индивидуальном или мелкосерийном производствах [25].

Отметим, что для полной характеристики размера необходимо знать не только его номинальную величину и допуск, но и координату середины поля допуска. В сборочной единице координаты середин полей допусков звеньев должны быть увязаны между собой условием [25, 89]

$$\Delta_{0\Sigma} = \sum_{i=1}^m \xi_i \Delta_{0_i},$$

где $\Delta_{0\Sigma}$ и Δ_{0_i} - координаты середин полей допусков замыкающего и i -го звеньев; m - число звеньев в рассматриваемом цикле.

В проекте необходимо выбрать наиболее эффективный метод обеспечения взаимозаменяемости, определить параметры замыкающего звена, вычислить допуски и номинальные размеры, сопрягаемых с ним звеньев.

6.6. Технология сборочных работ

6.6.1. Составление вариантов схем сборки заданной СЕ или изделия в целом

Любое изделие проектируется так, чтобы его можно было разделить на отдельные сборочные единицы и детали. Такой подход позволяет:

- сократить сроки проектирования за счет выполнения разнообразных конструкторских работ в специализированных отделах;
- сократить производственный цикл за счет параллельного изготовления, контроля и испытаний отдельных элементов конструкции.

Разделение изделия на основные части обеспечивается разнообразными разъемами. Конструктивные разъемы обусловлены различным функциональным назначением частей: мотовила; бункера; диффузора и т.д. Технологические разъемы назначаются из условия рациональной организации производства. Эти разъемы используют при монтаже двигателя, пневматических колес, молотильного барабана и т.д. Эксплуатационные разъемы назначают исходя из условий технического ухода, ремонта, транспортирования. Такие разъемы имеют камнеуловитель, кабина зерноуборочного комбайна, винтовой домкрат платформы подборщика и т.д.

С позиций технологичности к разъемам предъявляется ряд требований:

- разъем желательно располагать в горизонтальной плоскости симметрично к базовой оси;
- места разъемов должны быть доступными для сборки и контроля;
- соединяемые СЕ должны быть взаимозаменяемы по контуру разъема, чтобы исключить слесарные доводочные и пригоночные работы;
- номенклатура и количество креплений должно быть минимальным, чтобы ограничить количество применяемого инструмента и сократить трудоемкость сборочных работ;
- количество крепежа следует уменьшать за счет применения замков, шарниров, защелок и т.д.

Выбор схемы разделения изделия на составные части и по характеру разъема решающим образом влияет на схему сборки, состав оснастки и инструмента. Различают дифференцированную и недифференцированную схемы сборки.

Дифференцированная схема сборки соответствует дробному разделению изделия на агрегаты, сборочные единицы разного порядка и детали (рис.6.5).

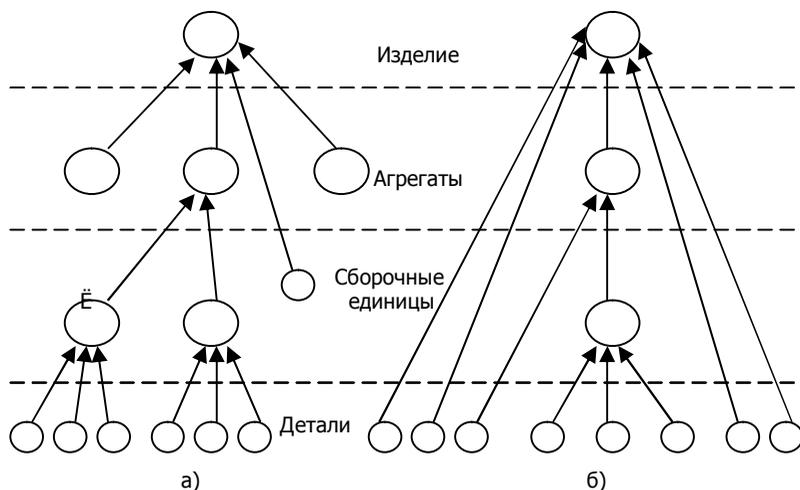


Рис.6.5. Схемы сборки изделия: а – дифференцированная; б - недифференцированная («россыпью»)

Дифференцированная схема сборки обеспечивает широкий фронт работ, свободный доступ к отдельным элементам изделия, возможность применения механизированного и автоматизированного оборудования. Для реализации этой схемы необходимы значительные площади цехов, большое число рабочих невысокой квалификации. Все это соответствует серийному производству.

При недифференцированной схеме изделие собирается из ограниченного числа сборочных единиц и многих деталей, которые подаются «россыпью» на окончательную сборку. Из-за стесненных условий преобладает ручной труд, что можно допустить в единичном или мелкосерийном производствах.

В качестве ориентира можно принять следующее количество машин для характеристики серийности (табл.6.12) [98].

Таблица 6.12

Характеристика типа производства

Тип производства	Крупные машины	Средние машины	Мелкие машины
Мелкосерийное	2-3	5-25	10-50
Среднесерийное	5-25	25-150	50-300
Крупносерийное	Свыше 25	Свыше 150	Свыше 300

Применительно к сельхозмашинам к крупным машинам можно отнести зерноуборочный комбайн, зерноочистительный агрегат; к средним машинам можно отнести, например, прицепную валковую жатку; к мелким машинам - культиватор, триерный блок и т.д.

Массовое производство характеризуется постоянством выпускаемых изделий: втулочно-роликовые цепи; подшипники; сегменты режущего аппарата и т.д. Для такого производства характерно применение специализированного оборудования и автоматических линий при строгом соблюдении принципа взаимозаменяемости.

Независимо от принятой схемы сборки техпроцесс можно организовать с различной последовательностью выполнения отдельных этапов сборки, причем некоторые этапы могут выполняться параллельно, т.е. одновременно и независимо друг от друга. Применение параллельной и последовательно-параллельной сборок позволяет сократить сроки работ.

В курсовом и дипломном проектах необходимо представить не менее двух различных схем сборки изделия. При их анализе учитываются вышеописанные соображения, возможность использования базовой детали, удобной для закрепления, концентрация по времени однотипных операций и возможность выполнения технологических требований, изложенных в разделе 6.4.2.

Выбранная схема сборки должна отражать порядок комплектования изделия, наглядно представлять техпроцесс и являться основой для разработки технологических операций [33]. Перед построением схемы сборки необходимо выбрать базовую деталь, к которой последовательно будут крепиться остальные детали. Далее следует наметить эту последовательность. Пример составления схемы сборки представлен на рис.6.6 и в прил.13.

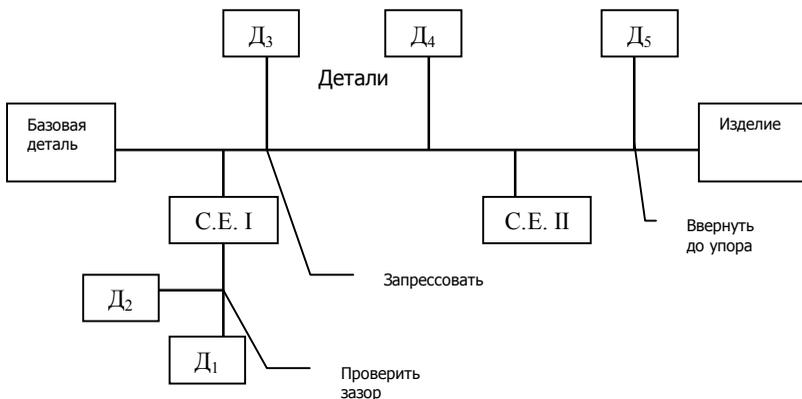


Рис.6.6. Схема сборки изделия

Для обоснования базовой детали необходимо предварительно дать характеристику состояния ее поверхностей, предлагаемых в качестве технологических баз. Одновременно указываются характеристики сопрягаемых поверхностей присоединяемых деталей и вид сопряжения (посадка с зазором, переходная или с натягом, использование болткок-

репежа и т.д.). В зависимости от условий сборки следует указать необходимые оснастку и оборудование (пневмогайковерт, пресс, сварочный аппарат и т.д.).

В схеме сборки каждый элемент изделия обозначается прямоугольником, в котором следует указать наименование детали, номер ее позиции на чертеже, индекс и количество деталей в СЕ.

9	Храповик	3
	ТСХМ- 03.010.417	

В стандартных деталях или сборочных единицах вместо индекса указывается ГОСТ:

21	Шпонка 18x11x100	2
	ГОСТ 23360-78	

Процесс сборки изображен горизонтальной линией в направлении к готовому изделию. Выше горизонтальной линии располагают детали, а ниже сборочные единицы.

На схеме сборки следует указать рекомендации, характеризующие способы соединения элементов в изделии (посадка, вид сварки, предельный крутящий момент в резьбовом соединении и т.п.).

6.6.2. Проектирование операций сборки

Операции сборки проектируют в соответствии со сборочным чертежом изделия, его спецификацией и ранее разработанной схемой сборки. Техпроцесс сборки так же, как и процесс механической обработки состоит из операций и их составных частей-переходов.

Для решения поставленной задачи необходимо выбрать вид сборки (поточная или непоточная) и ее организационную форму (неподвижная или подвижная). Этот выбор является предварительным и будет уточнен после проектирования и нормирования техпроцесса сборки. На данном этапе решение принимается по аналогии со сборкой на заводе-изготовителе и с учетом принятого в проекте объема выпуска.

Перед сборкой соединяемые детали необходимо очистить. Металлические опилки, абразивный порошок, остатки обтирочных материалов могут попасть в подшипники, отверстия, пазы и прочие места и вывести из строя отдельные механизмы и даже машину. В зависимости от вида загрязнения детали можно промывать в моечной машине или обдуть сжатым воздухом. Каждое рабочее место сборщика оборудуется постом воздушной магистрали и гибким шлангом с пистолетом.

Структурирование техпроцесса на операции и переходы сборочных, регулировочных и контрольных работ должно соответствовать ранее принятой схеме сборки. В состав операций включают однородные работы. Это способствует специализации сборщиков, ограничению применяемых приспособлений и инструментов. Поэтому недопустимо в одной операции объединять сварочные, ручные слесарно-сборочные работы или механизированные работы с использованием пресса, баланси-

ровочной машины и другого оборудования. Подготовительные и пригоночные работы (селективная сортировка деталей, шлифование регулировочных шайб и т.п.) не следует включать в техпроцесс сборки. Указанные работы должны быть выполнены на станках в механическом цехе.

Если производство массовое, то наполнение операций переходами должно быть по времени кратно или равно ритму выпуска изделия. Только в этом случае сборка будет поточной.

Если же производство серийное, т.е. величина ритма носит условный характер, то операции формируют, ориентируясь на окончательную сборку отдельных СЕ или их составных частей.

После формирования переходов и операций определяется оперативное время сборки, т.е. сумма основного и вспомогательного времени [9, 50, 55, 99]. Отметим, что это время будет различным в зависимости от типа производства и масштаба применения нормативов (отраслевые, заводские или др.).

Завершается этот этап составлением циклограммы сборки, которая представляет графическое изображение совмещения во времени отдельных операций и дает представление о длительности сборки (рис.6.7).

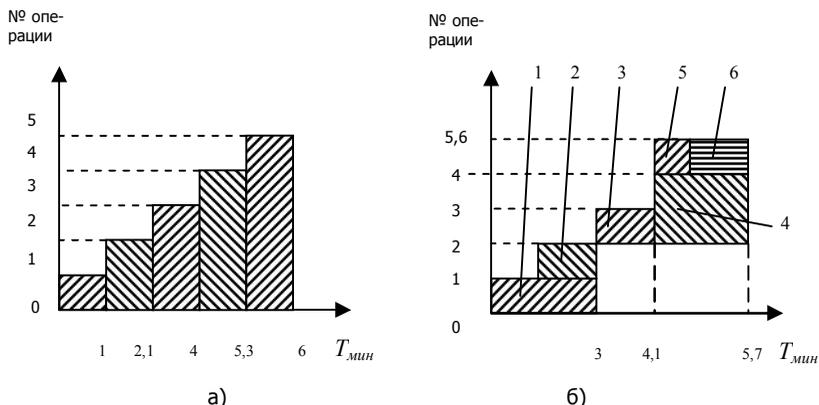


Рис.6.7. Циклограмма сборочных работ: а – последовательное выполнение операций; б – параллельно-последовательное выполнение операций

Кроме сварочных работ, наиболее характерными операциями в сельхозмашиностроении являются: сборка подшипниковых соединений; цепных, клиноременных и зубчатых передач; ведущих и натяжных звездочек; гидравлических и прокладочных соединений [25, 33, 89, 98]. От качества их сборки во многом зависят эксплуатационные показатели собранной машины или агрегата.

6.6.3. Определение типа производства и его организации

Предварительное определение типа производства на этапе проектирования изделия позволяет выбрать характер сборки, определить степень универсальности заказываемого оборудования и спланировать его расстановку по ходу техпроцесса или по группам оборудования.

Тип производства (единичный, серийный, массовый и др.) зависит от соотношения ритма выпуска изделия и длительности его изготовления [52, 98, 99].

Ритм выпуска изделия или сборочной единицы

$$R = \frac{60[D - (52 \cdot 2 + 11)]T_{CM}C\alpha_P\alpha_{II}}{W}, \text{ (мин/шт.)}$$

где $D = 365$ дней в году; 52 – количество недель в году; 2 – суббота и воскресенье – выходные дни; 11 – число праздничных дней; T_{CM} – длительность рабочего времени смены в часах; $C = 1, 2$ или 3 – количество смен в сутках; α_P – коэффициент, учитывающий простой оборудования из-за ремонта. Для простых устройств $\alpha_P = 0,96-0,98$; для автоматизированного оборудования $\alpha_P = 0,9-0,94$; для автоматических линий $\alpha_P = 0,88-0,92$; $\alpha_{II} = 0,93-0,99$ – коэффициент, учитывающий потребности на перерыв в работе; W – плановый годовой объем выпуска изделия, сборочной единицы или детали.

В задании на проект указывается объем выпуска изделия (машины, агрегата, орудия) $W_{изд}$. В этом случае годовой выпуск одной из его СЕ равен

$$W_{С.Е.} = W_{изд} n_{С.Е.} \left(1 + \frac{\alpha_1}{100} \right),$$

где $n_{С.Е.}$ – количество одинаковых рассматриваемых СЕ в одном изделии; α_1 – процент СЕ для запчастей.

При разработке маршрутной технологии после расчленения сборочной операции на переходы, используя нормативные материалы [60, 61], определяют оперативное время для сборки изделия или СЕ

$$T_{on} = \frac{T_{n-3}}{n} + T_o + T_g,$$

где T_{n-3} – подготовительно-заключительное время на партию из n изделий; T_o – основное время непосредственной работы; T_g – вспомогательное время.

Техническая норма времени на сборку СЕ*

$$T = T_{on} + T_{nep} + T_{обсл},$$

где $T_{nep} = T_{on} \cdot \beta / 100$ - время перерыва для личных надобностей рабочего. Обычно принимают $\beta = 2 - 3\%$; $T_{обсл} = T_{on} \cdot c / 100$ - время для обслуживания рабочего места. Обычно принимают $C = 0,6 - 2,5\%$; * - операция планируется на сборку одной СЕ.

Следует различать трудоемкость сборки T и длительность D времени на ее выполнение, обычно $D \leq T$. Равенство в этом выражении возможно, если сборка выполняется последовательно. На практике чаще всего сборка может осуществляться параллельно-последовательно, тогда $T/D = 1...5$.

Рассчитанную величину D корректируют с учетом ритма R выпуска. D должна быть равна или кратна R . Если $R > D$, то величина кратности $n = R/D$ должна быть целочисленной, т.е. не дробной. Если это условие не выполняется, то наполняют операцию переходами или поступают наоборот, чтобы производство было поточным. Если же $R < D$, то планируют несколько параллельных рабочих мест, их число

$$m = D/R.$$

Тип производства можно определить по коэффициенту серийности

$$k_{сер} = R/D.$$

$k_{сер} < 1 - 2$ соответствует массовому производству; $k_{сер} \leq 10$ - крупносерийному производству, $10 < k_{сер} \leq 20$ - среднесерийному производству, $20 < k_{сер} \leq 40$ - мелкосерийное производство, $k_{сер} > 40$ - единичному производству. Характеристики этих типов производств приведены в [33, 52, 98, 99].

Основными организационными формами сборки являются стационарная и подвижная. Стационарная сборка применяется в индивидуальном, экспериментальном и мелкосерийном производствах. Проводят такую сборку на одном или нескольких неподвижных стендах. При расчленении операций на переходы принимают бригадный метод с дифференциацией работ.

При серийном и массовом производствах более эффективна подвижная сборка с использованием конвейера с непрерывным или периодическим перемещением. Высшей формой подвижной сборки является поточное производство.

В современных механосборочных цехах удельный вес ручных работ остается значительным и составляет 60-70%. Для сокращения ручных работ необходимо использовать не только механизацию, но и автоматизацию сборочных работ. Применительно к сельхозмашинам эти приемы затруднены из-за сложности совмещения деталей и соединяющих их элементов (болтов, винтов, заклепок, шплинтов). В то же время существует много типовых соединений, которые выполняются массово (клепка сегментов к ножевой полосе, сборка подбичников и бичей молотильного барабана, установка пальцев на грабалинах мотовила и т.д.). Автоматизация таких сборок может существенно снизить трудоемкость. К сожалению, возможности существующих манипуляторов значительно уступают человеку.

В процессе проектирования необходимо наметить направления, обеспечивающие автоматизацию сборочных процессов:

1) разработка ориентирующих устройств для деталей, направляемых на сборку. В зависимости от конструкций деталей устройства могут быть активными или пассивными;

2) повышение технологичности деталей применительно к автоматической сборке за счет усиления или ослабления их симметричности;

3) исключение сцепляемости деталей в бункере;

4) повышение точности деталей.

По степени приспособленности к автоматической сборке соединения деталей можно разделить на группы:

I – соединение по цилиндрическим поверхностям с зазором - наиболее удобно;

II – соединение прессованием или сваркой - сложнее;

III – соединение двух деталей третьей - заклепкой, шпонкой, разрезным стопорным кольцом и т.д.;

IV – соединение деталей винтами, при возможности, саморезами;

V – болтовые соединения наиболее сложные, так как нужны определенные бункеры для болтов, гаек и шайб, а также приспособления для их ориентации, наживления и удержания от проворачивания.

6.7. Технология нанесения защитно-декоративных покрытий

В зависимости от служебного назначения проектируемого изделия возникает необходимость создания или повышения его специфических характеристик (высокая контактная прочность, износостойкость, электропроводность и т.д.), обеспечение длительной эксплуатации, придания ему декоративности. Это достигается нанесением на поверх-

ность деталей мажеобразных покрытий (солидол, литол, графитные смазки, битумные составы и т.п.) или твердых покрытий с органической или неорганической основой. Органическую основу имеют лакокрасочные и полимерные покрытия. Неорганическую основу имеют металлические и конверсионные покрытия.

При выборе покрытия необходимо ориентироваться на его технологичность, условия эксплуатации и хранения изделия, сложность изделия и ряд других факторов. Эффективность покрытия зависит от качества подготовки поверхности, на которой могут быть дефекты (раковины отливок, облои поковок, пригар, заусенцы, пористость и прожоги сварных швов и т.д.) и загрязнения: жировые, окисные, солевые. Дефекты удаляют травлением в кислотах, щелочах, спецрастворах или механической обработкой. В зависимости от вида загрязнений их удаляют обезжириванием в органических растворителях или мойкой в щелочных растворах. Конверсионные покрытия (оксидирование, фосфатирование) используют для кратковременной или длительной защиты от окисления [36].

Наиболее простой и традиционный способ борьбы с коррозией и придания изделиям хорошего декоративного вида – нанесение лакокрасочного покрытия. Это многостадийный процесс: грунтовка; шпаклевка; окраска и сушка. Лакокрасочные материалы состоят из большого числа различных компонентов: пигментов; смол; растворителей; пленкообразователей; сиккатива и др.

Для обозначения эмалей, шпаклевок, лаков и других аналогичных материалов приняты соответствующие индексы. В начале индекса буквенной аббревиатурой указан состав пленкообразующего вещества. Приняты следующие обозначения: МЛ – меламиналкидный; НЦ – нитроцеллюлозный; ГФ – глифталевый; ПФ – пентафталевый; ФЛ – фенольный; ЭП – эпоксидный; МС – алкидно- или масляностирольный; ПЭ – полиэфирный; КО – кремнийорганический; АК – полиакриловый; АС – акриловые сополимеры; ВЛ – поливинилбутиральный. После буквенного обозначения следуют цифры, определяющие назначение лакокрасочного материала. Для обозначения грунтовок первой цифрой ставят «0», для обозначения шпатлевок – «00». Следующая значащая цифра указывает для каких условий предназначен данный материал: 1- атмосферостойкий; 4 – водостойкий; 5 – специальные свойства (например, светящийся); 6 – маслобензостойкий; 7 – химически стойкий; 8 – термостойкий. Последующие цифры могут обозначать номер партии. Иногда после группы цифр имеется одна или несколько букв. Например, «ГС» – горячая сушка, «ХС» – холодная сушка, «НГ» – негорючая краска, «М» – матовое покрытие.

Для сельхозмашин, работающих в атмосферных условиях внешней среды, применяют грунтовки «ФЛ-03К» (на основе фенольной смо-

лы номер 3, красная), ГФ-020, ПФ-020; шпатлевку типа ПФ-002; краски эмалевые марок ПФ-115, ПФ-188, АС-182. Для оборудования животно-водческих ферм, силосоуборочной техники применяют грунтовки ПЭ-010, АК-070 и эмали ПЭ-773, ПЭ-711 и др. [40, 50].

Грунтовка наносится один, реже двумя слоями толщиной 60-100 мкм. Обычно все детали и СЕ мобильных сельхозмашин вначале грунтуются и окрашиваются, а затем производится окончательная вторичная окраска изделия в собранном виде [36].

Пластмассовые покрытия более надежно и долговечно защищают детали от коррозии, не адсорбируют влагу, придают поверхности специфические свойства. В мировом производстве порошковых красок преимущественное распространение получили поливинилхлоридные, полиэтиленовые, эпоксидные полимеры. Намечается тенденция к увеличению потребления полиэфирных и полиакрилатных красок. В сельхозмашиностроении пластмассовые покрытия наносят распылением, окутанием, напылением, плакированием [40].

На детали, подверженные интенсивному износу, работающие под воздействием кислот и щелочей, наносят покрытия электролитическим путем. На заводах сельхозмашиностроения наибольшее распространение получили цинкование, хромирование, оксидирование, фосфатирование, железнение и меднение [36].

В зависимости от условий работы детали и СЕ проектант должен выбрать и обосновать вид поверхностного покрытия; раскрыть технологию его нанесения на поверхность.

6.8. Методы и средства контроля изготовления деталей и проведения сборочных работ

В зависимости от конструкции заданной детали или СЕ в проекте необходимо наметить конструктивные элементы, подлежащие контролю, указать, какие для этого требуются мерительные инструменты и представить их эскизы [8, 25, 42, 52]. Выбор инструментов зависит также от типа производства.

Контроль разнообразных деталей включает проверку диаметров отверстий и шеек, длин участков, отклонений формы и расположения поверхностей, размеров отдельных конструктивных элементов (шпоночных канавок, шлицевых поверхностей, резьб и т.п.). Помимо этого проводят контроль твердости деталей и шероховатости их поверхностей.

В сельхозмашиностроении при серийном и массовом производствах контроль диаметральных размеров выполняют предельными и индикаторными скобами и двухсторонними пробками; проверка длин участков – с помощью линейных скоб или предельных шаблонов. При мелкосерийном производстве используют универсальный инструмент: штангенциркули; микрометры; линейки. Контроль некруглости (оваль-

ность, огранка, бочкообразность), изогнутость, перпендикулярности осей и биение осуществляют после установки детали в центрах или на призмах, используя индикаторы или миниметры. Для контроля фасок и галтелей применяют шаблоны. Шпоночные пазы и шлицы контролируют калибрами, резьбы на валах – резьбовыми кольцами: проходного – полного профиля и непроходного – укороченного профиля [25, 42]. Контроль шероховатости можно осуществлять двумя способами:

- сравнением реальной поверхности изделия с эталоном визуально;
- количественные замеры профилометрами или профилографами. Измерения проводят в направлении, перпендикулярном главному движению при резании [8, 25].

Вращающиеся детали (роторы) подвергают балансировке [89,99]. При необходимости проектант должен выбрать и обосновать метод балансировки, предложить метод корректировки центра масс ротора. Обычно статическую балансировку применяют для изделий, у которых $L/D < 3$ и скорость вращения $V < 6$ м/с. В других случаях необходима динамическая балансировка. Дебалансы уменьшают с помощью корректирующих масс, которые добавляют или удаляют из ротора или же перемещают по нему.

Центральное отверстие ротора должно обеспечивать посадку на вал, соответствующую характеру нагрузки. Посадка может быть переходной ($\pm 0,03$ мм) при легких нагрузках или с натягом при тяжелых и ударных нагрузках.

Специфическое требование предъявляют к качеству изготовления зубчатого венца шестерен. В соответствии с ГОСТ зубчатые передачи должны удовлетворять требованиям по:

- кинематической точности;
- плавности работы;
- боковому зазору между зубьями;
- величине и расположению контакта между зубьями спаренных шестерен [25].

В зависимости от степени ответственности проектируемой передачи и характера передаваемой нагрузки каждое из вышеуказанных требований может быть основным. В тракторах, кранах и сельхозмашинах применяют передачи 8-11 степеней точности.

В планетарных передачах основным требованием является кинематическая точность. В высокоскоростных передачах главное внимание уделяют плавности хода. В реверсивных передачах главное требование предъявляется к оптимальной величине бокового зазора. В средне и тяжело нагруженных передачах необходим контроль пятна контакта [33, 52].

Проектант должен назначить соответствующие виды контроля в зависимости от условий работы зубчатой передачи, по ГОСТ 1758-81 и ГОСТ 1643-81 определить допуск на вышеуказанные нормы точности и наметить методы и средства контроля. Наиболее распространенными зубомерными инструментами являются: штангензубомер; шагомер; нормалемер; межцентрмер. Для комплексной оценки точности изготовления зубьев используют также приспособление, на котором установлено колесо эталона с регулируемым положением.

Разнообразному контролю подвергают корпусные детали. При проверке их плоскостей измеряются непрямолинейность, неплоскостность, шероховатость и наличие дефектов (раковины, забоины и т.д.). Непрямолинейность проверяют с помощью лекальных линеек и щупов. Для контроля неплоскостности непрямолинейность плоскости измеряется в различных сечениях. Отклонение плоскости от параллельности измеряют с помощью контрольной плиты и индикаторной головки, закрепленной на этой плите. Отклонение от перпендикулярности плоскостей детали устанавливается с помощью лекальных угольников и щупов. Взаимное расположение отверстий и плоскостей определяют с помощью контрольных приспособлений [42].

В проекте необходимо предусмотреть все виды контроля сборочных работ, которые проводятся в заводских и полевых условиях. Например, в цехе необходимо проверить комплектность изделия, качество окраски, надежность резьбовых соединений, качество консервации отдельных поверхностей и т.д. В полевых условиях после настройки и приработки машины контролируют натяжение ременных и цепных передач, тормозную систему, степень нагрева трущихся поверхностей и т.д. Характер контрольных мероприятий определяют с учетом условий работы и конструкции изделия.

6.9. Предложения о повышении технологичности объекта проектирования

Развитие машиностроения базируется на постоянном совершенствовании изделий, снижении затрат на подготовку их производства, изготовление и эксплуатацию. Поэтому выполненный проект должен оканчиваться указанием перспектив повышения технологичности деталей, СЕ машины в целом. Выполняя этот важный раздел, проектант должен обратить внимание на:

- унификацию отдельных элементов деталей (фаски, шероховатость, расположение шпоночных пазов и др.) или деталей в СЕ;
- уменьшение износа трущихся частей деталей за счет использования специальных съемных вкладышей, более эффективной смазки, различных способов снижения коэффициента трения;
- уменьшение припусков на обработку за счет целесообразного выбора заготовок и предварительной их подготовки перед мехобработ-

кой, применения процессов вытяжки, высадки и обработки лазером [8, 75];

- снижение материалоемкости при одновременном обеспечении достаточной долговечности изделий за счет применения пластмасс, легких сплавов на основе алюминия, спеченных порошковых материалов [37];

- применение более точных и производительных способов соединения деталей (шовная сварка, эвольвентные шлицевые соединения и др.);

- проектирование технических средств механизации операций сборки (приспособления для сборки упругих элементов, клепки сегментов в полевых условиях, ориентации деталей и т.д.) [33];

- совершенствование стыковых поверхностей деталей в соединяемых СЕ.

Предложения о совершенствовании проектируемого изделия следует обосновать, а в некоторых случаях оформить чертежом. Более высокой степенью обоснованности предложений является функционально-стоимостной анализ [99].

7. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ДОКУМЕНТОВ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

Оформление пояснительной записки и чертежей дипломного и курсовых проектов проводится в соответствии со стандартом предприятия СП 101-2001, введённым в ДГТУ с 2001-04-01. Он использует следующие стандарты:

ГОСТ 2.004-88 ЕСКД. Общие требования к выполнению конструкторских и технологических документов на печатающих и графических устройствах ЭВМ.

ГОСТ Р 1.5-2004. Государственная система стандартизации Российской Федерации. Общие требования к построению, оформлению и содержанию стандартов.

ГОСТ 2.104-2004 ЕСКД. Основные надписи.

ГОСТ 2.105-95 ЕСКД. Общие требования к текстовым документам

ГОСТ 2.106-96 ЕСКД. Текстовые документы.

ГОСТ 2.109-96 ЕСКД. Основные требования к чертежам.

ГОСТ 2.111-68 ЕСКД (с изменениями 1985, 1987, 2001, 2006г.).

Нормоконтроль.

ГОСТ 2.301-68 ЕСКД (с изменениями 1980, 2001, 2006г.). Форматы.

ГОСТ 2.304-81 ЕСКД (с изменениями 1989, 2006г.). Шрифты чертежные.

ГОСТ 2.316-2008 ЕСКД. Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц.

ГОСТ 2.321 -84 ЕСКД. Обозначения буквенные.

ГОСТ 2.413-72 ЕСКД (с изменениями 1984г.). Правила выполнения конструкторской документации изделий, изготовляемых с применением электрического монтажа.

ГОСТ 2.417-91 ЕСКД. Платы печатные. Правила выполнения чертежей.

ГОСТ 2.503-90 ЕСКД. Правила внесения изменений.

ГОСТ 2.605-68 ЕСКД (с изменениями 1985, 2000г.). Плакаты учебно-технические. Общие технические требования.

ГОСТ 2.701- 2008 ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.

ГОСТ 7.1 –2003 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическое описание документов, общие требования и правила составления.

ГОСТ 7.32-2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

ГОСТ 8.417-2002 ГСИ Единицы физических величин.

Ниже излагаются извлечения из СП 101-2001, необходимые для правильного оформления проектов по специальности.

7.1. Обозначение изделий и конструкторских документов

Все элементы курсовых и дипломных проектов должны иметь обозначения. Для учебных документов, чертежей и текстовых документов курсовых и дипломных проектов (работ) принята следующая система обозначений:

Обозначение состоит из трёх частей: классификационного кода проекта (работы); кода исполнителя и регистрационного кода данного документа. Код проекта занимает 6-8 позиций; код исполнителя – 6; регистрационный номер документа – 7 позиций. Части разделяются точками.

Первая часть содержит характеристики вида всей работы.

Для курсового проекта (работы) классификационный код имеет 6 позиций; две первые позиции – символы вида работы: КП – курсовой проект; КР – курсовая работа; КЗ – контрольное задание; ИЗ – индивидуальное задание; НР – научная работа и т.д. Четыре последующие позиции должны содержать аббревиатуру названия дисциплины, по которой выполняется проект (работа).

Например: КПТСХМ – курсовой проект по технологии сельскохозяйственного машиностроения;

КПТКУМ – курсовой проект по теории и конструированию уборочных машин;

КРНПД – курсовая работа по надёжности и прочности деталей машин.

Дипломный проект.

Выпускные квалификационные работы должны в классификационном коде иметь 8 позиций.

Две первых – отводятся на вид работы (ДП – дипломный проект; ВР – выпускная работа бакалавра; ДМ – диссертационная работа магистра); остальные шесть позиций указывают номер специальности или направления.

Вторая часть содержит сведения об исполнителе. Две первых позиции отводятся на две последние цифры зачётной книжки; третий символ – вид обучения: (С – специалист; Б – бакалавр; М – магистр); четвёртая позиция – курс обучения; пятая – форма обучения (Н – нормативный, С – сокращённый).

Третья часть содержит регистрационный код документа. Он включает регистрационный номер изделия, которому посвящён документ и буквенный код документа. Номер имеет 3 цифры: первые две

– номер узла изделия, затем точка; три последующие позиции – номер детали.

Согласно стандарту курсовые и дипломные проекты (работы) должны иметь буквенные коды документов:

текстовых:

- ведомость курсового проекта	КВ
- ведомость дипломного проекта	ВД
- ведомость выпускной работы бакалавра	ВБ
- пояснительная записка	ПЗ
чертежей:	СБ
- сборочный чертёж	
- чертёж общего вида	ВО
- габаритный чертёж	ГЧ
- электромонтажный чертёж	МЭ
- документы прочие (плакаты)	Д

Схем согласно ГОСТ 2.701:

- электрические	Э
- кинематические	К
- гидравлические	Г
- пневматические	П
- комбинированные	С

По основному назначению схем их подразделяют на типы, цифрами:

- структурные	1
- функциональные	2
- принципиальные полные	3
- соединений (монтажные)	4
- подключения	5
- общие	6
- расположения	7
- объединенные	0

Примеры:

1 . Схема кинематическая принципиальная	КЗ
2 . Схема машины принципиальная	С2
3 . Схема кинематическая общая	К6
4 . Схема пневматическая принципиальная	С3

Данные об элементах, изображенных на схеме изделия, записывают в перечень элементов. Его помещают на листе схемы или

выполняют в виде самостоятельного документа. Перечень элементов, выполненный в виде самостоятельного документа, имеет код, состоящий из буквы П и кода схемы, к которой он выпущен, например, ПКЗ - код перечня элементов к кинематической принципиальной схеме. Форма перечня элементов - приложение М стандарта.

Примеры обозначения документов.

ДП190206.21С50Н.00.000ПЗ обозначение пояснительной записки к дипломному проекту, где 190206 или 190109 номер специальности по классификатору, 21 - последние две цифры номера зачетной книжки; С - специалист; 5 – пятикурсник; О – очная форма; Н – нормальный срок обучения.

ДП190206.21С50Н.05.000СБ - обозначение сборочной единицы 05, выходящей самостоятельным документом в составе указанного дипломного проекта.

ВР190100.21Б4ОН.05.000СБ – то же, но в выпускной работе бакалавра.

7.2. Требования к оформлению титульного листа

Титульный лист является первым листом пояснительной записки, выполнять его следует на белой бумаге форматом А4 (210 x 297) мм черными чернилами (пастой) чертежным шрифтом по ГОСТ 2.304. Допускается использовать готовые бланки, а также изготавливать при помощи печатающих устройств ПК.

Шрифт 7 мм применять для написания слова УТВЕРЖДАЮ, наименования и обозначения проекта (работы), шрифт 5 мм - для всех остальных надписей.

Перенос слов на титульном листе не допускается. Точки в конце заголовков не ставят. Формы титульных листов курсового и дипломного проектов приведены в приложении 1.

В дипломных проектах совмещать титульный лист с обложкой не допускается.

В курсовых проектах (работах) допускается совмещать титульный лист с обложкой.

7.3. Требования к оформлению задания на дипломный и курсовой проекты (работу)

Задание является основным исходным документом и выдается студентам до начала проектирования на каждый проект (работу) руководителем. В зависимости от темы проекта объем и содержа-

ние проекта может уточняться в процессе разработки и проектирования по необходимости. Задание утверждается заведующим кафедрой.

Стандартом устанавливаются формы заданий:

- на дипломный проект и другие работы (см. приложение 2);
- на курсовой проект (работу).

Задания на проекты (работы) оформляют на бланках, изготовленных типографским или другим способом.

Задание на выполнение проекта (работы) брошюруют в папке текстовых документов после титульного листа и включают в нумерацию листов проекта (работы). Номер страницы на нем не ставят.

7.4. Требования к оформлению текста пояснительной записки

Общие требования. Текст пояснительной записки (ПЗ) располагают на одной стороне листа белой бумаги форматом А4 (210x297 мм) по ГОСТ 2.301 и оформляют на формах, установленных ГОСТ 2.104. Основная надпись ПЗ выполняется только на листе «СОДЕРЖАНИЕ» (см. приложение 2).

Текст ПЗ выполняют одним из следующих способов:

- рукописным, аккуратно чернилами (пастой) одного цвета (черного, синего, фиолетового), применение в одной работе чернил (пасты) разного цвета не допускается. Высота строчных букв в тексте не менее 2,5 мм, в формулах высота букв и цифр прописных 5-8 мм, строчных 3-4 мм;
- печатным (на принтере) с использованием текстовых редакторов с четким шрифтом черного цвета высотой не менее 2,5-3 мм (шрифт 14 Nimes New Roman).

Расстояние от рамки формы до границ текста в начале и конце строк - не менее 3 мм. Расстояние от верхней или нижней строки до верхней или нижней рамки формы должно быть не менее 10 мм.

Абзацы в тексте начинают отступом, равным 12,5 мм.

Опечатки, описки и графические неточности можно исправлять подчисткой или закрашиванием белой краской с нанесением на том же месте исправленного текста.

Нумерация страниц в тексте ПЗ, включая рисунки и таблицы, выполненные на листах форматом А4, сквозная.

Первым листом является титульный лист, который не нумеруется.

Номера страниц проставляют в соответствующих графах основной надписи. Основную надпись выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 2.104-2005 и приложением 2.

Полное наименование изделия на титульном листе, в основной надписи и в тексте пояснительной записки должно быть одинаковым.

Текст ПЗ должен быть кратким, четким, не допускающим различных толкований и разделяться на разделы, подразделы и пункты.

Каждый раздел следует начинать с нового листа.

Разделы, подразделы должны иметь заголовки обязательно. Пункты могут не иметь заголовков. Заголовки должны четко и кратко отражать содержание. Заголовки следует печатать с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Перенос слов в заголовках допускается. Перед переносом текста на следующий лист после наименования подраздела должно быть не менее двух строк текста.

Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всей пояснительной записки, обозначенные арабскими цифрами без точки. Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. Разделы, как и подразделы, могут состоять из одного или нескольких пунктов. Точки в конце номера не ставят.

Слова: СОДЕРЖАНИЕ, ВВЕДЕНИЕ, ЗАКЛЮЧЕНИЕ, СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ, ПРИЛОЖЕНИЯ служат заголовками соответствующих разделов и нумерации не имеют.

Расстояние между заголовком и текстом должно быть равно 3 интервала (при выполнении рукописным способом - 15 мм). Расстояние между заголовками раздела и подраздела - 2 интервала (при выполнении рукописным способом - 8 мм).

При изложении обязательных требований в тексте должны применяться слова: "должен", "следует", "необходимо", "требуется", "чтобы", "разрешается только", "не допускается", "запрещается", "не следует". При изложении других положений следует применять слова - "могут быть", «целесообразно», "как правило", "при необходимости", "в случае" и т. д.

Допускается использовать обезличенную повествовательную форму изложения текста ПЗ, например, "применяют", "указывают" и т. п. Применять слова «я», «моё» не рекомендуется.

В ПЗ должны применяться научно-технические термины, обозначения и определения, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии общепринятые в научно-технической литературе.

При изложении текста ПЗ не допускается:

- применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском;

- применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, а также соответствующими стандартами;

- применять в тексте математический знак минус (-) перед отрицательными значениями; следует писать слово "минус".

- применять без числовых значений математические знаки, например > (больше), < (меньше), = (равно), ≥ (больше или равно), ≠ (неравно), также знаки % (процент), № (номер);

- применять индексы стандартов технических условий (ГОСТ, ОСТ, СТП, ТУ и т. д.) без регистрационного номера.

В пояснительной записке необходимо применять стандартизованные единицы физических величин, их наименования и обозначения в соответствии с ГОСТ 8.417-2002.

Применение в тексте пояснительной записки разных систем обозначения единиц физических величин не допускается. Наряду с единицами СИ при необходимости в скобках указывают единицы, ранее применявшихся систем, разрешенных к применению.

Числовые значения величин в тексте должны указываться с требуемой точностью. Если приводится ряд числовых значений, одной и той же единицы физической величины, то ее указывают только после последнего числового значения, например 1,50; 1,75; 2,00 м.

При указании диапазона числовых значений физической величины, обозначение единицы физической после последнего числового значения диапазона.

Примеры: от 1 до 5 мм; от 10 до 100 кг.

Недопустимо отделять единицу числовой величины от числового значения (переносить их на разные строки или страницы).

Оформление формул. В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими государственными стандартами.

Пояснения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, если они не пояснены ранее в тексте, должны быть приведены непосредственно под формулой. Пояснение каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться со слова "где" без двоеточия после него.

Пример.

Плотность каждого образца ρ , кг/м³, вычисляют по формуле

$$\rho = m / V,$$

где m - масса образца, кг;

V - объем образца, м³.

Формулы, следующие одна за другой и не разделенные текстом, разделяют запятой.

Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей

строки повторяют. При переносе формулы на знаке умножения применяют знак "х".

Применение в одной формуле машинописных и рукописных символов не допускается.

Формулы нумеруются сквозной нумерацией арабскими цифрами, которые записываются на уровне формулы справа в круглых скобках. Например, первую формулу обозначают (1). Ссылки в тексте на порядковые номера формул дают в скобках, например, «в формуле (1)».

Допускается нумерация формул в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например, (3.1).

Формулы, помещаемые в приложениях, должны нумероваться отдельной нумерацией арабскими цифрами в пределах каждого приложения.

Оформление иллюстраций. Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста. Иллюстрации должны быть расположены как можно ближе к соответствующим частям текста и выполнены в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД. Иллюстрации нумеруются арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок I».

Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой, например, «Рисунок 1.1».

При ссылках на иллюстрации следует писать: "в соответствии с рисунком 2" при сквозной нумерации и "... в соответствии с рисунком 1.2" при нумерации в пределах раздела.

Иллюстрации должны иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст).

Слово "Рисунок" и наименование располагают следующим образом:

Рисунок 1. Детали прибора.

Оформление таблиц. Цифровой материал для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей оформляют в виде таблиц. Таблица имеет порядковый номер и по необходимости название.

Название таблицы должно отражать её содержание, быть точным, кратким. Название помещают над таблицей, начинают с прописной буквы, не подчеркивают.

Таблицы необходимо нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если таблица одна, она должна быть обозначена "Таблица I". Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

В тексте пояснительной записки на все таблицы должны быть приведены ссылки, при ссылке следует писать слово "таблица" с указанием ее номера.

Поле таблицы должно со всех сторон ограничено линиями. Горизонтальные и вертикальные линии, разграничивающие строки и столбцы (графы) таблицы, допускается не проводить. Головка таблицы должна быть отделена линией от остальной части таблицы. Высота строк таблицы должна быть не менее 8 мм,

Заголовки граф записывают параллельно строкам таблицы. Допускается перпендикулярное расположение заголовка граф.

Заголовки граф и строк таблицы следует писать с прописной буквы, а подзаголовки граф - со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят.

Заголовки и подзаголовки граф указывают в единственном числе.

Разделять заголовки и подзаголовки боковика и граф диагональными линиями не допускается.

Графу "номер по порядку" в таблицы ПЗ включать не рекомендуется.

Таблицу, в зависимости от её размера, помещают под текстом или на следующей странице после первой ссылки на неё.

Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа пояснительной записки, таблицу с большим количеством строк допускается переносить на другой лист. При переносе таблицы на другую страницу заголовок помещают только над её первой частью, при этом в каждой части таблицы повторяют её головку и боковик. Слово "Таблица" указывают один раз слева над первой частью таблицы, над другими частями пишут слова "продолжение таблицы" с указанием номера (обозначения) таблицы.

Если повторяющийся в графе таблицы текст состоит из одного слова, его допускается заменять кавычками. Заменять кавычками повторяющиеся в таблице цифры, математические знаки, знаки процента и номера, обозначения марок материалов и типоразмеров изделий, обозначения нормативных документов не допускается.

Если данные в какой-либо строке таблицы не приводят, то в ней ставят прочерк (тире). При указании в таблице последовательных интервалов чисел, охватывающих все числа ряда, их следует записывать "От...до...вкл.". В интервале, охватывающем числа ряда, между крайними числами ряда в таблице допускается ставить тире.

При наличии в пояснительной записке небольшого по объёму цифрового материала, его следует давать текстом, располагая цифровые данные в виде колонок.

Пример.

Предельные отклонения размеров профилей всех номеров:
по высоте±2,5 %
по ширине полки.....± 1,5 %
по толщине стенки.....±0,3 %
по толщине полки ±0,3 %

При необходимости пояснения отдельных данных, приведенных в таблице, следует обозначать надстрочными знаками сноски. Знак сноски ставят непосредственно после того слова, числа, символа, к которому даётся пояснение, и перед текстом сноски. Знак сноски выполняют арабскими цифрами со скобкой и помещают на уровне верхнего обреза шрифта. Допускается вместо цифр выполнять сноски звёздочками, применять более четырех звёздочек не рекомендуется.

Сами сноски располагают с абзацного отступа в конце таблицы. Нумерация сносок отдельная для каждой таблицы.

7.5. Требования к изложению документов пояснительной записки

Аннотация. Аннотация представляет краткую характеристику проекта, необходимую для её библиографической классификации.

Приводится:

заголовок заглавными буквами:

ключевые слова; например, СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО, МАШИНЫ, СЕЯЛКА, КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЁТ, ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ;

Ведомость проекта. Ведомость проекта следует составлять в соответствии с ГОСТ 2.106-96 на листах формата А4 с рамкой и основной надписью для текстовых документов.

В ведомость проекта следует записывать все документы, вновь разработанные и примененные из другой документации.

Запись документации в ведомости производить в следующей последовательности:

- документация общая;
- документация по сборочным единицам;
- документация по деталям;
- прочие документы.

Каждый раздел должен состоять из подразделов:

- вновь разработанная;
- примененная.

Наименование разделов и подразделов записывают в графе "Наименование" в виде заголовков. Наименование разделов подчеркивают.

В раздел "Документация общая" записывают документы, относящиеся к основному комплекту документов изделия (документы, относящиеся ко всему проектируемому изделию в целом).

В раздел "Документация по сборочным единицам" следует записывать документы, относящиеся к составным частям проектируемого изделия.

В раздел "Документация по деталям" следует записывать наименования чертежей всех деталей проекта. Раздел располагается после сборочных единиц.

Если при выполнении дипломной работы (проекта) изготовлены макеты, модели, их записывают в раздел "Макеты, модели".

В раздел "Прочие документы" записывают иллюстративный материал к другим частям проекта: технологической; экономической; научно-исследовательской; оформленный в виде чертежей; плакатов, фотографий и т.д..

Заполнение ведомости производят в следующем порядке:

- в графе "Формат" указывают формат, на котором выполнен документ. Если документ выполнен на листах различных форматов, то в графе проставляют звездочку со скобкой, а в графе "Примечание" перечисляют все форматы в порядке их увеличения;

- в графе "Обозначение" указывают обозначение документа; например, 1920.150000..000Д1;

- в графе "Наименование" указывают наименование документа, например, "Пояснительная записка"; или чертежа в соответствии с его основной надписью;

- в графе "Кол. листов" указывают количество листов, на которых выполнен данный документ;

- в графе "№ экз." указывают номер экземпляра копии данного документа. При отсутствии номеров экземпляров графу прочеркивают;
- в графе "Примечание" указывают дополнительные сведения.

Форма ведомости дипломного проекта приведена в прил.2И.

Приложения. В состав приложений включают спецификации, таблицы, распечатки программ, заполненные формы ЕСТД для технологических процессов и т.д. Все приложения перечисляют в "Содержании" с указанием их обозначений и заголовков. На них дают ссылки в тексте.

Приложения оформляют как продолжение ПЗ, располагая их в порядке появления ссылок в тексте. Каждое приложение следует начинать с нового листа с указанием наверху посередине листа слова "Приложение" и его обозначения. Приложение должно иметь содержательный заголовок, который записывают с прописной буквы отдельной строкой.

Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением Ё, З, Й, О, Ч, Я, Ъ, Ы.

Если в ПЗ одно приложение, оно обозначается "Приложение А".

Текст каждого приложения, при необходимости, может быть разделен на разделы, подразделы, пункты и подпункты, которые нумеруют в пределах каждого приложения. Перед номером ставится обозначение этого приложения (А 2.1 - первый подраздел второго раздела приложения А).

Рисунки, таблицы, формулы, помещаемые в приложении, обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения, например, Рисунок ПЗ.1, формула (П.1), таблица П2.7.

Приложения должны иметь общую с остальной частью ПЗ сквозную нумерацию страниц.

7.6. Правила оформления графической документации

Состав и общие требования. Графические документы содержат изображения, эскизы и схемы изделий, а также процессов, в которых они претерпевают изменения.

Количество и содержание листов графических документов устанавливается руководителем проекта в задании проекта.

Чертежи выполняют, как правило, на компьютере в графическом редакторе типа AUTOCAD, UNIGRAFIKS, Компас и др. на листах белой бумаги стандартного формата А4 согласно ГОСТ 2.301-68 с изменениями. допускается выполнять чертежи в карандаше. Каждый чертёж должен иметь в правом нижнем углу свою основную надпись по ГОСТ 2.104-2006.

Требования к оформлению чертежа общего вида. Чертеж вида общего (ВО) - это документ, определяющий конструкцию изделия, взаимодействие его основных частей. Изображение выполняют по ЕСКД с максимальными упрощениями. Чертеж ВО должен включать следующие элементы:

- изображение, а также обозначения (если они имеются) тех составных частей изделия, для которых необходимо указать технические данные, или тех составных частей изделия, с помощью которых описывается принцип его работы;

- необходимые габаритные, установочные, присоединительные и исполнительные размеры, указания о выбранных посадках деталей;

- технические характеристики изделия, которые необходимы для последующей разработки чертежей;

- схему изделия, если она требуется, но оформлять её отдельным документом нецелесообразно.

Наименования и обозначения составных частей изделия на чертежах ВО указывают одним из следующих способов:

- на полках линий -выносок, проведенных от детали на чертеже ВО. Линии выноски не должны пересекаться между собой и не пересекать по возможности элементы изображения, к которым не относится помещённая на них надпись. Допускается выполнять линии - выноски с одним изломом. Надписи, относящиеся к изображению, могут содержать не более двух строчек, расположенных над полкой линии - выноски и под ней;

- в таблице, размещаемой на чертеже ВО;

- в таблице, выполненной на отдельных листах форматом А4 в качестве последующих листов чертежа ВО.

При наличии таблицы, размещаемой на чертеже, на полках линий-выносок указывают только номера позиций составных частей изделия.

Таблица в общем случае состоит из граф:

"Поз." (позиция), "Обозначение", "Кол." (количество), "Доп. указания" (дополнительные указания), но может включать графы "Материал", "Наименование" к др.

Размеры граф произвольные.

Составные части в таблицу рекомендуется записывать в следующей последовательности:

- заимствованные изделия;
- покупные изделия;
- вновь разработанные изделия.

Элементы чертежа ВО (надписи, текст технических требований, номера позиций и т.д.) выполняют по правилам стандартов ЕСКД для рабочих чертежей.

Чертежи сборочные. Сборочный :чертеж содержит изображение сборочной единицы и другие данные, необходимые для её сборки (изготовления) и контроля.

Сборочный чертеж должен содержать согласно ГОСТ 2.109-73 изображение сборочной единицы, дающее представление о расположении и взаимной связи составных частей, соединяемых по данному чертежу;

- сведения, обеспечивающие возможность сборки и контроля сборочной единицы;
- размеры, предельные отклонения и др. параметры и требования, которые должны быть выполнены, проконтролированы по сборочному чертежу.

Допускается указывать в качестве справочных размеры деталей, определяющие характер сопряжения:

- указания о характере сопряжения и методах его осуществления, если точность сопряжения обеспечивается не заданными предельными отклонениями размера, а подбором, пригонкой и т. п.;
- указания о способе выполнения неразъемных соединений (сварных, паяных и др.);
- номера позиций составных частей, входящих в изделие;
- габаритные, присоединительные, установочные и др. необходимые справочные размеры;
- техническую характеристику изделия (при необходимости).

Наименования и обозначения составных частей сборочной единицы приводят в спецификации чертежа, которая размещается в приложении проекта. Спецификация является документом чертежа сборочных единиц и не имеет буквенного кода.

Выполняется спецификация в виде самостоятельного документа по ГОСТ 2.106 на формате А4 ГОСТ 2.301 и может состоять из нескольких листов.

Основную надпись следует выполнять по ГОСТ 2.104 и приложению настоящего стандарта(см. приложение 2).

Сборочный чертеж (код СБ) следует записывать в раздел спецификации "Документация".

Общие требования к выполнению всех видов схем по ГОСТ 2.701

Схемы выполняют без соблюдения масштаба.

На схемах, как правило, используют стандартные условные графические обозначения; если необходимо использовать нестандартные условные обозначения некоторых элементов, то на схеме дают соответствующие пояснения.

На схемах допускается помещать различные технические данные. Эти сведения помещают либо около графических обозначений, либо на свободном поле схемы, как правило, над основной надписью.

Обозначения могут быть буквенные, буквенно-цифровые и цифровые.

Элементы, входящие в состав изделия и изображенные на схеме с указанием их наименований, обозначений и характеристик параметров, вносят в перечень элементов. Перечень элементов (ПЭ) помещают на первом листе схемы или оформляют в виде самостоятельного документа к схеме.

При выполнении перечня элементов на схеме его располагают над основной надписью на расстоянии не менее 12 мм от неё. Продолжение перечня помещают слева от основной надписи, повторяя головку таблицы - рисунок 7.1 Заполняется перечень элементов сверху вниз.

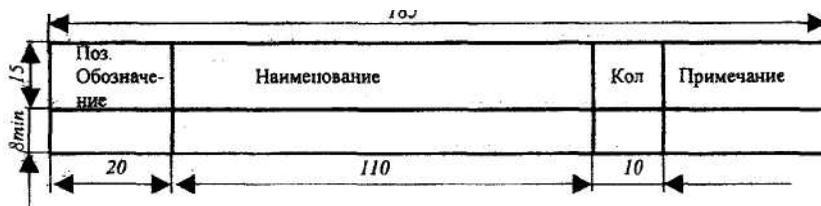


Рисунок 7.1 Форма перечня элементов схемы

Перечень элементов в виде самостоятельного документа (если он не помещается на чертеже) выполняется на формате А4 и имеет код,

состоящий из буквы П и кода схемы, к которой он выполнен. Элементы в перечень записывают группами в алфавитном порядке буквенных позиционных обозначений.

7.7. Правила оформления технологических документов

Технологические документы дипломного проекта оформляются в соответствии с требованиями стандартов ЕСТД. Технологические документы должны включать:

- схему сборки сконструированного узла машины в виде чертежа – по ГОСТ 3.1128-93 ЕСТД. «Общие правила выполнения графических технологических документов»;
- эскизы сборочных операций - по ГОСТ 3.1105-84 ЕСТД. «Формы и правила оформления документов общего назначения»;
- операционные карты наладок механической обработки - по ГОСТ 3.1404-86 ЕСТД. «Формы и правила оформления документов на технологические процессы и операции обработки резанием»;
- маршрутную карту - по ГОСТ 3.1118-82 ЕСТД «Формы и правила оформления маршрутных карт»;
- операционные карты слесарно-сборочных работ (по необходимости) по ГОСТ 3.1407-86 ЕСТД. «Формы и требования к заполнению и оформлению документов на технологические процессы (операции) специализированные по методам сборки»;
- другие технологические документы - в случае необходимости или по решению руководителя проекта.

Схема сборки, эскизы сборочных операций и карты наладок выполняются в виде чертежей на листах форматом А; другие технологические документы должны быть сброшюрованы непосредственно в пояснительной записке к дипломному или курсовому проекту (работе).

7.8. Нормоконтроль дипломных проектов (работ)

Нормоконтроль дипломного проекта в целом. Проверку документов следует проводить при наличии всех подписей лиц, ответственных за содержание и выполнение документов, кроме утверждающей подписи зав. кафедрой. Проверяется достаточность исходных данных в задании на дипломное проектирование, комплектность документов проекта, соответствие ведомости дипломного проекта ГОСТ 2.106-96 и стандарта предприятия СП-101-

Нормоконтроль пояснительной записки.

Проверяется:

Соответствие структуры пояснительной записки СТП 01-2001 и действующему методическому материалу на кафедре.

Соблюдение правил оформления по ГОСТ 2.105-95 и СТП 01-2001, соблюдение действующей научно-технической терминологии, наличие ссылок на источники информации, таблицы, иллюстрации, приложения, соблюдение обозначений единиц физических величин, наличие и правильность ссылок на стандарты и др. НТД, нумерация и оформление наименований разделов и подразделов, иллюстраций и таблиц, библиографических описаний источников, внешний вид записки.

Нормоконтроль спецификации.

Проверяется правильность заполнения по ГОСТ 2.106-96 и СТП 01-2001.

Нормоконтроль чертежей и схем.

Проверяется:

Правильность выполнения основной надписи по ГОСТ 2.104-2006 и СТП 01-2001, наличие подписей, обозначение, наименование, масштаб (для сборочных единиц и деталей), материал (для деталей).

Соблюдение правил выполнения чертежей: форматы, масштабы, линии, шрифты, изображения, обозначение материалов, нанесение размеров и предельных отклонений, указание допусков формы и расположения поверхностей, обозначение шероховатости поверхности, обозначение покрытий и видов обработки. Выполнение требований ГОСТ 2.109-73 на чертежах различных изделий.

Соблюдение условных обозначений элементов в схемах и правил их выполнения в соответствии с гостами ЕСКД.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров А.И. и др. Сопротивление материалов: учебник для вузов. - М.: Высшая школа, 2001. – 560 с.
2. Аллилуев В.А. и др. Технологическая эксплуатация машинно-тракторного парка. - М.: Агропромиздат, 1991. – 366 с.
3. Андросов А. А. Надежность технических систем: учеб. пособие. - Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2000. - 168 с.
4. Андросов А.А., Черкашин В.А. Прогнозирование надёжности деталей машин: метод. указания. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1998. – 39 с.
5. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. - М.: Машиностроение, 1992.
6. Носов Г.Р. и др. Автоматика и автоматизация мобильных сельхозмашин. Киев: ВШ, 1984.
7. Практикум по автоматике. Математическое моделирование САР/Под ред. Б.А. Карташева. – М.: КолосС, 2010.
8. Бабичев А.П., Тамаркин М.А., Рысева Т.Н. Формирование параметров качества поверхностей, определяющих эксплуатационные свойства деталей машин: текст лекций / РИСХМ. – Ростов н/Д, 1990.- 51с.
9. Шеповалев В.Д. Автоматизация уборочных процессов - М.: Колос, 1978 – 383 с.
10. Халанский В.М., Горбачев Б.Н. Сельскохозяйственные машины: учебник. – М.: КолосС - 2006.
11. Иванцов В.И., Смехунов Е.А. Влияние технологических свойств сельскохозяйственных объектов на материал деталей рабочих органов: учеб. пособ. Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2011. – 133 с.
12. Вальтер А. И., Баранов А. А. Управление качеством машин и технологий. – Тула: ТГТУ, 2003. – 230 с.
13. Чистяков И.Д. Синтез технических решений в сельскохозяйственном и пищевом машиностроении: Основные компоненты и выбор метода – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2007. - 128 с.
14. Воспуков В.К. Кинематические схемы сельскохозяйственных машин: Спр. пособие. - Минск: Высшая школа, 1981. – 128 с.

15. Всеобщее управление качеством: учебник для вузов/ О.П. Глудкин, Н.М.Горбунов, А.М.Гуров, Ю.В.Зорин / Под ред. О.П.Глудкина. - М.: Радио и связь, 1999. – 600 с.
16. Драгайлов В.И., Морозов Н.М. и др. Методика экономической оценки технологий и машин в сельском хозяйстве. – М.: ВНИИ экономики сельского хозяйства, 2010. – 146 с.
17. Хозяев И.А. Проектирование технологического оборудования пищевых производств – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2009. – 248 с.
18. Гжиров Р.И. Краткий справочник конструктора. - Л.: Машиностроение, 1994.
19. Гуряков М.В., Поляков М.И. Малогабаритная сельскохозяйственная техника: Справочник. - М : Машиностроение, 1994. – 160 с.
20. Дьяченко Г.Н., Игнатенко И.В., Литенко Д.Г. Ротационные рабочие органы почвообрабатывающих орудий: учеб. пособие. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2004. - 103 с.
21. Добронравов В.И., Никитин Н. П. Курс теоретической механики: Учебник по машиностроению для вузов.- М., 1983. – 575 с.
22. Долгов И.А. Уборочные сельскохозяйственные машины (конструкция, теория, расчет): учебник для вузов. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 707 с.
23. Долгов И.А. Расчет рабочих органов уборочных машин: Учеб. пособие.- Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. - 123 с.
24. Долгов И.А. Машины и оборудование для механизации и автоматизации животноводческих и птицеводческих ферм и комплексов (конструкция, теория, расчёт). – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2009. – 984 с.
25. Палей М.Н. Допуски и посадки. В 2-х ч. – СПб: Политехника, 2001.
26. Дружинин И. В. Введение в проектирование конкурентоспособных технических объектов: учеб. пособие для вузов – Ростов н/Д: Федеральное государственное предприятие «ВНИИ «Градиент», 2003. – 79с.
27. Ермольев Ю. И. Основы научных исследований в сельскохозяйственном машиностроении: учеб. пособие. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 246 с.

28. Ермольев Ю. И. , Чистяков А.Д. и др. Основы проектирования сельскохозяйственных машин: учебник для вузов. - Тула: Издательский центр ДГТУ, 2006. – 516 с.
29. Ермольев Ю.И., Лукинов Г.И., Шелков М.В. Моделирование процессов сепарации сыпучих материалов на транспортном сепараторе // Вестник ДГТУ. - 2001. - Т.1. - №3(9). – С. 31-41.
30. Ермольев Ю. И., Бутовченко А.В., Московский М.Н. и др. Проектирование технологических процессов и воздушно-решетных и решетных зерноочистительных машин. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010. – 638 с.
31. Московский М.Н. Проектирование и расчет рабочих органов машин для животноводства: учеб. пособие. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2009. – 148 с.
32. Шатилов КВ и др. Кукурузоуборочные машины. 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1981. – 223 с.
33. Зуев А.А. Технология машиностроения: учебник для вузов. – СПб.: Изд-во «Лань», 2003. – 446 с.
34. Иванцов В.И. Использование графов при конструировании и разработке техпроцесса изготовления изделий: Учеб. пособие. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2005. – 102 с.
35. Иванцов В.И. Выбор и обоснование вида заготовок для деталей сельхозмашин: метод. указания. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 16 с.
36. Иванцов В.И., Кудряков О.В. Защитно-декоративные покрытия изделий машиностроения. Ч.1, 2. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1999.
37. Иванцов В.И., Кудряков О.В. Материалы в сельскохозяйственном машиностроении. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1994. – 42 с.
38. Игнатенко И.В. Энергетические аспекты динамики упруго-закреплённых рабочих органов в земледельческой механике. - Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2002. -159 с.
39. Карелин В.С. Проектирование рычажных и зубчато-рычажных механизмов: справочник. - М.: Машиностроение, 1986. – 184 с.
40. Карякина М.И. Лакокрасочные материалы для защиты сельскохозяйственной техники. – М.: Химия, 1985. – 112 с.
41. Качество машин: справочник. В 2-х т./ А.Г. Суслов, Э.Д. Браун, Н.А. Виткевич и др. – М.: Машиностроение, 1985.

42. Пучин Е.А. Надёжность технических систем. – М.: УМЦ Триада, 2005. – 351 с.
43. Кленин Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. – М.: Колос, 2003. – 464 с.
44. Игнатенко И.В. Моделирование сельскохозяйственных процессов и машин: учеб. пособие. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010.
45. Корнеев В.Б., Корнеев И.В. Экономическое обоснование конструкций сельскохозяйственных машин и оборудования: метод. указания по выполнению экономической части дипломного проекта. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2001. – 12 с.
46. Кочаев В.П. и др. Расчеты деталей машин на прочность и долговечность: справочник. - М.: Машиностроение, 1985. – 223 с.
47. Ксеневиц И.П. и др. Ходовая система-почва-урожай. / Под ред. П.М.Ксеневица. - М.: Агропром, 1985. – 304 с.
48. Кушнарёв А.С., Котов В.И. Механико-технологические основы обработки почв. – Киев: Урожай, 1989.-132 с.
49. Липкович Э. И. Аналитические структуры сельскохозяйственных машин. – Ростов н/Д: Издательство РГУ, 1983. – 112 с.
50. Иванцов В.И. Расчет количественных показателей технологичности изделий сельскохозяйственного машиностроения: метод. указания. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2007.
51. Машиностроение. Энциклопедия. Под редакцией К.В. Фролова и др. – М.: Машиностроение 1997-2012 г.
52. Баранов А.А., Воскресенский Е.А. Технология сельскохозяйственного машиностроения: учеб. пособие. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2005.
53. Медведев В.В. Изменчивость оптимальной плотности сложения почв и ее причины // Почвоведение. – 1990. - №5.
54. Мельников А.С. Влияние достижения показателей точности машины на организацию сборочного процесса: учеб. пособие. - Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2004. – 48 с.
55. Иванцов В.И., Муратов Д.К. определение типа и характера производства на этапе проектирования изделий: метод. указания. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2013.
56. Иванцов В.И. Солоненко О.И. Валковые жатки- М.: Машиностроение, 1984. – 200 с.
57. Машины для агрохимических работ: справочник. - М.: Росагропромиздат, 1991. – 319 с.

58. Механизация защиты растений: справочник. – М.: Агропромиздат, 1992. – 223 с.

59. Норенко И. П. Система автоматизированного проектирования. Причины построения и структура. Кн.1.– М.: Высшая школа, 1986. – 127 с.

60. Общемашиностроительные нормативы времени на слесарную обработку деталей и слесарно-сборочные работы по сборке машин и приборов в условиях массового, крупносерийного и среднесерийного типов производства. – М.: Экономика, 1991. – 159 с.

61. Общемашиностроительные нормативы времени на работы, выполняемые на металлорежущих станках: единичное, мелкосерийное и среднесерийное производство.– М.: Экономика, 1989. – 426 с.

62. Общемашиностроительные нормативы времени на электрошлаковую сварку: единичное, мелкосерийное и среднесерийное производство. – М.: Экономика, 1989. – 74 с.

63. Общемашиностроительные нормативы времени на термическую обработку металла в печах, ваннах и установках ТВЧ. - М.: Экономика, 1988. – 81 с.

64. Основы проектирования и расчет сельскохозяйственных машин / Л.А.Резников, Г.Н.Дьяченко и др. - М.: Агропромиздат, 1991. – 548 с.

65. Расчет и проектирование деталей машин: Учеб. пособие / Под ред. А.А. Андросова. - Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2002. – 284 с.

66. Орлов П.И. Основы конструирования: Справочно-метод. пособие. В 2 кн. Кн.1. – М.: Машиностроение, 1988. – 559 с.

67. Орлов П.И. Основы конструирования. Справочно-метод. пособие. В 2 кн. Кн.2. – М.: Машиностроение, 1988. – 542 с.

68. Постников Н.М. Картофелепосадочные машины. – М.: Машиностроение, 1981. – 228 с.

69. Петров Г.Д. Картофелеуборочные машины. Расчет и проектирование. - М.: Машиностроение, 1984. – 320 с.

70. Погорелый Л. В. Инженерные методы испытаний сельскохозяйственных машин. – Киев.: Техника, 1001. – 157 с.

71. Погорелый Л. В. , Бильский В. Г., Кононенко Н. П. Научные основы повышения производительности сельскохозяйственной техники. – Киев: Урожай, 1989. – 235 с.

72. Погорелый ЛВ. и др. Свеклоуборочные машины: конструирование и расчет / Под общ. ред. Л.М.Погорелого. - Киев: Техника, 1983. – 168 с.

73. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества: учеб. пособие для вузов. - М.: Машиностроение, 1988. - 368 с.
74. Иванцов В.И., Муратов Д.К. Сварные соединения сельскохозяйственных машин: метод. указания. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2012.
75. Долгорукий В.В. и др. Приводы машин: справочник. - Л.: Машиностроение, 1982. – 383 с.
76. Проектирование валов с применением ЭВМ: метод. указания. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1995. – 52 с.
77. Радин В.В., Войцеховский В.В., Димитров В.П. и др. САПР: Основы. Применение в машиностроении: учеб. пособие для вузов. – Ростов н/Д: РГАСХМ, 1999. – 136 с.
78. Расчет припусков и межпереходных размеров в технологии машиностроения: учеб. пособие / Я.М. Радкевич, В.А. Тимирязев, А.Г. Спиртладзе и др. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. – 340 с.
79. Курчаткин В.В. Надёжность и ремонт машин – М.: Колос, 2000. – 376 с.
80. Россия в цифрах. 2012: крат. стат. сб.– М.: Росстат, 2012, - 573 с.
81. Игнатенко И.В., Ермольев Ю.И. Машины для повышения плодородия почв: учеб. пособие. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ. 2009.
82. Русанов А. И., Журавлева Г. М. Инженерная методика прогнозирования развития зерноуборочных комбайнов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1977. – №1. – С.15-20.
83. Ариотов Б.А., Важенин А.Н., Пасин А.В. Методы повышения эффективности механизированных производственных процессов по условиям их функционирования в растениеводстве: учеб. пособие. – М.: Академия естествознания. 2010.
84. Игнатенко И.В., Ермольев Ю.И. Машины для возделывания сельскохозяйственных культур: учеб. пособие. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008.
85. Спиченков В.В., Андросов А.А. Методы технических экспериментов: учеб. пособие. - Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2000. - 168 с.
86. Спиченков В.В., Андросов Д.А. Обеспечение надежности машин при проектировании: учеб. пособие. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1996. – 94 с.
87. Ермольев Ю.И. и др. Курсовое и дипломное проектирование сельскохозяйственных машин и оборудования: учеб. пособие / Под

ред. Ю.И. Ермольева. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2006. – 435 с.

88. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. / Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986. – 22 с.

89. Справочник конструктора сельхозмашин / Под ред. М.И. Клёцкина. В 4 т. – М.: Машиностроение, 1969.

90. Справочник конструктора машиностроителя. В 8 т. / Под общ. ред. Д.А.Великородова. Т.3. Передачи и зацепления. ВПМИ, 1991.

91. Справочник по мелиоративным машинам / Под. ред. В.Л. Балариной и др. - Киев: Урожай, 1991. – 231 с.

92. Справочные таблицы к расчету приводов / Отв. за вып. Л.М.Алотин. – Ростов н/Д, 1984. – 38 с.

93. Сумской С.Н. Расчет кинематических и динамических характеристик плоских рычажных механизмов: справочник. - М.: Машиностроение, 1980. – 310 с.

94. Теория, конструкция, расчет сельскохозяйственных машин / В.С.Босой, О.В.Верняев, И.И.Смирнов, Е.Г.Султан-Шах / Под ред. Е.С.Босого. – М.: Машиностроение, 1978. – 567 с.

95. Тракторы, сельскохозяйственные машины и орудия. Серия «Состояние и пути развития техники для новых технологий возделывания». Т.5. / Под ред. И.М. Панова / АН СССР. ВИНТИ. Итоги науки и техники. – М., 1990. – 158 с.

96. Смехунов Е.А. Поточные линии в производстве сельскохозяйственной продукции: учеб. пособие. Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ. 2008. – 123 с.

97. Технология машиностроения: учебник для вузов. Т.1. Основы технологии машиностроения; Т.2. Производство машин / В.М.Бурцев, А.С.Васильев, А.М.Дальский и др. – М.: Изд-во МГТУ, 2001. – 563 с.

98. Технологичность конструкции изделия: справочник / Ю.Д.Амиров, Т.К.Алферова, П.Н.Волков и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.

99. Ткачёв В.А. Методы повышения долговечности сельскохозяйственных машин (эксперимент, практика, рекомендации) – М., 1993. – 211 с.

100. Маркин Ю.П. Комбайновая уборка винограда технических сортов: исследования, теория, конструкции, практика. – Новочеркасск: Издательство «НОК», 2005 – 448 с.

101. Федоренко В.Ф., Гольяпин В.Я. Тенденции развития зерноуборочных комбайнов // Техника и оборудование для села. – 2004. - №1.- С.9-14.

102. Хайлис Г.А. и др. Льноуборочные машины. - М.: Машиностроение, 1985. – 192 с.

103. Хвостов В.А., Рейтард Э.С. Машины для уборки корнеплодов и лука (теория, конструкция, расчет). - М., 1995. – 391 с.

104. Хозяев И.А. Основы проектирования машин и аппаратов пищевых производств: учеб. пособие. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1996. – 189 с.

105. Хоменко М.С. Механизация посева зерновых культур и трав: справочник. – Киев: Урожай, 1989. – 168 с.

106. Чистяков А. Д. Прогнозирование структуры сельскохозяйственных машин. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. -195 с.

107. Чистяков И.Д., Яковенко И.Д. Поиск инженерных решений: рекомендации. - Ростов н/Д: ИПК и ПК Минтракторосельхозмаша, 1990 – 53 с.

108. Чистяков А.Д., Чистяков И.Д. Прогнозирование параметров технологического оборудования: учеб. пособие. - Ростов н/Д, 2003. – 110 с.

109. Чистяков А.Д., Пройдак Н.И. Организация эксплуатации сельскохозяйственной техники: учеб. пособие. - Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2001. – 72 с.

110. Харьковский В.И. Обоснование и расчёт рабочих органов почвообрабатывающих машин. –Ростов н/Д: РИАТМ, 1995. – 101 с.

111. Шатуновский Г.М. Технологичность конструкции и экономическая эффективность сельскохозяйственных машин. - М.: Машиностроение, 1962. – 444 с.

112. Шишкин И.В., Станякин В.М. Квалиметрия и управление качеством. – М.: Изд-во ВЗПИ, 1992. – 255 с.

113. Шитилов ВВ и др. Кукурузоуборочные машины. 2-е изд. - М.: Машиностроение, 1981. – 223 с.

114. Шпур Г., Краузе Ф.Л. Автоматизированное проектирование в машиностроении: Пер с нем. / Под ред. Ю.М. Соломенцева, В.П. Диденко. – М.: Машиностроение, 1988. – 648 с.

115. Аствацатуров А.Е. Общая экология для технических вузов.
– Ростов н/Д: МОРФО РГУ, 2004. – 211 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ НА КУРСОВОЙ (ДИПЛОМНЫЙ) ПРОЕКТ

Форма титульного листа курсового проекта (работы)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
 УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
 «ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 (ДГТУ)

Кафедра _____

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой _____

« ____ » _____ 20_ г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

К курсовому проекту (работе) по _____
(наименование учебной дисциплины)

на тему: _____

Автор проекта (работы) _____

Специальность _____

Обозначение курсового проекта (работы) _____ Группа _____

Руководитель проекта _____
(подпись) _____ Ф. И. О.

Проект (работа) защищен (а) _____
(дата) _____ (оценка)

Члены комиссии _____
(подпись) _____ Ф. И. О.

_____ Ф. И. О.

_____ Ф. И. О.

г.Ростов-на-Дону 20_

Форма титульного листа дипломного проекта (работы)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)

Кафедра _____

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой _____

« ____ » _____ 20_ г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту на тему:

Автор дипломного проекта (_____)
Ф. И. О.

Обозначение дипломного проекта _____ Группа _____
Специальность _____

Руководитель проекта (_____)
Ф. И. О.

Консультанты по разделам:

Экономическое обоснование (_____)
Ф. И. О.

Безопасность жизнедеятельности (_____)
Ф. И. О.

Нормоконтролер (_____)
Ф. И. О.

г.Ростов-на-Дону 20_

ЗАДАНИЕ НА КУСОВОЙ (ДИПЛОМНЫЙ) ПРОЕКТ

Форма задания на дипломный проект

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)

Факультет _____

Кафедра _____

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой _____

« ____ » _____ 20_ г.

ЗАДАНИЕ

на дипломный проект

Студент _____ Код _____ Группа _____

1. Тема _____

утверждена приказом по университету № _____ от _____

2. Срок представления проекта к защите « ____ » _____ 20_ г.

3. Исходные данные для проектирования _____

4. Содержание пояснительной записки

4.1. Введение _____

4.2. Разделы по основной теме _____

4.3. Другие разделы _____

5. Перечень графического материала _____

6. Дата выдачи задания _____

Руководитель проекта (работы) _____
ПОДПИСЬ, ДАТА, Ф.И.О.

Консультанты по разделам:

1. Организационно-экономическая часть _____
ПОДПИСЬ, ДАТА, Ф.И.О.

2. Экологичность и безопасность проекта _____
ПОДПИСЬ, ДАТА, Ф.И.О.

Задание принял к исполнению _____
ПОДПИСЬ, ДАТА

Примечание:

1. Задание прилагается и представляется в аттестационную комиссию по приему защиты выпускных квалификационных работ.

2. Кроме задания, студент должен получить от руководителя календарный график работы над проектом на весь период проектирования.

Продолжение прил.2
 Форма заглавного листа пояснительной записки

Заглавный лист пояснительной записки
 (на нем размещают "СОДЕРЖАНИЕ")

185

Изм. №	Год	Лист	№ докум.	Год	Дата					
Изм. №	Год	Лист	№ докум.	Год	Дата	<i>Обозначение документа</i>				
Изм. №	Год	Лист	№ докум.	Год	Дата	Именование проекта	Лит.	Лист.	Листов	
Изм. №	Год	Лист	№ докум.	Год	Дата	Именование документа (согласно коду)	5	5	15	20

7 10 23 15 10

5

Продолжение прил.2

Форма задания на курсовой проект

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)

Кафедра _____

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой _____

« ____ » _____ 20_ г.

ЗАДАНИЕ

на курсовой проект (работу)

Студент _____ Код _____ Группа _____

Тема _____

Срок представления проекта (работы) к защите « ____ » _____ 20_ г.

Исходные данные для проектирования (научного исследования)

1. Содержание пояснительной записки курсового проекта (работы)

2. Перечень графического материала: _____

Руководитель проекта (работы) _____
ПОДПИСЬ, ДАТА (ФАМИЛИЯ, ИНИЦИАЛЫ)

Задание принял к исполнению _____
ПОДПИСЬ, ДАТА

Продолжение прил.2

Форма последующих листов пояснительной записки

Последующие листы пояснительной записки

Изм. N	Год	Лист	N докум	Год	Дата		Лист
Изм. N	Год	Лист	N докум	Год	Дата	Обозначение документа	Лист
Изм. N	Год	Лист	N докум	Год	Дата	Обозначение документа	Лист
Изм. N	Год	Лист	N докум	Год	Дата	Обозначение документа	Лист

← 185 →

7 10 23 15 10 110 10

ОСНОВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН

Зона 1. Северо-Западный район Российской Федерации

Территория - Архангельская, Вологодская, Ленинградская, Мурманская, Новгородская, Псковская области, республики Карелия и Коми.

Климатические особенности. Зона отличается умеренными зимами, затяжными весной и осенью и повышенным количеством осадков. В среднем за год выпадает от 500 мм на севере до 700 мм осадков на юге. Годовое испарение влаги 200-450 мм, что в сочетании с повышенным количеством осадков приводит к избыточному увлажнению.

Сумма температур больше 10° относительно земледельческих территорий колеблется от 1600 до 2100°. Безморозный период длится 65-140 дней. Начало полевых работ 25.04.-11.05., окончание 25.09-11.10. Коэффициент увлажнения 1,33. Бк* = 47-107.

Почвы. В зоне преобладают подзолистые и дерново-подзолистые почвы различного механического состава, бедные питательными веществами. Осушенные почвы составляют 16,2%; переувлажненные - 11,5; супесчаные - 32,9% площади пашни. Значительная часть почв нуждается в известковании.

Характеристика полей и условий работы машин. Особенность зоны - сильная засоренность почв камнями. Такие почвы в хозяйствах нередко занимают 60-70% общей площади сельскохозяйственных угодий. Длина гонов менее 150 м составляет 13, 150-300 м - 42,9, 300-400 м - 22,2%. Средний радиус внутрисменных переездов 3 км. Большинство площадей пашни — участки размером до 3 га. Площади пашни с уклоном 2-5° составляют 19,5%, а 5-10° и выше - 5,6%. Удельное сопротивление почвы в среднем $(0,46-0,49) \times 10^{-1}$ МПа. Вероятность кондиционной влажности зерна 0,1.

Зона 2. Центральный район Российской Федерации

Подзона 2₁

Территория - Брянская (кроме южной части), Владимирская, Ивановская, Калужская, Костромская, Московская, Орловская (кроме юго-восточной части), Рязанская (кроме юго-западной части), Смоленская, Тульская (кроме южной части) и Ярославская области.

Климатические особенности. Среднегодовое количество осадков 400-600 мм, в отдельные годы 700-900 мм. Годовое испарение влаги

* Бк - климатический индекс биологической продуктивности в баллах относительно средней продуктивности по стране.

300-500 мм. Сумма температур больше 10° колеблется от 1775 до 2225°. Коэффициент увлажнения 1,16-1,33.

Бк=98...125. Безморозный период длится 110-160 дней. Начало полевых работ 20.04-02.05, окончание 30.09-1 0.10.

Почвы. Значительную часть составляют дерново-подзолистые почвы. Местами распространены серые лесные почвы и черноземы. Средне- и тяжелосуглинистые почвы пересекают территорию зоны полосой с юго-запада на северо-восток. Супесчаные и легкосуглинистые почвы расположены в северо-западной и юго-восточной частях зоны. Площадь супесчаных почв 16,7% площади пашни. Почвы бедны питательными веществами, значительная их часть нуждается в известковании.

Характеристика полей и условий работы машин. Средняя длина гонов 400-800 м, 28% площадей занимают участки размером до 3 га, 25% — до 3-8 и 25% от 9 до 33 га. Средний радиус внутрисменных переездов 2000 м. Удельное сопротивление почвы в среднем $0,53 \times 10^{-1}$ МПа. Вероятность кондиционной влажности зерна при уборке 0,21.

Подзона 2₂

Территория - Тверская область.

В отличие от подзоны 2₁ территория области сильно засорена камнями. Супесчаные почвы составляют 30,5% площади пашни, слабокаменистые почвы 14,9, средне- и сильнокаменистые - 9%, длина гонов в среднем 300 м, преобладают участки площадью до 3 га. Условия такие же, как в зоне 2₁. Сумма температур больше 10° равна 1850-2000°. Коэффициент увлажнения 1,33. Бк=102.

Подзона 2

Территория - Брянская (южная часть), Орловская (юго-восточная часть), Рязанская (юго-западная часть) и Тульская (южная часть) области.

Условия такие же, как в зоне 4. В Тульской области несколько меньше длина гонов и размеры участков (3,1-25 га). Сумма температур больше 10° колеблется от 2225 до 2275°. Безморозный период длится 130-150 дней. Коэффициент увлажнения 1,16. Бк=120.

Зона 3. Волго-Вятский район

Территория - Горьковская и Кировская области, Марийская, Мордовская и Чувашская автономные республики.

Климатические особенности. Среднегодовое количество осадков 450-700 мм, в отдельные годы 750-950 мм. Годовое испарение влаги 250-500 мм. Сумма температур больше 10° колеблется от 1775 до 2275°. Безморозный период длится 105-135 дней. Начало полевых работ 25.04-05.05, окончание 30.09.-05.10. Коэффициент увлажнения 0,93-1,22. Бк = 95-109.

Почвы. Аналогичны почвам зоны 2. Площадь супесчаных почв 12,1%.

Характеристика полей и условий работы машин. Средняя длина гонов 600-1000 м, размеры полевых участков примерно такие же, как в зоне 2. Средний радиус внутрисменных переездов 1500-2000 м. Удельное сопротивление почвы в среднем $0,47 \times 10^{-1}$ МПа. Вероятность кондиционной влажности зерна при уборке 0,11.

Зона 4. Центральнo-Черноземный район РФ

Территория - Белгородская, Воронежская, Курская, Липецкая, Тамбовская области.

Климатические особенности. Климат зоны умеренно континентальный. Отличительные особенности его — общая неустойчивость, большие колебания температуры, недостаточность увлажнения, неравномерное и часто неблагоприятное в сельскохозяйственном отношении распределение осадков. Континентальность климата нарастает с запада на восток. Годовое количество осадков колеблется от 500 (северо-западная часть) до 450 мм (юго-восточная часть). Наибольшее количество осадков выпадает в июне-июле. Годовое испарение влаги 480-600 мм. Сумма температур больше 10° колеблется от 2250 до 2725°. Безморозный период 140-165 дней. Начало полевых работ 10-15.04, окончание 15-25.10. Коэффициент увлажнения в среднем колеблется от 0,69 до 1,16. Бк=114-125.

Почвы. Мощные, обыкновенные и выщелоченные черноземы, занимают 70% территории зоны. В северо-западной части зоны, а также по долинам рек встречаются дерново-подзолистые и смытые почвы.

Характеристика полей и условий работы машин. Центральнo-Черноземный район включает две природные зоны — лесостепную и степную. Лесостепная зона занимает наибольшую территорию, степная крайний юг и юго-восток Воронежской и часть юго-востока Белгородской области. Рельеф зоны разнообразен. В Тамбовской, в восточной

половине Липецкой и Воронежской областей он выровненный, с абсолютными отметками 160-180 м. Исключение составляет Калачская возвышенность, расчлененная оврагами. Правобережье Дона, включающее остальные области черноземного центра, относится к Среднерусской возвышенности и отличается значительной изрезанностью рельефа. В юго-западной части Курской и Белгородской областей преобладает относительно выровненный рельеф. Средняя длина гонов 800-1000 м. Около 50% площади занимают участки размером более 30 га, 18% — до 10 га. Значительная часть почв зоны подвержена водной эрозии. Удельное сопротивление почвы в среднем составляет $0,55 \cdot 10^{-1}$ МПа. Вероятность кондиционной Влажности зерна при уборке 0,66.

Зона 5. Поволжский район РФ

Подзона 5₁

Территория - Нижне-Новгородская, Пензенская, Ульяновская области, Башкортан (лесостепные районы) и Татарстан.

Климатические особенности. Климат подзоны характеризуется не устойчивым и недостаточным увлажнением. Среднегодовое количество осадков 180-500 мм. Годовое испарение влаги 500-700 мм. Сумма температур больше 10° равна $1725-2625^\circ$. Безморозный период длится 140...170 дней. Начало полевых работ 20.04-21.05, окончание 11.10- 05.11. Коэффициент увлажнения 0,42-1,18. Бк = 80-106.

Почвы. В подзоне распространены черноземы различных видов, каштановые, подзолистые и серые лесные почвы. Часть почв подвержена водной эрозии и засорена камнями.

Характеристика полей и условий работы машин. Рельеф полей выровненный. Средняя длина гонов 600-1000 м. В Ульяновской области длина гонов превышает 1000 м. Свыше 60% площади занимают участки размером более 30 га, 12% - до 9 га. Удельное сопротивление почвы в среднем $0,53 \times 10^{-1}$ МПа. Вероятность кондиционной влажности зерна при уборке 0,63.

Подзона 5₂

Территория - Астраханская, Волгоградская, Саратовская области, Башкортан (степные районы) и Калмыкия.

Климатические особенности. Климат подзоны континентальный. Среднее годовое количество осадков 150-280 мм. Годовое испарение влаги 600-800 мм. Сумма температур больше 10° равна $2500-3500^\circ$. Безморозный период длится 150-180 дней. Начало полевых работ 05-21.04, окончание 25.10-11.11. Коэффициент увлажнения 0,20-0,62. Бк=29-107.

Почвы. В подзоне распространены каштановые почвы разной степени солонцеватости. Площадь повышено уплотненных почв 14,4%. В северной части встречаются черноземы различных видов. Среди темно- и светло-каштановых почв солонцы занимают 25% и более. Почвы подзоны подвержены ветровой эрозии, а в ряде районов совместной эрозии - ветровой и водной.

Характеристика полей и условий работы машин. Территория подзоны представляет собой слабо возвышенную равнину. Средняя длина гонов превышает 1000 м (в Астраханской области 600-1000 м). Около 75% площади занимают участки размером более 30 га. Участки малых размеров (до 10 га) составляют лишь около 7% площади. Удельное сопротивление почвы в среднем $0,54 \times 10^{-1}$ МПа. Вероятность кондиционной влажности зерна при уборке 0,85.

Зона 6. Северо-Кавказский район РФ

Подзона 6₁

Территория - степные районы Краснодарского и Ставропольского краев, Ростовская область, Дагестан, Кабардино-Балкария, Северная Осетия, Ичкерия, Ингушетия (степные районы).

Климатические особенности. Климат подзоны характеризуется неустойчивым и недостаточным увлажнением со среднегодовым количеством осадков в пределах 200-250 мм. В отдельных частях зоны количество годовых осадков достигает 350-600 мм. Распределение осадков по месяцам неравномерно: в летнее время выпадает до 70% годовой нормы. Годовое испарение влаги 700-800 мм. Сумма температур больше 10° колеблется в пределах $3100-3550^\circ$. Продолжительность безморозного периода 180-200 дней. Начало и конец полевых работ совпадают с датами перехода среднесуточных температур воздуха через 5° (21.03-11.04 и 01.11-11.11). В отдельные годы в зоне наблюдаются сильные восточные ветры, вызывающие весной „черные“ пыльные бури, а в момент налива зерна — суховеи. Коэффициент увлажнения 0,31...0,89. Бк=65-164.

Почвы. Представлены в основном черноземами, встречаются солонцовые почвы. Почвы подвержены ветровой эрозии. Площадь орошаемых почв 9,7% площади пашни, площадь повышено уплотненных почв - 5,6%.

Характеристика полей и условий работы машин. Рельеф в пределах зоны в основном выровненный. Средняя длина гонов превышает 1000 м, а в ряде районов зоны длина гонов составляет 600-1000 м. Свыше 70% пашни составляют участки площадью более 30 га. Удельное сопротив-

ление почвы в среднем равно $0,54 \times 10^{-1}$ МПа. Вероятность кондиционной влажности зерна при уборке 0,99.

Подзона б₂

Территория - предгорные районы Краснодарского и Ставропольского краев, Дагестана, Кабардино-Балкарии, Северной Осетии, Ичкерии, Ингушетии.

Климатические особенности. Среднегодовое количество осадков 400-800 мм. Годовое испарение влаги 540-875 мм. Сумма температур больше 10° колеблется в пределах 1200-3000°. Продолжительность безморозного периода 165-185 дней. Начало полевых работ 25.03, окончание 05.11.

Почвы. Почвы в подзоне представлены серыми лесными, глинистыми и темно-суглинистыми, лугово-болотными, солончаками, горно-дерново-карбонатными, горно-лесными, горными черноземами и др. Площадь средне- и сильнокаменистых почв 18,2%.

Характеристика полей и условий работы машин. Рельеф изрезанный. Встречаются балки и овраги, которые пересекают поля. Средняя длина гонов 400...600 м. Удельное сопротивление почвы в среднем равно $0,59 \times 10^{-1}$ МПа. Встречаются участки, засоренные камнями.

Зона 7. Уральский район России

Подзона 7₁

Территория - Пермская и Свердловская области, Удмуртия.

Климатические особенности. Климат подзоны континентальный, годовое количество осадков 450-700 мм. Годовое испарение влаги 300-450 мм. Весенний период характеризуется излишним увлажнением. Сумма температур больше 10° равна 1450-1950°. Безморозный период длится 80-130 дней. Начало полевых работ 28.04-21.05, окончание 11.09-05.10.

Почвы. В подзоне преобладают дерново-подзолистые почвы, по механическому составу супесчаные, суглинистые, глинистые с массивами болотных и подзолисто-заболоченных почв. Площадь супесчаных почв 11,3%.

Характеристика полей и условий работы машин. Рельеф подзоны разнообразен. Средняя длина гонов колеблется от 300 до 800 м. Около 22% пашни составляют участки размером менее 3 га. Удельное сопротивление почвы в среднем $0,52 \times 10^{-1}$ МПа. Вероятность кондиционной влажности зерна при уборке 0,11. Коэффициент увлажнения 1,11-1,33. Бк=80-104.

Подзона 7₂

Территория - Курганская, Оренбургская, Челябинская области.

Климатические особенности. Климат подзоны континентальный. Среднегодовое количество осадков 300-500 мм. Годовое испарение 500-700 мм. Зимы малоснежные, летом часто бывают засухи и суховеи. Сумма температур больше 10° равна 1775-2675°. Безморозный период длится 120-165 дней. Начало полевых работ 05-21.04, окончание 11.10-11.11. Коэффициент увлажнения 0,42-1,04. Бк=76-94.

Почвы. Отличаются высоким плодородием и значительным содержанием растворимых солей. Преобладают обыкновенные и южные черноземы, по механическому составу глинистые и суглинистые. Встречаются солонцеватые почвы. Площадь повышено уплотненных почв 8,9%.

Характеристика полей и условий работы машин. Рельеф в основном выровненный. Средняя длина гонов 1000...1200 м. Около 70% площади занимают участки размером более 30 га. Удельное сопротивление почвы $0,55 \times 10^{-1}$ МПа. Вероятность кондиционной влажности зерна при уборке 0,65.

Зона 8. Западно-Сибирский район РФ

Подзона 8₁

Территория - Кемеровская, Новосибирская (северная и западная части), Омская (северная часть), Томская, Тюменская области.

Климатические особенности. Климат подзоны континентальный. Годовое количество осадков 450-700 мм. Годовое испарение влаги равно 300-450 мм. Сумма температур больше 10° колеблется от 900 до 2025°. Безморозный период длится 90-120 дней. Начало полевых работ 28.04-21.05, окончание 11 .09-01 .10.

Почвы. В подзоне преобладают дерново-подзолистые почвы. По механическому составу распространены супесчаные, суглинистые и глинистые почвы с массивами болотных и подзолисто-заболоченных почв. В ряде районов имеются солончаковые почвы.

Характеристика полей и условий работы машин. Рельеф зоны разнообразный. Средняя длина гонов 300-600 м. Около половины пашни составляют участки площадью от 3 до 30 га, около 22% - менее 3 га. Удельное сопротивление почвы $0,59 \times 10^{-1}$ МПа. Вероятность кондиционной влажности зерна при уборке 0,11. Коэффициент увлажнения 0,90-1,33. Бк=50-94.

Подзона 8₂

Территория - Алтайский край, Новосибирская (кроме северной и западной частей), Омская (кроме северной части) области.

Климатические особенности. Климат подзоны континентальный с неустойчивым увлажнением. За год выпадает в среднем 300-500 мм

осадков, причем с мая по август 200-300 мм. Подзона характеризуется высокой испаряемостью (400-500 мм), что ставит ее в ряд засушливых районов, в которых необходимы мероприятия по накоплению влаги. Весенние периоды иногда сильно засушливые, осенние - влажные. Безморозный период длится 90-130 дней. Начало полевых работ 01-05.05, окончание 21.09-01.10. Сумма температур выше 100 колеблется от 1800 до 2350°. Коэффициент увлажнения равен 0,42-0,93. Бк=71-106.

Почвы. По составу почв подзона разнообразна. Встречаются солонцовые почвы в комплексе с черноземами. У Оби и Иртыша преобладают обыкновенные черноземы. Широко распространены глинистые и тяжелоглинистые почвы, а также выщелоченные осолоделые черноземы. В подзоне существует опасность ветровой эрозии.

Характеристика полей и условий работы машин. Рельеф части районов Алтайского края (Горно-Алтайская автономная область) - горный. Подзона отличается довольно крупными размерами полевых участков (около 76% - площадью свыше 30 га) . Средняя длина гонов в основном 1000 м и более. Удельное сопротивление почвы $0,57 \times 10^{-1}$ МПа. Вероятность кондиционной влажности зерна при уборке 0,55.

Зона 9. Восточно-Сибирский район РФ

Подзона 9₁

Территория - Красноярский край, Читинская область, Бурятия и Тувинская республика.

Климатические особенности. Климат зоны - континентальный. Среднегодовое количество осадков 250-700 мм (в лесостепной части 300-400 мм, в подтаежной 450-700 мм). Годовое испарение влаги 300-450 мм. Сумма температур больше 10° равна 200-1900°. Безморозный период длится 60-108 дней. Начало полевых работ 28.04-25.05, окончание 10.09-05.10.

Почвы. В зоне преобладают дерново-подзолистые почвы, по механическому составу супесчаные - 13,6%, суглинистые и глинистые с массивами болотных и подзолисто-заболоченных почв.

Характеристика полей и условий работы машин. Рельеф зоны разнообразен. Средняя длина гонов 600-1000 м. Около половины пашни составляют участки размером 3-30 га, около 22% - менее 3 га. Удельное сопротивление почвы $0,56 \times 10^{-1}$ МПа. Вероятность кондиционной влажности зерна при уборке 0,11. Коэффициент увлажнения 0,60-1,33. Бк=11-85.

Подзона 9₂

Территория - Иркутская область.

В отличие от подзоны 9₁ поля здесь имеют мелкоконтурные участки, рельеф холмистый. Безморозный период длится 60-85 дней. Сумма температур больше 10° равна 1100-1500° Коэффициент увлажнения 0,71-1,20. Бк 60-79. Удельное сопротивление почвы $0,68 \times 10^{-1}$ МПа.

Природные условия не позволяют применять широкозахватную технику (более 6 м).

Зона 10. Дальневосточный район РФ

Подзона 10₁

Территория - Амурская область, Приморский и Хабаровский края.

Климатические особенности. Климат континентально-муссонный с малоснежной сухой зимой и влажным летом. Годовое количество осадков равно 400-700 мм. Особенно большое количество осадков выпадает в период уборки урожая. Испаряемость за год 425-520 мм. Сумма температур больше 10° равна 1600-2500°. Безморозный период длится 74-110 дней. Начало полевых работ 10-20.04, окончание 25.09-10.10.

Почвы. В подзоне распространены почвы дерново-подзолистые, по механическому составу средние и тяжелосуглинистые, склонные к заплыванию и сильному уплотнению, особенно при выпадении большого количества осадков. Площадь осушенных почв 11,2% площади пашни, переувлажненных - 21,3, заболоченных почв - 5,3%.

Характеристика полей и условий работы машин. Средняя длина гонов 600-1000 м, 62% составляют поля с длиной гона свыше 1000 м, 14% - с длиной менее 600 м. Средний размер полей 59-137 га. Удельное сопротивление почв равно $0,60 \times 10^{-1}$ МПа. Вероятность кондиционной влажности зерна при уборке 0,1. Коэффициент увлажненности 0,91-1,33. Бк=88-135.

Подзона 10₂

Территория - Камчатская и Сахалинская области.

Подзона характеризуется умеренными температурами, сумма температур больше 10° равна 1000-1600°. Осадков выпадает примерно такое же количество, как в подзоне 10₁. Средняя длина гонов колеблется от 200 до 300 м. Поля засорены камнями. Площадь супесчаных почв 60,7%, осушенных 36%, переувлажненных 11,2% от площади пашни.

Зона 11. Донецко-Приднепровский район Украины

Подзона 11₁

Территория - Кировоградская (степные районы), Днепропетровская, Донецкая, Запорожская, Ворошиловградская, Харьковская (степные районы) области.

Климатические особенности. Среднегодовое количество осадков 400-475 мм. Годовая испаряемость 550-650 мм. Сумма температур больше 10° равна 2850-3200°. Безморозный период длится 160-180 дней. Начало полевых работ 01.04., окончание 04.11. Коэффициент увлажнения равен 0,49-0,67. Бк=111-125.

Почвы. В подзоне распространены черноземы оподзоленные, черноземы южные, темно-каштановые почвы. Площадь орошаемых почв 8,1%.

Характеристика полей и условий работы машин. Средняя длина гонов 800-1000 м. Участки размером более 30 га составляют свыше 70% площади. Удельное сопротивление почвы в среднем $0,60 \times 10^{-1}$ МПа. Вероятность кондиционной влажности зерна при уборке 0,98.

Подзона 11₂

Территория - Кировоградская (кроме степных районов), Полтавская, Сумская (часть районов относится к Полесью), Харьковская (кроме степных районов) области.

Климатические особенности. Среднегодовое количество осадков 470-540 мм. Распределение осадков по месяцам неравномерное. Годовое испарение влаги 500-600 мм. Сумма температур больше 10° равна 2400-2750°. Коэффициент увлажнения 0,84-0,89. Бк=130-132. Безморозный период длится 150-170 дней. Начало полевых работ 05.04, окончание - 29.10.

Почвы. В подзоне распространены черноземы малогумусные, черноземы оподзоленные, луговые и серые лесные почвы с высоким содержанием гумуса.

Характеристика полей и условий работы машин. Средняя длина гонов 70-1000 м. В зоне преобладают полевые участки площадью свыше 30 га. Вероятность кондиционной влажности зерна при уборке 0,65.

Зона 12. Юго-Западный район Украины

Подзона 12₁

Территория - Винницкая, Житомирская (лесостепные районы), Ивано-Франковская (лесостепные районы), Тернопольская, Хмельниц-

кая, Черкасская, Киевская (лесостепные районы), Черниговская (лесостепные районы) области.

Климатические особенности. Климат умеренный, среднегодовое количество осадков 500-650 мм (в вегетационный период 350-400 мм). Годовое испарение влаги 500-600 мм. Сумма температур больше 10° равна 2450°-2675°. Безморозный период длится 155-165 дней. Промерзание почвы незначительное. Начало и конец полевых работ 05.04 и 26.10. Коэффициент увлажнения 0,87-1,16. Бк=131-138.

Почвы. Наиболее распространены в подзоне черноземы и серые почвы. Южная и центральная части подзоны расположены на мощных мало- и среднегумусных черноземах. В Западной и Северо-Западной частях эти почвы сменяются слабо- и среднеоподзоленными, а также темно-серыми, серыми и светло-серыми оподзоленными почвами. Площадь супесчаных почв 6,6 площади пашни.

Характеристика полей и условий работы машин. Средняя длина гонов 600-800 м. Полевые участки размером свыше 30 га составляют более 50%. Вероятность кондиционной влажности зерна при уборке 0,60.

Подзона 12₂

Территория - Волынская, Ровенская области, полесские районы Житомирской, Киевской, Львовской, Черниговской областей.

Климатические особенности. Среднегодовое количество осадков 500-700 мм. Годовое испарение влаги 500-600 мм. Сумма температур больше 10° равна 2400-2450°. Безморозный период длится 155-170 дней. Начало полевых работ 07.04, окончание 28.10. Коэффициент увлажнения равен 1,11-1,29. Бк=132-135.

Почвы. Характеристика полей и условий работы, машин аналогичны подзонам I_{2_2} и I_{2_1} Длина гонов 200-600 м, размер участков 10...30 га. Площадь супесчаных почв 30,9%, песчаных 22,9, осушенных 19,4, переувлажненных 14,3%.

Подзона 12_3

Территория - Закарпатская, Ивано-Франковская (кроме лесостепных районов), Львовская (кроме полесских и лесостепных районов), Черновицкая области (горные районы).

Климатические особенности. Среднегодовое количество осадков 650-750 мм (в вегетационный период 450-500 мм). Годовое испарение влаги 500-600 мм. Безморозный период длится 150-160 дней. Начало полевых работ 05.04, окончание 15.11.

Почвы. В подзоне встречаются дерново-подзолистые, серые лесные, лугово-черноземные, черноземы оподзоленные, горно-лесные, дерново-глеевые, горно-луговые и другие почвы. Площадь осушенных почв 29,7%.

Характеристика полей и условий работы машин. Средняя длина гонов 300-600 м. Средний размер полевого участка 6 га. Встречаются участки размером 30 га и несколько больше. Средний радиус переездов 4 км. Удельное сопротивление почвы $0,70 \times 10^{-1}$ МПа. Вероятность кондиционной влажности зерна при уборке 0,40.

Зона 13. Южный район Украины

Подзона 13_1

Территория - Крымская, Николаевская, Одесская и Херсонская области (степные районы).

Климатические особенности. Климат зоны резко засушливый. За год выпадает в среднем 350-420 мм осадков, весной - всего 30-50 мм. Годовое испарение влаги 650-700 мм. Сумма температур больше 10° равна 3000-3375°. Безморозный период длится 180-210 дней. Начало полевых работ 20.03, окончание 13.11. Коэффициент увлажнения 0,49-0,60. $B_k=111-127$.

Почвы. Характеристика полей и условий работы машин аналогичны подзоне 11_1 . Длина гонов в подзоне более 1000 м. Размеры участков 50-60 га и более. Площадь орошаемых почв 13,4%,

Подзона 13_2

Территория - Крымская область (горные и предгорные районы).

Климатические особенности. Годовое количество осадков 450-500 мм. Сумма температур больше 10° равна 3200-3500°. Безморозный период длится 200-210 дней. Начало полевых работ 25.03, окончание 20.11.

Почвы. В подзоне распространены бурые, горные лесные и горно-коричневые почвы.

Характеристика полей и условий работы машин. Средняя длина гонов 400-600 м. Поля засорены камнями.

Зона 14. Прибалтийский район

Территория - Литва, Латвия, Эстония, Калининградская область.

Климатические особенности. Климат зоны близок к климату зоны 1, но характеризуется лучшими погодными условиями весной. Сумма температур больше 10° равна 1600-2150°. Безморозный период длится 135-180 дней. Коэффициент увлажнения 1,33. Бк=95-118.

Почвы. Почвенные условия аналогичны зоне 1. Площадь супесчаных почв 34,2%, песчаных - 11,7, осушенных 61,8, переувлажненных - 8,4, заболоченных - 8,2%.

Характеристика полей и условий работы машин. Средняя длина гонов в Калининградской области 350 м, в Прибалтийских республиках – 150-250 м до 30% пашни засорены камнями. Удельное сопротивление почвы в среднем 0,48×10 МПа. Вероятность кондиционной влажности зерна при уборке менее 0,10.

Зона 15. Закавказский район

Подзона 15₁

Территория - Армения, Грузия, Азербайджан (горные районы).

Климатические особенности. Зона характеризуется пестротой климатических условий. За год выпадает от 300 до 1600 мм осадков, в районе Батуми в отдельные годы до 3000 мм. По степени увлажнения зону можно разделить на следующие части: влажные субтропические районы западной Грузии; (среднегодовое количество осадков 800-1600 мм); районы Восточной Грузии и Армении (количество осадков за год в среднем 600-800). Распределение осадков по месяцам неравномерно. Наблюдается выпадение ливней, вызывающих водную эрозию почв. Безморозный период длится 90-270 дней. Начало полевых работ 10.02-11.05, окончание 01.11-01.12.

Почвы. В зоне встречаются самые разнообразные почвы: горно-луговые; горно-лесные; горно-коричневые; темно-каштановые и др.

Почвы засорены камнями. Площадь слабокаменистых почв составляет 17,7%, средне- и сильнокаменистых - 14,7%.

Характеристика полей и условий работы машин. Средняя длина гонов на равнинах 200-400 м. Более 30% площади пашни занимают участки размером до 3 га. Основная часть зоны - горные массивы. В Армении горы занимают 84% территории, в Грузии - 92%. Предгорья и сравнительно небольшие возвышенности во многих равнинных районах по условиям выполнения сельскохозяйственных работ близки к горным массивам. Более половины территории расположено на высоте 1000-1500 м над уровнем моря. В горных районах обрабатываемые участки характеризуются разбросанностью, сложной конфигурацией, рассеченным рельефом, малыми размерами, короткими гонами. При обработке склонов почвенный слой во время ливней часто смывается. Удельное сопротивление почвы в среднем $0,7-0,82 \times 10^{-1}$ МПа. На равнинах и горных плато имеет место ветровая эрозия почв, проявляющаяся в виде „черных“ бурь.

Подзона 15₂

Территория - Азербайджан (равнинная часть). В Азербайджане равнины занимают 40%.

Годовое количество осадков 200-300 мм. Почвы сероземные и сероземно-луговые. Встречаются солончаковые почвы и солончаки. Площадь орошаемых почв 74,1%, средне- и сильнозасоленных 13,8%, повышено уплотненных почв 13,5% от площади пашни. Средняя длина гонов 600 м. Средний размер полей 19-26 га. Удельное сопротивление почвы $0,36-0,87 \times 10^{-1}$ МПа. Сумма температур выше 10 колеблется от 3700 до 4450°. Коэффициент увлажнения 0,22-1,16. Бк=58-224.

Зона 16. Среднеазиатский район

Подзона 16₁

Территория - Узбекистан, Таджикистан и Туркменистан.

Климатические особенности. Количество осадков за год составляет 100-300 мм. Осадки выпадают преимущественно в зимние и весенние месяцы. Годовое испарение 800-1400 мм. По рельефу и климату зону можно разделить на три части:

- предгорные районы Узбекистана, Гиссарская и часть Кулябской долины Таджикистана с ярко выраженным рельефом полей; в весеннее время выпадает большое количество осадков и дополнительные поливы не требуются; количество осадков в предпосевной период достигает 90 мм, а местами и более;

- основные районы Ферганской долины, ряд предгорных районов Узбекистана, часть районов Таджикистана с менее выраженным рельефом полей и меньшим количеством осадков за месяц до посева (по многолетним данным менее 45 мм);

- низовья Амударьи (Каракалпакская АССР), Хорезмская область Узбекистана, Ташаузский оазис Туркменистана, часть Кулябской и Вахшской долин Таджикистана, Бухарская область и Центральная Фергана Узбекистана, Чарджоуский и Марийский оазисы Туркменистана, Голодная степь - пустынные районы с ровным рельефом и высоким уровнем стояния минерализованных грунтовых вод, что вызывает необходимость проведения промывных поливов.

Безморозный период в зоне длится 150-240 дней. Начало полевых работ 20.02-20.03, окончание 01.11-11.12.

Почвы. В зоне большое разнообразие почв: горные и каштановые; черноземы; горно-луговые; высокогорные; пустынные и др. По механическому составу почвы в основном глинистые и суглинистые. Площадь орошаемых почв 75,8%, слабозасоленных - 16,3%.

Характеристика полей и условий работы машин. Средняя длина гонов на равнинных участках 300...400 м. Полевые участки размером до 3 га составляют около 40%, от 3 до 9 га - 30, от 9 до 30 га - 24%. Освоение новых орошаемых земель позволит значительно увеличить число участков площадью более 200 га при длине гона свыше 500 м.

Подзона 16₂

Территория - Киргизстан.

Климатические особенности. Количество осадков за год составляет 200-500 мм. Годовая испаряемость 800-..1400 мм. Земледелие ведется в горных долинах на высоте от 500 до 1500 м над уровнем моря, на склоновых землях заготовка кормов. Безморозный период продолжается 150-240 дней, начало полевых работ 01.03.-20.03, окончание 01.11-25.11.

Почвы. Основную часть почв составляют сероземы, на которых возделывается хлопчатник. Распространены в долинах северные сероземы, каштановые; в горных районах - бурые пустынные каменистые почвы. Почвы со средним и тяжелым суглинком занимают 87% пашни, с легкими суглинками и супесчаные - 13%. Удельное сопротивление почв $0,60-1,50 \times 10^{-1}$ МПа.

Характеристика полей и условий работы машин. Средняя длина гонов в долинных районах 500...1000 м, в предгорной зоне 400-600 м. Поливные участки в долинных районах в основном прямоугольной формы и небольшие по размеру. Участки площадью до 10 га составляют 7%, от 10 до 20 га - 27%, 20-50 га - 25%, от 50 до 100га - 19%. В предгорных и горных районах участки сложной конфигурации, размеры ко-

торых колеблются в пределах 10-50 га. Участки площадью 10-20 га составляют 78%.

Зона 17. Казахстан

Подзона 17₁

Территория - Кустанайская, Кокчетавская, Карагандинская, Павлодарская, Северо-Казахстанская, Тургайская, Целиноградская, Уральская области.

Климатические особенности. Климат зоны резко континентальный, засушливый, с холодной продолжительной зимой и жарким летом. Среднее количество годовых осадков 300-350 мм. Годовая испаряемость равна 450-600 мм.

Почвы. По механическому составу преобладают легкие почвы, в северо-западной части - средние и тяжелые. Площадь повышено уплотненных почв 40,4%.

Характеристика полей и условий работы машин. Средний размер полей 300-500 га. Средняя длина гонов 2000 м. Среднее расстояние внутрисменных переездов 5...20 км. Удельное сопротивление почв в среднем $0,55-0,8 \times 10^{-1}$ МПа. Вероятность кондиционной влажности зерна при уборке 0,30.

Подзона 17₂

Территория - Актюбинская, Алма-Атинская, Восточно-Казахстанская, Гурьевская, Джамбульская, Джезказганская, Кызыл-Ординская, Мангышлакская, Семипалатинская, Талды-Курганская, Чимкентская области.

Климатические особенности, характеристика полей и условия работы машин аналогичны в основном условиям зоны 16. Площадь супесчаных почв 11,1%, орошаемых - 16,1, повышено уплотненных - 8,2%. Сумма температур выше 10° колеблется от 1925 до 4400°. Коэффициент увлажнения равен 0,07-0,73. Бк=10-80.

Зона 18. Белоруссия

Климатические особенности. Климат зоны умеренно континентальный. Среднее количество осадков за год 500-700 мм. Наибольшее количество осадков выпадает в июле. Количество зимних осадков невелико. Промерзание почвы незначительное. Несмотря на наличие положительного баланса влаги, возможны периодические засухи, особенно на песчаных почвах. Сумма температур больше 10° равна 2000-2400°. Безморозный период составляет 135-170 дней. Начало полевых

работ 01-1.04, окончание 11-21.10. Коэффициент увлажнения равен 1,16-1,33. Бк=110-132.

Почвы. Преобладают дерново-подзолистые, дерново- и торфяно-болотные, подзолисто-глеевые, торфяно-глеевые почвы и торфяники. Характеризуются низким естественным плодородием, что требует внесения органоминеральных удобрений и известкования. Почвы засолены камнями (кроме Гомельской области). Площадь супесчаных почв 40,2%, песчаных - 14,4, слабокаменистых - 8,1, осушенных - 16,5, переувлажненных - 20,8, заболоченных 17,9%.

Характеристика полей и условий работы машин. Пахотные участки небольших размеров и неправильной конфигурации. Средняя длина гонов колеблется от 300 до 800 м. Около 15% площадей занимают участки размером от 3 га, 15% - от 3 до 10 и 45% - от 11 до 25 га. В зоне имеется значительное количество осушенных торфянистых почв со слабой несущей способностью. Вероятность кондиционной влажности зерна при уборке 0,30.

Зона 19. Молдова

Климатические особенности. Количество осадков за год составляет в среднем 250-400 мм. Годовое испарение влаги 600-700 мм. Сумма температур больше 100 равна 3000-3225°. Безморозный период длится 165-195 дней. Начало полевых работ 20.03-01.04, окончание 01-11.11.

Почвы. Основной тип почв - типичные и южные черноземы. В незначительных количествах распространены серые лесные почвы. Площадь орошаемых почв 10,5%.

Характеристика полей и условий работы машин. Средняя длина гонов около 800 м. Полевые участки площадью до 3 га составляют 10%, от 3 до 9 га - 20, от 9 до 30 га - 30, более 30 га - 40%. Рельеф разнообразный. Вероятность кондиционной влажности зерна при уборке 0,80. Коэффициент увлажнения 0,60-0,84. Бк=68-145.

Зона 20. Крайний Север

Территория - Магаданская область, Ненецкий, Таймырский, Ханты-Мансийский, Эвенкийский, Ямало-Ненецкий, Якутский национальные округа.

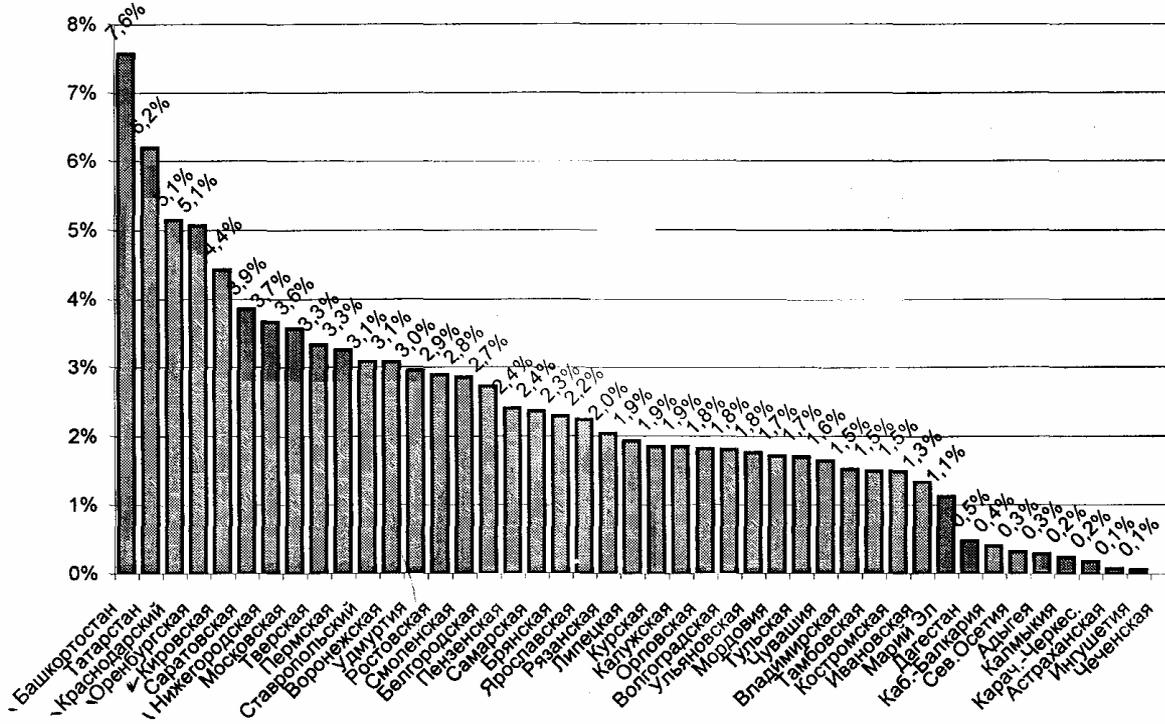
Климатические особенности. Климат большей части зоны резко континентальный, характеризуется влиянием полюса холода. Минимальные температуры достигают 71°. Продолжительность холодного периода 204-219 дней в южных районах и 255-260 дней на побережьях морей. Средняя температура июля в южной части зоны 17-19°. Наивысшие температуры достигают 34-38°. Годовые амплитуды колебания температуры воздуха по абсолютному минимуму и максимуму колеблются от 98 до 104°. длительность периода с температурой больше 10° составляет 0 . . . 65 дней в тундровой, 65-100 дней в южной части зоны. Заморозки возможны в течение всего лета. За год выпадает 100-500 мм осадков, норма осадков в Якутске 202 мм. Годовое испарение влаги 240-510 мм. В растениеводческих районах относительная влажность в мае-июне 43-50%, число дней с относительной влажностью 30% и ниже составляет 30-40. В мае выпадает 20-25 мм осадков. Максимальное месячное количество осадков в июне, июле и августе - 30, 50 и 60 мм.

Начало полевых работ - во второй декаде мая, окончание 15-23 сентября. Высота снежного покрова 25-60 см. Наибольшая повторяемая скорость ветра 0-5 м/с. Число дней со скоростью ветра 15 м/с и больше колеблется от 1 до 55.

Почвы. В растениеводческих районах зоны преобладают мерзлотные пойменные, таежно-палевые и палевые в разной степени осолоделые, нейтральные, остаточно-подзолистые, оподзоленные, дерново-карбонатные, перегнойно-карбонатные, черноземно-луговые, лугово-черноземные солончаковатые, дерново-луговые, лугово-болотные, болотные и торфяно-болотные почвы. На всей территории зоны распространена многолетняя мерзлота мощностью от 200 до 500 м. Максимальное оттаивание почвогрунтов достигает в конце августа 130-230 см. Площадь супесчаных почв 6,6%, осушенных - 6, переувлажненных - 10,2% площади пашни.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ПОД КОРМОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ

359



Окончание прил.4

Сравнительные данные о соотношении культур
по областям и республикам (данные 2003 г).

Регион	Сельхоз-угодь	Зерновые		Кормовые		Сено многоотравье, тыс.т
Рф			47207		27884	14563,0
Оренбургская	4511	10,3%	3302	5,1%	934	359,3
Ростовская	4099	8,1%	2511	2,9%	633	295,9
Саратовская	3862	8,2	2634	3,9%	711	264,7
Краснодарский	3765	5,5%	3106	5,1%	949	512,9
Башкортостан	3666	6,1%	1961	7,6%	1397	665,6
Татарстан	2985	5,1%	1636	6,2%	1143	667,0
Ставропольский	2773	5,8%	1884	3,1%	588	169,4
Волгоградская	2846	5,5%	1758	1,8%	333	141,7
Воронежская	2320	3,6%	1174	3,1%	566	185,6
Самарская	1976	4,0%	1288	2,4%	436	134,6
Кировская	1556	2,1%	673	4,4%	816	558,7
Белгородская	1428	2,0%	648	2,7%	503	221,9
Нижегородская	1418	2,0%	637	3,7%	576	625,2
Тамбовская	1372	2,4%	778	1,5%	276	137,6
Пензенская	1367	2,3%	755	2,4%	443	203,7
Курская	1332	2,5%	820	1,9%	342	96,4
Пермская	1267	1,8%	578	3,3%	601	402,8
Орловская	1229	2,5%	791	1,8%	336	160,3
Удмуртия	1158	1,7%	541	3,0%	544	363,0
Липетская	1153	2,0%	630	1,9%	358	161,0
Ульяновская	1058	2,0%	632	1,8%	326	96,0
Московская	946	0,5%	158	3,8%	658	356,6
Рязанская	922	1,4%	465	2,0%	375	190,4
Тверская	899	0,6%	200	3,3%	616	476,9
Брянская	882	1,1%	353	2,3%	422	216,9
Тульская	875	1,5%	476	1,7%	314	202,8
Мордовия	807	1,3%	421	1,7%	317	250,0
Смоленская	767	0,5%	173	2,8%	525	455,0
Чувашия	667	0,9%	283	1,5%	304	227,0
Ярославская	571	0,4%	118	2,2%	413	254,4
Калужская	511	0,4%	116	1,9%	342	201,6
Марий Эл	482	0,7%	223	1,1%	206	117,9
Владимирская	477	0,4%	138	1,5%	280	155,3
Костромская	441	0,4	135	1,5%	275	184,7
Ивановская	415	0,4%	134	1,3%	245	157,3
Дагестан	313	0,6%	170	0,5%	88	107,9
Каб.-Балкария	311	0,6%	196	0,4%	73	12,0
Калмыкия	303	0,7%	232	0,2%	45	20,2
Адыгея	219	0,4%	116	0,3%	53	11,5
Сев. Осетия	181	0,3%	104	0,3%	59	6,6
Карач.-Черкес.	140	0,2%	78	0,2%	33	14,7
Астраханская	98	0,1%	47	0,1%	14	20,3
Ингушетия	71	0,2%	52	0,1%	10	0,8
Чеченская		0,0%		0,0%		0,0
		100%	32213	100%	18450	

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ И СРЕД**

**5.1. Физико-механические и технологические
свойства почвы [2, 8]**

Таблица 5.1.1

Классификация почв по механическому составу - по соотношению физических песка ($\varnothing \geq 0,01\text{мм}$) и глины ($\varnothing < 0,01\text{ мм}$) в различных почвах, %

Тип почвы	Содержание песка ($\varnothing > 0.01\text{ мм}$)	Содержание глины ($\varnothing < 0.01\text{ мм}$)	↑ Легкость почвы
Песок	>90%	< 10%	
Песчаная почва	90 -80%	10 – 20%	
Супесь (Супесчаная)	80 -60%	20- 40%	
Легкий суглинок	60 -40%	40 – 60%	
Средний суглинок	40 -20%	60 -80%	
Тяжелый суглинок	10 -20%	80 – 90%	
Глина	<10%	>90%	

Таблица 5.1.2

Классификация каменистых включений в зависимости от диаметра камней

Наименование	Диаметр включения, мм
Крупный песок	1...3
Хрящ:	
мелкий	3...5.
крупный	5...10
Щебень:	
мелкий	10...30
средний	30...50
крупный	50...100
Камни	100 и более

Таблица 5.1.3

Классификация почв по степени содержания в них камней

Тип почвы в зависимости от содержания камней	Содержание камней, %
Некаменистая	0,5
Слабокаменистая	0,5...5
Среднекаменистая	5...10
Сильнокаменистая	Более 10

Таблица 5.1.4

Оптимальные значения влажности почв для обработки

Тип почвы	Влажность, %
Дерново-подзолистый суглинок	15...22
Чернозем	17...30
Солонцовая	20
Темно-каштановая	19
Подзолистая песчаная	12

Таблица 5.1.5

Коэффициент f и угол трения φ почвы о сталь

Тип почвы по механическому составу	f	φ
Песчаная и супесчаная:		
рыхлая (сыпучая)	0,25...0,35	14°...19°30'
связная	0,50...0,70	26°30'...35°
Легко- и среднесуглинистая	0,35...0,50	19°30'...26°30'
Тяжелая суглинистая и глинистая	0,40...0,90	22°...42°

Таблица 5.1.6
Временное сопротивление растяжению, сжатию и сдвигу глинистого чернозема при различной абсолютной влажности $W_{аб}$

Растяжение		Сдвиг		Сжатие	
$W_{аб}$, %	$\sigma_{в}$, кПа	$W_{аб}$, %	τ , кПа	$W_{аб}$, %	$\sigma_{сж}$, кПа
21...23	6,18	15...17	12,21	12...16	108
23...25	5,25	20...24	9,86	19...22	98
26...28	5	-	-	22...24	65

Таблица 5.1.7
Разделение почв по трудности обработки

Показатель трудности обработки	Почвы				
	легкие	средние	среднетяжелые	тяжелые	очень тяжелые
Коэффициент удельного сопротивления при вспашке, кПа	До 30	30...50	50...70	70...120	120 и выше
Примерное содержание физической глины (частицы менее 0,01 мм), %	До 20	20...30	20...50	50...70	Свыше 70

Таблица 5.1.8
Удельное сопротивление почвы при вспашке в зависимости от содержания частиц менее 0,01 м

Почвы по механическому составу	Количество частиц меньше 0,01 мм, %	Удельное сопротивление n/cm^2 , (кПа)
Глинистые	50-70	7 (70)
Тяжелые суглинистые	25-50	5-7 (50-70)
Средние	20-25	3-5 (30-50)
Лёгкие	14-20	3-4 (30-40)
Супесчаные	9-14	2-3 (20-30)
Пески	3-9	2 (20)

Таблица 5.1.9

Примерное значение погонных удельных сопротивлений почвы К”
в зависимости от типа обработки

Вид обработки	Машина-орудие	Удельное сопротивление,кН/м
Обработка плоскорезами	Плоскорез	4,0 – 6,0
Глубокое рыхление	Рыхлитель,чизель-культиватор	8,0 – 13,0
Боронование	Шлейф бороны	0,4 – 0,6
	Зубовые бороны	0,5 – 0,7
	Пружинные бороны	0,8 – 1,0
Сплошная культивация	Паровые культиваторы: со стрелчатými лапами штанговые	1,4 – 2,6 1,6 – 2,6
Междурядная обработка	Пропашные культиваторы с полочными лапами и полочными бритвами	1,2 – 1,8
Рыхление посевов сахарной свеклы		1,2 – 2,3
Посев зерновых культур (рядовой)	Дисковые сеялки с междурядьями 15 см	1, - 1,4
	Дисковые узкорядные сеялки	1,5 – 1,8
	Сеялки луцильники	1,2 – 2,8
Посев пропашных культур (рядовой, пунктирный)	Сеялки с полосовидными сошниками	0,6 – 1,2
Окучивание картофеля	Окучники	1,5 – 2,0
Уборка зерновых колосовых зерновых	Рядковые прицепные жатки	1,2 – 1,5
Уборка кукурузы на сенаж и силос	Комбайны: кукурузоуборочные	1,5 -1,7
	силосоуборочные	1,2 – 1,6
Уборка сахарной свеклы	Комбайны	до 12,0
Уборка картофеля	Картофелекопалки элеваторного типа	5,8 – 6,5
Теребление льна	Льнотеребилки	3,25 -3,75

5.2. Физико-механические и технологические свойства трав и силосуемых культур [2, 8]

Таблица 5.2.1
Показатели кормовой ценности зеленой массы

Наименование травы	В 1 кг корма содержится				
	кормовых единиц, кг	перевариваемого протеина, г	кальция, г	фосфора, г	каротина, г
I. Зеленая трава:					
клевер красный	0,21	27	3,8	0,7	40
люцерна посевная	0,17	36	6,4	0,6	50
эспарцет	0,18	28	2,4	0,6	65
II. Сено:					
клеверное	0,52	79	9,4	2,2	25
люцерновое	0,49	116	17,7	2,2	45
эспарцетное	0,54	106	11,0	2,5	25

Таблица 5.2.2
Характеристика луговых трав

Тип лугов	Урожай сена, т/га	Растительная масса с площади 1 м ²				
		Количество срезанных растений		Вес массы		
		шт	%	сырой		воздушно-сухой
				г	г	%
Заливной луг в Московской области:	5,5					
злаковые		1170	28,7	508	207,5	37,7
бобовые		765	18,7	606	174,5	31,8
разнотравье		849	29,8	615	145,5	26,5
осоковые		1297	31,8	65	22,0	4,0
Итого:	-	4082	100	1795	549,5	100
Целинно-степной луг в Ростовской области:	1,3					
злаковые		4422	91,8	-	100	77
разнотравье		384	7,9	-	27	21
бобовые		39	0,8	-	2	2
Итого:		4845	100	220	129	100

Таблица 5.2.3
Жесткость стеблей растений заливного луга

Ботанические группы	Влажность, %	Средний диаметр у корневой шейки, мм	Жестковость, Н см ²		
			минимальная	средняя	максимальная
Злаковые	44-63,5	1,5-3,1	4,82	154	1225
Бобовые	57-60	1,6-2,4	2,7	50	230
Разнотравье	49-83	1,8-7,1	5,9	653	5568

Таблица 5.2.4
Удельное сопротивление резанию по фазам спелости кукурузы

Фаза спелости	Состояние растения	Влажность, %	Удельное сопротивление резанию	
			при статистической нагрузке Р, кг/мм ²	при динамической нагрузке а, кгсм/мм ²
1	Цветение метёлки	90	0,06	0,05-0,06
2	Молочная спелость зерна	85	0,07	0,05-0,07
3	Молочно-восковая спелость	80	0,08	0,06-0,07
4	Восковая спелость	75	0,09	0,07-0,08
5	Полная спелость	50-70	0,07	0,06-0,07

Таблица 5.2.5
Коэффициенты трения покоя свежескошенной травы

Ботанические группы	Влажность, %	Поверхности трения		
		сталь шлифованная	сталь листовая, окрашенная	фанера сосновая
Разнотравье	58,7-83,0	0,64-1,47	0,51-1,48	0,42-0,81
Бобовые	64,9-71,6	0,83-1,29	0,87-0,94	0,48-0,62
Злаковые	54,6-62,7	0,56-0,65	0,50-0,73	0,26-0,38

Таблица 5.2.6

Коэффициенты трения трав заливных лугов

Поверхности трения	Травы			Сено		
	однолетние виды растений	ценоз	из про-коса	из валка	из копны	из стога
Коэффициенты движения						
Сталь шлифованная	0,56-1,47	0,85	0,68	0,58	-	0,48
Сталь листовая: -окрашенная;	0,5-1,48	0,94	0,52	0,44	0,41	0,36
-неокрашенная	0,19-0,99	0,54	0,31	0,29	0,25	0,21
Дерево гладкое: -окрашенное;	0,19-1,9	0,72	0,38	0,44	0,33	0,33
- неокрашенное	0,26-0,81	0,51	0,36	0,39	0,30	0,29
Поверхности трения	Травы			Сено		
	однолетние виды растений	це-ноз	из про-коса	из валка	из копны	из стога
Коэффициенты покоя						
Сталь шлифованная	0,34-0,92	0,63	0,41	0,39	0,37	0,35
Сталь листовая: -окрашенная	0,42-0,81	0,7	0,49	0,46	0,42	0,38
-неокрашенная	0,33-0,67	0,61	0,41	0,38	0,35	0,35
Дерево гладкое: -окрашенное	0,38-0,71	0,64	0,46	0,41	0,38	0,37
-неокрашенное	0,32-0,58	0,46	0,41	0,40	0,36	0,38

Таблица 5.2.7

Коэффициент трения покоя
для основных продуктов урожая подсолнечника

Элементы растения	Поверхность трения		
	дерево	сталь	резина
Семянки	0,5	0,62	0,75
Зелёные листья	0,62	0,97	0,97
Полузасохшие листья	0,50	0,6	1,05
Стебель растений	0,45	0,62	0,70

5.3. Физико-механические и технологические свойства зерновых культур

Таблица 5.3.1

Коэффициент трения стеблей пшеницы о материал рабочих органов

Влажность, %		При движении			В покое		
стеблей	воздуха	оцинкованная сталь	шлифованная сталь	дерево	оцинкованная сталь	листовая сталь	фанера
17,7	15	0,24	0,39	0,38	0,33	-	0,32
17.0	81	0,32	0,56	0.32	0.52	0,39	0,28
49.6	81	-	0,83	0.40	0,69	0,6	0,4
6.7	26	0,29	0,36	0.29	0,33	0,25	0,26

Таблица 5.3.2

Основные показатели физико-механических свойств (влажность 14-17%)

Показатели		Пшеница озимая	Пшеница яровая
Длина	мм	4,8-8,0	4-8,6
Ширина	мм	1,8-4,0	1,6-3,6
Толщина	мм	1,6-3,6	1.4-3,8
Критическая скорость	м/с	8,9-11,5	9
Масса: абсолютная	1000 шт	20-40	22-42
Натура	кг/л	0,76	0,73

Таблица 5.3.3

Размеры и вес семян растений

Названия семян	Размер, мм			Скорость витания, м / с	Масса		
	толщина	ширина	длина		абсолютная, 1000 шт в гр	объемная, кг/м ³	удельная, г/сем ²
Пшеница Озимая	1,6-3,6	1,8-4	4,8-8	8.9-11,5	20-40	760	1,35
Пшеница Яровая	1.4-3.8	1,6-3.6	4-8,6	9	22-42	730	1,35
Рожь	1-4	1,4-3,6	5-10	8,3-9,9	32	730	1.23
Овес	1,2-4,5	1,4-4	10-18,6	8-9	20-42	450	1
Ячмень	1,5-1,7	2-5	7-14,6	8,4-10,8	31-51	630	1,33
Просо	1,2-1,7	1,5-2	1,8-3,2	9,8-11,8	7	850	1,15
Горох	3-9	4-9	4-9,5	15,5-17,5	135	850	1,4
Рис	2-2,5	2,5-2,8	5-7	9,5	19	520	1,15

Таблица 5.3.4

**Прочность стеблей при статическом разрыве
в период уборки**

Параметр	Пшеница		Рожь
	озимая	яровая	
Средняя площадь поперечного сечения, мм ²	0,32	0,5	0,53
Усилие, кг	7,5	12,9	20,2
Среднее разрушающее напряжение, кг/мм ²	29,7	25,7	37,5

Таблица 5.3.5

**Прочность стеблей при динамическом поперечном разрыве
в период уборки**

Параметры	Пшеница		Рожь
	озимая	яровая	
Средняя площадь поперечного сечения, мм ²	0,29	0,44	0,5
Средняя удельная работа разрыва, кгс/мм ²	0,029	0,27	0,053

Таблица 5.3.6

Посевные качества семян

Культура	Класс	Содержание основной культуры, %	Всхожесть, %, не менее	Влажность для различных районов, %, не более			
				а	б	в	г
Пшеница мягкая	1	99	96	14	15,5	16	15
	2	98	92	14	15,5	16	15
	3	99	90	14	15,5	17	15
Пшеница твердая	1	99	90	14	15,5	16	15
	2	98	87	14	15,5	16	15
	3	99	85	14	15,5	17	15
Рожь	1	99	95	14	15,5	16	15
	2	98	92	14	15,5	16	15
	3	99	90	14	15,5	17	15
Ячмень	1	99	95	14	15,5	16	15
	2	98	92	14	15,5	16	15
	3	99	90	14	15,5	17	15
Овес	1	99	95	14	15,5	16	15
	2	98	92	14	15,5	16	15
	3	99	90	14	15,5	17	15
Рис	1	99	95	15	14	-	-
	2	98	92	15	14	-	-
	3	99	85	15	14	-	-



Рис 5.3.1. Влияние исходной влажности W_n зерна на кривую равновесной влажности l , травмирование δ и угол естественного откоса α зерна: I - зона нормальной влажности; II - зона повышенной влажности; III - зона высокой влажности; I - кривая равновесной влажности; 2-5- кривые изменения сыпучести зерна (2- рожь; 3- овес; 4- пшеница; 5- ячмень); 6,7- кривые травматирования зерна транспортерами (6- скребковым, 7- шнековым); А - сухое зерно; В - безопасное хранение зерна; С - зерно гигроскопической влажности

Таблица 5.3.7

Предельные температуры теплоносителя и нагрева зерна продовольственного и фуражного назначения в шахтных зерносушилках

Культура	Первоначальная влажность зерна, %	Температура нагрева зерна в сушильной камере, °С	Температура теплоносителя, °С, при режиме работы суши		
			одноступенчатом	двухступенчатом	
				I	II
1	2	3	4	5	6
Пшеница	До 20	50	140	120	150
	Свыше 20	50	120	110	140
Рожь, ячмень, подсолнечное семя	Независимо от первоначальной влажности	60	160	130	160
Кукуруза, идущая на переработку		50	150	130	160

Окончание табл.5.3.7

1	2	3	4	5	6
Кукуруза, идущая на длительное хранение	Независимо от первоначальной влажности	50	100	100	130
Просо		40	80	80	100
Овес		50	140	130	160
Гречиха		40	90	90	110
Рис-сырец		35	70	70	90
Соя	До 18	25	60	60	80
	Свыше 18	25	50	50	70
Горох и другие бобовые	До 18	40	80	80	100
	Свыше 18	30	70	70	90

5.4. Физико-механические и технологические свойства картофеля, корнеплодов и овощей

Таблица 5.4.1

Расположение клубней картофеля некоторых сортов в почве

Параметры	Сорт картофеля		
	Лорх	Эпрон	Берлихинген
Глубина залегания верхнего клубня, см:			
средняя	5,1	4,7	5,3
наименьшая	3	2	2
наибольшая	10	9	10
Ширина гнезда, см: вдоль ряда:			
средняя	23,9	24,8	27,7
наименьшая	14	9	12
наибольшая	36	37	38
поперек ряда:			
средняя	20,8	18,5	22,5
наименьшая	13	7	10
наибольшая	29	30	31
Глубина залегания нижнего клубня, см:			
средняя	18,9	19,2	18,6
наименьшая	16	14	16
наибольшая	23	22	24

Таблица 5.4.2

Размерно-массовые характеристики корней и плодов овощей

Показатели	Морковь	Столовая свекла	Лук		Капуста (кочан)	Томаты
			репка	севок		
Размеры, мм:						
длина	90-300	60-210	32-51	-	-	20-50
ширина	-	-	36-71	-	-	23-67
толщина	15-34	30-140	-	-	-	22-64
высота	-	-	-	-	125-197	-
диаметр (средний)	-	-	-	6030	155-224	-
Масса, г	46-430	70-800	28-800	1-10	1500-6000	25-150

Таблица 5.4.3

Размерно-массовые и механические характеристики корнеплодных и луковичных растений

Показатели	Культура				
	морковь	свекла	лук репчатый	лук-севок	чеснок
1	2	3	4	5	6
Количество растений на 1 га, тыс.	800-1200	300-450	300-600* 800-1000	950-2300	280-710
Плод:					
диаметр, мм	10-80	30-200	20-120	5-30	25-40* ² 30-80
длина, мм	50-250	40-120	20-110	5-35	20-35* ² 30-75
масса, г	10-460	50-600	20-300	1-10	20-50* ² 30-130
Пучок ботвы:					
диаметр, мм	10-30	20-60	5-22	4-6	5-15
высота, мм	200-600	200-500	80-120	130-300	300-500
прочность (сила разрыва), Н	20-500	250-850	20-65	15-30	80-200
Сила теребления плода, Н:					
неподкопанного	30.300	40-250	40-110	5-30	100-260
подкопанного	8-30	10-50	1-6	1-5	20-110
Глубина размещения в почве, мм	50-250	15-100	20-100	10-65	30-160
Высота расположения головки над уровнем почвы, мм	-30-+30	-20-+110	-30-+60	-40-0	-60=0

Окончание табл.5.4.3

1	2	3	4	5	6
Допустимая высота падения, м:					
на стальную поверхность	0,09-0,11	0,20-0,25	0,5-1,0	0,9-1,1	0,6-1,0
на слой плодов	0,220-0,26	0,60-0,70	1,4-1,6	1,5-1,7	1,4-1,7
Коэффициент трения скольжения по стали	0,7-1,0	0,9-1,3	0,3-0,5	0,4-0,6	0,4-0,7
Объемная (насыпная) плотность плодов, кг/м ³	560-600	580-620	600-800	130-180* ³	500-600

* В числителе даны значения при выращивании из севка, а в знаменателе - из семян.

*² В числителе даны значения для нестрелкующихся сортов, а в знаменателе - для стрелкующихся.

*³ Для свежееубранных луковец с ботвой.

Таблица 5.4.4
Размерно-массовые и механические характеристики
корнеплодных растений

Показатели	Сахарная свекла	Кормовые корнеплоды	
		брюква	свекла
Число растений на 1 га, тыс.	70-100	30-50	70-100
Диаметр корня, мм*	30-160	30-200	30-120
Длина корня, мм	70-350	70-200	100-210
Масса корнеплода, кг	0,3-1,6	0,5-2,5	0,1-1,1
Глубина залегания в почве, мм	50-340	40-120	50-130
Высота расположения головки над уровнем почвы, мм	0-100	0-130	0-110
Коэффициент трения скольжения	0,5-0,6	0,3-1,1	0,4-0,5
Объемная (насыпная) плотность корнеплодов, кг/м ³	620-640	620-640	620-640

*В соответствии со стандартом минимальный размер диаметра для кормовых корнеплодов и сахарной свеклы 50 мм.

Таблица 5.4.5

Характеристики культур с надземным плодоношением

Показатели	Культура			
	томат	огурец	перец	баклажан
Количество растений на 1 га, тыс.	40-50	100-200	40-45	40-45
Плод:				
диаметр, мм	20-60	12-60	40-75	35-65
длина, мм	15-70	30-120	30-95	100-210
масса, г	50-100	5-200	30-110	70-350
Высота куста, мм	250-400	250-300	300-550	400-700
Размещение плодов по высоте в зоне 0...100 мм, %	65-90	100	20-45	50-55* ¹
Сила, Н:				
разрыва стебля;	60-250* ²	40-100	-	-
теребления растения;	-	20-80	50-700	170-800
отрыва плода;	10-35	18-50	5-30	15-65
разрушающая плод;				
при статическом сжатии	20-50	-	60-80	200-400
Коэффициент трения скольжения по стали	0,5-0,8	0,6-0,9	0,6-0,7	0,6-0,7
Объемная (насыпная) масса плодов, кг/м ³	560-600	550-660	300-320	400-410

*¹ Большинство из этих плодов касаются поверхности почвы.*² Сила резания стебля.

Таблица 5.4.6

Параметры растения капусты белокочанной в зависимости от сорта и урожайности

Число растений на 1 га, тыс	20-45
Кочан:	
диаметр, мм	160-290
масса, кг	0,6-7,6
Высота растения, мм	200-420
Длина свободной от листьев кочерыги, мм	80-170
Сила теребления растения, Н	150-1400
Сила среза кочерыги (отношение силы резания к диаметру), Н/мм	6,5-52
Допустимая высота (м) падения кочанов на стальную поверхность:	
1 кг	0,6-0,7
6 кг	0,15-0,19
Коэффициент трения скольжения по стали	0,3-0,5
Объемная (насыпная) плотность товарных кочанов, кг/м ³	320-450

Таблица 5.4.7

Характеристика массы картофеля и овощей после обработки на пунктах и линиях

Культура	Стандартная продукция	Повреждения	Почвенные примеси	Растительные остатки
Картофель	92-98	0,5-5,5	2,1-5,2	0,5-1,2
Столовые корнеплоды	85,5-95,3	0,3-9,1	0,1-2,3	0,5-2,2
Лук-репка	78,0-99,1	2,56-5,6	-	0,2-3,7
Лук-севок	32,5-98,7	0,8-3,0	0,3-2,8	-
Капуста	65,2-92,4	6,2-26,4	-	-
Томаты	62,8-95,4	2,3-14,5	-	-

5.5. Физико-механические и технологические свойства плодов

Таблица 5.5.1
Статистические характеристики основных размеров яблок

Сорт	Математическое ожидание, мм			Среднее квадратическое отклонение, мм			$m_D \max / m_n$
	$m_D \max$	$m_D \min$	m_n	$\sigma_D \max$	$\sigma_D \min$	σ_n	
Антоновка	7.1	67	55	7	7	6	1,28
Пепин шафранный	58	56	53	6	5	5	1,09
Осеннее полосатое	66	65	55	6	6	5	1,19
Ренет шампанский	65	62	48	7	7	5	1,35
Пепин лондонский	68	64	52	7	7	6	1,30
Наполеон	56	53	50	5	4	5	1,13
Розмарин	50	48	52	4	4	5	0,96
Джонатан	65	62	57	6	6	5	1,14
Кандиль-синап	54	53	65	6	6	8	0,82
Сары-синап	50	45	51	5	5	6	0,89

Таблица 5.5.2

Углы и коэффициенты трения плодов по различным материалам

Материалы	Коэффициент трения скольжения	Угол качения, °
Алюминий	0,445-0,601	5,8-20,0
Сталь	0,384-0,510	6,0-20,6
Брезент	0,404-0,466	5,8-19,4
Резина	0,445-0,625	5,0-18,6
Поролон	0,900-0,966	5,0-17,2
Яблоко	0,700-0,900	-
Дерево	0,364-0,424	5,6-20,2

5.6. Физико-механические и технологические свойства льна

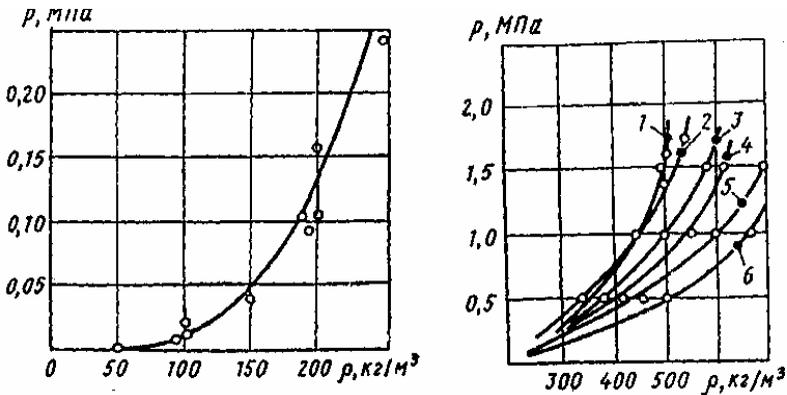


Рис. 5.6.1. Зависимости давления p сжатия стеблей льна от плотности материала ρ : 1, 4, 6- треста влажностью соответственно 10, 20 и 30 %; 2, 3, 5 - льносомломка влажностью соответственно 9, 20 и 26 %

Таблица 5.6.1

Характеристика стеблестоя льна

Длина стебля, см:		
общая		40-140
техническая		35-125
Диаметр стебля (на 1/3 высоты), мм		0,6-2,8
Масса одного стебля (без головок), г		0,4-0,8
Сила, необходимая для разрыва средней части, Н		30-60
Жесткость стебля, Н/см ² , при диаметре, мм:		
1,8		47,5-54,7
1,2		15,8-20,1
0,9		9,2
Сила сопротивления излому стебля соломы, Н:		
на 1/3 длины от комля		1,0-18,0
на 2/3 длины от комля		0,5-9,0
Сила сопротивления сухих стеблей сжатию (стягиванию), Н:		
льняной соломы		0,45-0,70
льнотресты		0,40-0,70

5.7. Физико-механические и технологические свойства кормовых и сопутствующих материалов

Таблица 5.7.1

Объемная плотность сельхозгрузов

Груз	Объемная плотность, т/м ³	Груз	Объемная плотность, т/м ³
Пшеница, рожь	0,65-0,81	Силос из башни	0,60-0,75
Ячмень, рис	0,58-0,75	Трава свежескошенная	0,30-0,40
Овес	0,40-0,50	Навоз:	
Кукуруза	0,70-0,75	свежий	0,40-0,50
		слежавшийся	0,70-0,75
Горох	0,8	Торф	0,30-0,62
Мука ржаная	0,50-0,60	Удобрения	
Картофель	0,63-0,73	минеральные	0,75-0,90
Свекла	0,57-0,65	Цемент насыпью	1,27-1,40
Сено и солома:		Земля	1,20-1,70
из стога	0,08-0,12	Комбикорм	0,49- 0,77
прессованные	0,27-0,29	Гравий	1,60-1,86
Полова и сбоина	0,07-0,15	Песок	1,40-2,05

Таблица 5.7.2

Плотности материалов

Материал	Плотность, кг/м ³	Материал	Плотность, кг/м ³
Бобы	590-800	Просо	660-850
Вика	800-850	Пшеница	650-810
Горох	780-800	Рожь	650-790
Гречиха	640-700	Соя в зернах	720
Жмыхи	650	Шроты	450
Отруби	180-440	Кукуруза	700-750
Подсолнечник	420	Мука ржаная и пшеничная	300-400
Овес	390-500	Мука ячменная	580
Ячмень	650-790	Комбикорм рассыпной	350-650

Таблица 5.7.3

Углы естественного откоса материалов

Материал	Угол естественного откоса, °С	Материал	Угол естественного откоса, °С
Бобы	38	Подсолнечник	45
Вика	38	Пшеница	35
Горох	28	Рожь	35
Кукуруза	35	Ячмень	35
Овес	35	Мука	55
Просо	24		

Примечание. Углы естественного откоса даны в покое, угол естественного откоса в движении обычно на 15-20% меньше.

Таблица 5.7.4

Физико-механические свойства зерновых кормов и кормосмесей

Культура кормосмеси	Плотность, кг/м ³	Угол естественного откоса, °	Коэффициент внутреннего трения	Коэффициент трения	
				по стали	по дереву
Кукуруза	730	28	0,53	0,37	0,35
Пшеница	670-830	25	0,47	0,37	0,40
Рожь	650-790	26	0,49	0,37	0,40
Ячмень	550-750	27,5	0,51	0,37	0,40
Овес	400-510	27,5	0,51	0,37	0,45
Гречиха	700-750	27,5	0,52	0,37	0,44
Просо	800-900	28,4	0,54	0,34	0,40
Комбикорм влажностью 14 %	485	31	0,58	0,45	0,30
Влажная мешанка	600	33-36		0,45-0,5	0,7-0,8

5.8. Физико-механические и технологические свойства навоза

Таблица 5.8.1

Состав бесподстилочного навоза

Компоненты	Крупного рогатого скота		Свиной при кормлении	
	коровы	молодняк на откорме	полнорационными концентратами	многокомпонентными кормосмесями
Сухое вещество	9,82	9,78	10,30	7,88
Песок	0,28	0,18	0,27	0,21
Органическое вещество	7,88	7,20	7,51	5,78
Азот общий	0,41	0,47	0,51	0,48
Фосфор (P ₂ O ₅)	0,11	0,28	0,27	0,25
Калий (K ₂ O)	0,47	0,48	0,34	0,42

Таблица 5.8.2

Усредненные показатели
гранулометрического состава свиного навоза

Размеры частиц, мм	Содержание частиц, %, при кормлении	
	полнорационными кормами	многокомпонентными кормосмесями
0,05-0,1	14,9	8,0
0,1-0,5	25,0	19,8
0,5-1,0	23,3	14,5
1,0-2,0	17,8	29,8
2,0-5,0	12,0	21,4
Более 5,0	7,0	6,5

Таблица 5.8.3

Свойства бесподстилочного навоза

Влажность, %	Навоз дойных коров			Свиной навоз		
	плотность, кг/м ³	динамическая вязкость, Па с	предел текучести, Па	плотность, кг/м ³	динамическая вязкость, Па с	предел текучести, Па
87	1032,2	4,0	100	1050,0	0,80	50
88	1029,6	3,6	70	1046,4	0,60	38
89	1026,9	3,0	45	1042,4	0,40	32
90	1024,4	2,4	27	1038,4	0,30	30
91	1021,8	1,6	18	1034,4	0,24	10
92	1019,1	1,4	11	1030,3	0,20	1,8
93	1016,3	1,1	9	1026,3	0,18	1,6
94	1013,9	0,9	7	1022,3	0,10	0,9
95	1011,3	0,7	-	1018,5	0,02	-
96	1008,7	0,2	-	1014,3	-	-

Таблица 5.8.4

Критическая скорость перемещения навозной массы в напорном трубопроводе

Навоз	Влажность навоза, %	Критическая скорость (м/с) для трубопровода диаметром, м				
		0,15	0,20	0,25	0,30	0,40
Крупного рогатого скота	97	0,66	0,73	0,78	0,83	0,91
Свиной	96	0,91	0,96	1,00	1,14	1,25

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

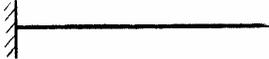
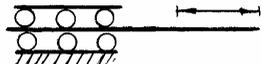
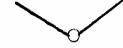
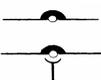
Фирма, комбайн	Ширина захвата жатки, м	Мощность двигателя, кВт	Размеры молотильного барабана (ротора), мм		Число клавиш соломотряса	Площадь, м ²		Вместимость бункера, м ³	Масса (без жатки), кг
			диаметр	длина		сепарации	очистки		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
«Claas»:									
«Dominator 58S»	3-3,6	105	450	1060	4	4,8	3	2,7	
«Dominator 68S»	3-4,5	125	450	1060	4	5,4	3	3,2	6880
«Mega 350»	4,55-6,07	162	450	1320	5	5,8	4,7	7,2	9050
«Mega 360»	5,16-6,68	180	450	1580	6	7	5,65	8,2	10050
«Medion 310»	3,69-6	185	450	1320	5	5,8	4,25	5,8	
«Medion 330»	3,9-6,6	220	450	1320	5	5,8	4,25	7,2	
«Medion 340»	5,1-7,5	245	450	1580	6	7	5,1	8,2	
«Lexion 410»	3,9-4,5	144	600	1420	5	6,25	4,4	6,3	
«Lexion 420», «Lexion 420 Montana», «Lexion 420 Evolution»	4,5-5,4	162, 176, 220	600	1420	5	6,25	4,8	7,3	
«Lexion 430 Montana», «Lexion 430 Evolution»	4,5-5,4	191	600	1420	5	6,25	4,8	7,8	

«Lexion 440», «Lexion 440 Evolution»	5,4-6	191, 260	600	1700	6	7,48	5,8	8,1	
«Lexion 450», «Lexion 450 Evolution»	6-6,6	210, 286	600	1700	6	7,48	5,8	8,6	
«Lexion 460 Evolution»	6-6,6	236	600	1700	6	7,48	5,8	9,6	
«Lexion 470», «Lexion 470 Montana»		235	600	1420, 1700				9,6	
«Lexion 480»	6,6-9	305	600	1700		9,85	5,8	10,5	
«Lexion 510»	4,55-5,46	173	600	1420	5	6,25	4,8	7,3	
«Lexion 520», «Lexion 520 Montana»	4,55-6,07	203	600	1420	5	6,25	4,8	7,8	
«Lexion 530», «Lexion 530 Montana»	4,55-6,07	221	600	1420	5	6,25	4,8	8,6	
«Lexion 540», «Lexion 540C»	5,46-6,07	210, 191	600	1700	6	7,48	5,8	8,6; 8,1	
«Lexion 550»	6,07-6,68	236	600	1700	6	7,48	5,8	9,6	
«Lexion 560», TERRA TRAC»	6,07-7,5	250	600	1700	6	7,48	5,8	10,5	
«Lexion 570», «Lexion 570 Montana»	6,07-7,5	273	600	1700			4,8	10,5; 9,6	
«Lexion 580», «Lexion 580 TERRA TRAC»	6,68-9,12	316	600	1700			5,8	10,5	
«New Holland»:									
TC 54	3,66-4,57	125	606	1040	4	4	3,29	4	7600
TC 56	3,66-5,18	150	606	1300	5	4,36	4,13	5	8520
TX 65 «Plus»	4,57-6,1	207	606	1300	5	4,36	6,5	8	10425
TX 68	5,18-7,32	220	606	1560	6	5,23	5,4	9,5	11400
CS 520	3,66-5,18	150	607		5		4,32	6,3	
CS 540	3,96-6,1	175	607	1300	5		4,32	7	
CS 640	4,57-7,32	190	607	1560	6		5,21	7,8	
CS 660	5,18-7,32	207	607	1560	6		5,21	8,8	

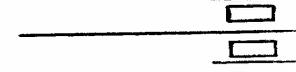
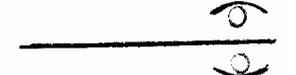
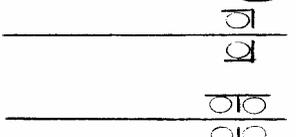
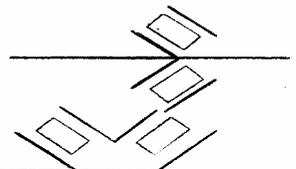
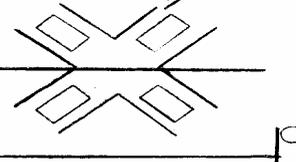
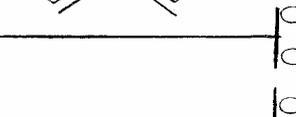
«Massey Ferguson»:									
MF 2045	3,1-4,2	85	500	1110	4	4,6	3,4	3,7	6000
MF 2065	3,1-4,2	96	500	1110	5	4,6	3,4	4,2	7100
MF 7242 «Activa»	3,7-4,95	133	600	1270	5	5,25	3,84	5,2	9575
MF 7256 «Cerea»	4,95-6,15	203	600	1400	5	7,44	4,5	8	12780
MF 7272 «Cerea»	5,55-6,75	212	600	1680	8	8,84	5,3	8	13200
MF 7274 «Cerea»	6,15-7,7	241	600	1680	8	8,84	5,3	9,5	13800
MF 7278 «Cerea»	6,75-7,7	285	600	1680	8	8,84	5,3	10,5	13880
«John Deere»:									
1450 CWS	4,3-7,6	133	610	1300	5	4,83	4,6	6	9500
1550 CWS	4,3-7,6	165	610	1560	6	5,79	5,6	6	9620
9540 WTS	4,25-9,15	147	660	1400	5	6,4	7	7,5	11230
9560 WTS	4,25-9,15	166	660	1400	5	6,4	7	7,5	11230
9580 WTS	4,25-9,15	184	660	1400	5	6,4	7	8	11230
9640 WTS	4,25-9,15	184	660	1670	6	7,7		8,9	11230
9660 WTS	4,25-9,15	205	660	1670	6	7,7		9,11	11230
9680 WTS	4,25-9,15	228	660	1670	6	7,7		8	11230
9780 CTS	6,1-9,15	264	660	1400				10	12700
9880 STS	6,1-9,15	353	(750)	(3130)	-			11	12700
9450	4,25-9,15	142	660	1397		5,56	4,11	6,4	10080
9550	4,25-9,15	164	660	1397		6,25	4,11	7,2	10560
9650	4,25-9,15	179, 205	660	1664		7,5	4,98	8,5	12735
9650 STS	4,25-9,15	216	(762)	(3125)		6,26	4,55	8,85	13052
9750 STS	4,25-9,15	242	(762)	(3125)		6,26	4,55	10,57	11540
«Sampo Rosenlew»:									
SR 2010	1,5-2,3	61	500	780	3	1,4	0,7	1,7	3400
SR 2035 M	3,1-3,45	75	500	1110	4	4,26	3	3,3	6000*
SR 2035 «Hydro»	3,1-3,45	85	500	1110	4	4,26	3	3,3	6000*
SR 2045 «Hydro»	3,1-3,9	85	500	1110	4	4,8	3,4	3,7	6000*
SR 2065 «Standart»	3,9-4,2	96	500	1110	5	4,8	3,4	3,7	7700
SR 2065 «Spezial»	4,2-4,5	110	500	1110	5	4,8	3,4	4,2	7700
SR 2085 TS	4,2-4,8	129	500	1110	5	4,8	3,4	5,2	8600*
SR 3085 TS	4,8-5,7	184	500	1330	6	6,3	4,1	8,1	12600*
SR 3045	4,5-5,1	129, 147	500	1330	6	5,8	4,1	6,5	11230*
SR 3065	4,5-5,1	147, 162	500	1330	6	6,3	4,1	6,5	11700*

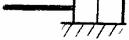
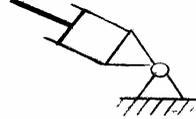
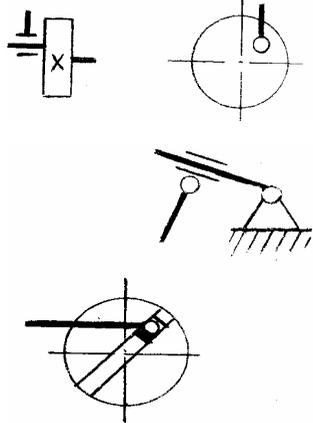
Примечание: таблица дана в сокращенном виде

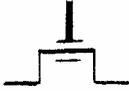
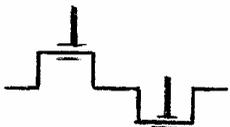
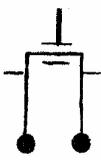
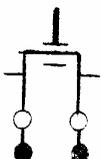
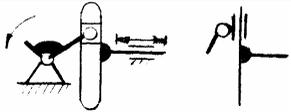
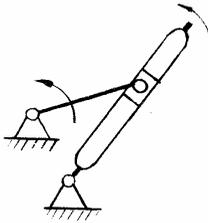
**УСЛОВНЫЕ ГРАФИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
В КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМАХ**

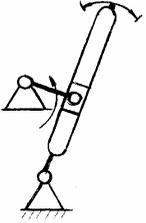
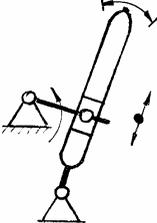
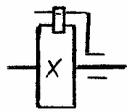
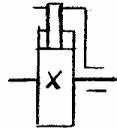
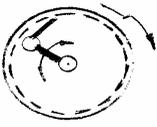
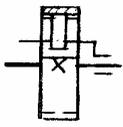
Наименование	Обозначение
1	2
1. Вал, валик, ось, стержень, шатун и т.п.	
2. Неподвижное закрепление оси, стержня, пальца и т.п.	
3. Неподвижная опора для стержня, движущегося возвратно-поступательно: а) скольжения б) качения	<p>а) </p> <p>б) </p>
4. Опора для стержня: а) неподвижная б) подвижная	<p>а) </p> <p>б) </p>
5. Соединение стержней: а) жесткое б) шарнирное в) шаровым шарниром г) жесткое с шарнирным присоединением третьего стержня д) жесткое с шаровым шарнирным присоединением третьего стержня	<p>а) </p> <p>б) </p> <p>в) </p> <p>г) </p> <p>д) </p>
6. Соединение стержня с неподвижной опорой: а) шарнирное с движением в плоскости чертежа б) шаровым шарниром	<p>а) </p> <p>б) </p>

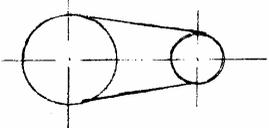
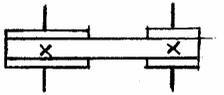
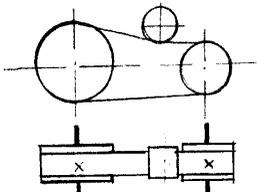
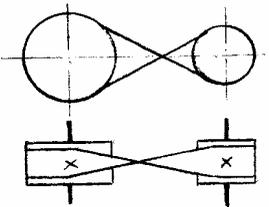
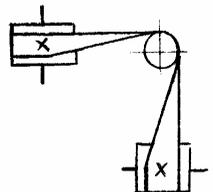
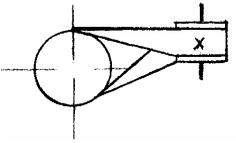
1	2
<p>7. Подшипники скольжения и качения на валу (без уточнения типа):</p> <p>а) радиальный радиально-упорный:</p> <p>б) односторонний</p> <p>в) двусторонние упорные</p> <p>г) односторонние</p> <p>д) двусторонние</p>	<p>а) </p> <p>б) </p> <p>в) </p> <p>г) </p> <p>д) </p>
<p>8. Подшипники скольжения:</p> <p>а) радиальный</p> <p>б) радиальный самоустанавливающийся</p> <p>в) радиально-упорные: односторонний</p> <p>двусторонний</p> <p>г) упорные: односторонние</p> <p>двусторонние</p>	<p>а) </p> <p>б) </p> <p>в) </p> <p>г) </p> <p>г) </p> <p>г) </p>

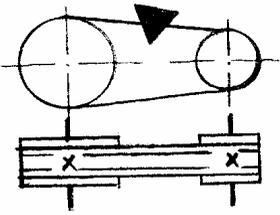
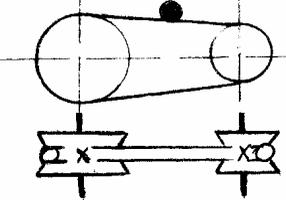
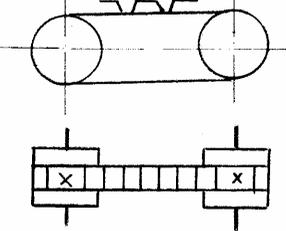
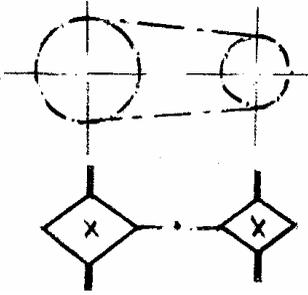
1	2
9. Подшипники качения:	
а) радиальный (общее обозначение)	а) 
б) радиальный роликовый	б) 
в) радиальный самоустанавливающийся	в) 
г) радиальный роликовый самоустанавливающийся	г) 
д) радиально-упорные (общее обозначение) односторонний двусторонний	д) 
е) радиально-упорные роликовые: односторонний	е) 
двусторонний	
ж) упорные шариковые: одинарные	ж) 
двойные	
з) упорный роликовый односторонний	з) 

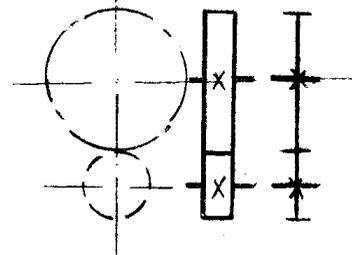
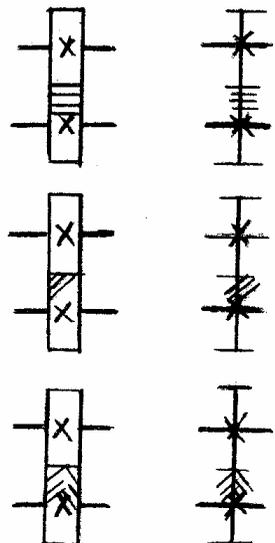
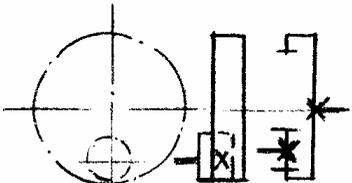
1	2
<p>10. Цилиндр с поршнем:</p> <p>а) неподвижный с шатуном</p> <p>б) неподвижный с штоком</p> <p>в) качающиеся</p>	<p>а) </p> <p>б) </p> <p>в) </p>
<p>11. Соединение кривошипа с шатуном:</p> <p>а) с постоянным радиусом</p> <p>б) с переменным радиусом</p>	<p>а) </p> <p>б) </p>

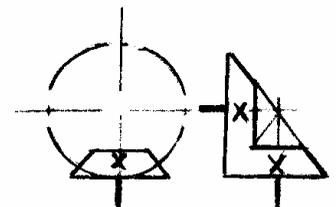
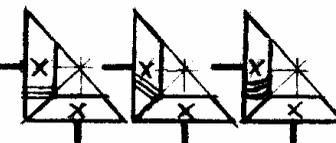
1	2
<p>12. Соединение коленчатого вала с шатуном:</p> <p>а) с одним коленом</p> <p>б) с несколькими коленами</p> <p>в) с коленом с жестким противовесом</p> <p>г) с коленом с маятниковым противовесом</p>	<p>а) </p> <p>б) </p> <p>в) </p> <p>г) </p>
<p>13. Кривошипно-кулисные механизмы:</p> <p>а) с поступательно движущейся кулисой</p> <p>б) с вращающейся кулисой</p>	<p>а) </p> <p>б) </p>

1	2
<p>в) с качающейся кулисой</p> <p>г) то же, с переменным радиусом</p>	<p>в) </p> <p>г) </p>
<p>14. Храповые зубчатые механизмы:</p> <p>а) с наружным зацеплением односторонние</p> <p>б) с наружным зацеплением двусторонние</p> <p>в) с внутренним зацеплением односторонние</p>	<p>а)  </p> <p>б)  </p> <p>в)  </p>

1	2
<p>15. Передачи плоским ремнем:</p>	
<p>а) открытые</p>	<p>а)</p> 
<p>б) открытые с натяжным роликом</p>	<p>б)</p> 
<p>в) перекрестные</p>	<p>в)</p> 
<p>г) угловые</p>	<p>г)</p> 
<p>д) полуперекрестные</p>	<p>д)</p> 

1	2
<p>16. Передача клиновидным ремнем</p>	
<p>17. Передача круглым ремнем и шнуром</p>	
<p>18. Передача зубчатым ремнем</p>	
<p>19. Передача цепью (общее обозначение без уточнения типа цепи)</p>	

1	2
<p>20. Передачи зубчатые (цилиндрические):</p> <p>а) внешнее зацепление (общее обозначение без уточнения типа зубьев)</p> <p>б) то же, с прямыми, косыми и шевронными зубьями</p> <p>в) внутреннее зацепление</p>	<p>а) </p> <p>б) </p> <p>в) </p>

1	2
<p>21. Передачи зубчатые с пересекающимися валами (конические):</p> <p>а) общее обозначение без уточнения типа зубьев</p> <p>б) с прямыми, спиральными и круговыми зубьями.</p>	<p>а)</p>  <p>б)</p> 

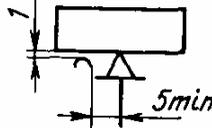
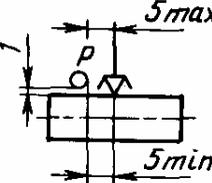
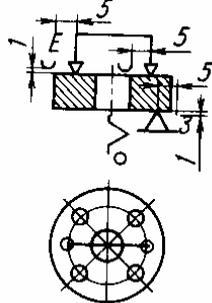
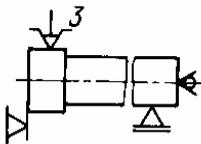
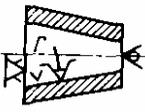
**ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ НОРМЫ ОПЕРАТИВНОГО ВРЕМЕНИ
НА СБОРОЧНЫЕ РАБОТЫ [60, 61]**

№ п/п	Содержание работ	Оперативное время в чел.-мин
1	Разметка осей 4-х отверстий	1,03-1,19
2	Разметка чертилкой контура периметром 400 мм	0,2-0,44
3	Установка детали или СЕ на вал или в отверстие диаметром 25 мм	0,11-0,14
4	Установка детали или СЕ на шлицевую цилиндрическую поверхность диаметром 36-72 мм	0,11-0,18
5	Установка круглой прокладки диаметром до 100 мм	0,09-0,12
6	Взять инструмент (молоток, ключ, отвертку и т.п.), отложить этот инструмент	0,05-0,08
7	Крепление детали или СЕ болтом с гайкой М10 и шайбой: - пневмогайковертом - гаечным ключом	0,37 0,6-0,7
8	Стопорение гайки шплинтом	0,13-0,16
9	Запрессовка подшипника диаметром 50 мм на длину 80 мм: - вручную - гидравлическим прессом	0,25-0,5 0,2
10	Установить призматическую шпонку сечением $b \times h = 10 \times 8$ и длиной 50 мм	0,9
11	Установка пружинного стопорного кольца диаметром до 60 мм в канавку отверстия или вала	0,11-0,18
12	Надевание ремня длиной 1700 мм на два шкива с регулировкой натяжения	1,15-1,4
13	Надевание втулочно-роликовой цепи длиной 1700 мм с соединением звеньев и регулировкой натяжения	1,85-2,2
14	Установка эксцентрика на вал диаметром 45 мм без осевого закрепления	0,8-1,2
15	Сборка валов диаметром 45 мм с кулачковой муфтой	8-10,5
16	Установка двух цилиндрических шестерен с регулировкой их зацепления	3,2-6,6
17	Установка крышки на корпус подшипника с закреплением четырьмя винтами	3,2-5,8
18	Подгонка и стыкование кромок листов толщиной 6 мм перед сваркой	3,3-4,5
19	Приварка к валу диаметром 110 мм шести витков спирали шнека	10-50

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

**УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ОПОР ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК,
ОБРАБАТЫВАЕМЫХ РЕЗАНИЕМ**

Наименование	Примеры нанесения обозначений
1	2
Центр:	
неподвижный (гладкий)	
рифленый	
плавающий	
вращающийся	
обратный вращающийся с рифленой поверхностью	
Патрон поводковый	
Люнет:	
подвижный	
неподвижный	
Оправка:	
цилиндрическая	
коническая, роликовая	
резьбовая, цилиндрическая с наружной резьбой:	
шлицевая	
цанговая	

1	2
<p>Опора регулируемая со сферической выпуклой рабочей поверхностью</p>	
<p>Зажим пневматический с цилиндрической рифленой рабочей поверхностью</p>	
<p>В тисках с призматическими губками и пневматическим зажимом</p>	
<p>В контуре с центрированием на цилиндрический палец, с упором на три неподвижные опоры и с применением устройства двойного зажима, имеющего сферические рабочие поверхности</p>	
<p>В трехкулачковом патроне с механическим устройством зажима, с упором в торец, с поджимом вращающимся центром с креплением в подвижном люнете</p>	
<p>На конической оправке с гидропластовым устройством зажима, с упором в торец на рифленую поверхность и с поджимом вращающимся центром</p>	

ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬХОЗМАШИН

Вид поверхности	<i>Ra</i> , мкм
Посадочные поверхности отверстий диаметром 18-120 мм:	
- 7, 8-й квалитеты	0,8...1,6
- 9-й квалитет	3,2
Посадочные поверхности валов диаметром 18-120 мм:	
- 6, 7-й квалитеты	0,8...1,6
- 8, 9-й квалитеты	0,8...3,2
Торцы заплечиков валов и корпусов для базирования подшипников, зубчатых колес, шкивов, звездочек	1,6...3,2
Поверхности валов под резиновые манжеты, канавки, фаски, радиусы галтелей	6,3
Нерабочие поверхности валов	6,3...12,5
Профили зубьев шестерен 9-й степени точности	3,2
Рабочие поверхности шкивов и зубьев звездочек	3,2
Рабочие поверхности торцев ступиц шестерен, шкивов, звездочек	1,6...3,2
Поверхности шпоночных пазов на валах:	
- рабочие	3,2
- нерабочие	6,3
Поверхности шпоночных пазов в отверстиях:	
- рабочие	1,6
- нерабочие	3,2
Рабочие поверхности резьб 7-9-й степени точности	3,2...6,3
Отверстия под болты, винты	12,5
Опорные поверхности под головки болтов, винтов, гаек	6,3
Опорные поверхности пружин сжатия	12,5...25
Кромки деталей под сварные швы	50...100
Поверхности органов управления (рукоятки, маховики и др.)	0,4...1,6

ОБОЗНАЧЕНИЯ СТАНДАРТНЫХ ДЕТАЛЕЙ

№ п/п	Условные обозначения	Характеристика изделия
1	2	3
1.	Болт М12х1,25-8гх60.10.9. 40Х.01.6 ГОСТ 7798-70	Болт с шестигранной головкой нормальной точности, диаметром резьбы 12 мм, мелким шагом 1,25 мм, полем допуска 8г, длиной 60 мм, классом прочности 10.9 из стали 40Х, покрытием «01» цинковым с хромированием толщиной 6 мкм.
2.	Болт М12-8гх70.5.8 ГОСТ7798-70	Болт с шестигранной головкой нормальной точности, диаметром резьбы 12 мм, с крупным шагом резьбы, полем допуска 8г, длиной 70 мм, класса точности 5.8 без покрытия.
3.	Винт А.М8-6гх50.4.8.09.8 Гост 1491-80	Винт с цилиндрической головкой класса точности А, диаметром резьбы 8 мм, с крупным шагом резьбы, полем допуска 6г, длиной 50 мм, класса прочности 4.8, покрытием «09» - цинковым толщиной 8 мкм.
4.	Винт В.М6×0,5-6гх45.4.8.02.5 ГОСТ 17473-80	Винт с полукруглой головкой класса точности В, диаметром резьбы 6 мм, мелким шагом 0,5 мм, полем допуска 6г, длиной 45 мм, класса прочности 4.8, покрытием «02» - кадмиевым с хромированием толщиной 5 мкм.
5.	Гайка М12-7Н.5 ГОСТ 5915-70	Гайка шестигранная нормальной точности диаметром резьбы 12 мм, крупным шагом резьбы, с полем допуска 7Н, классом прочности 5, без покрытия.

Продолжение прил.11

1	2	3
6.	Гайка М16х1,5.7Н.6.09.7 ГОСТ 11871-73	Гайка круглая шлицевая нормальной точности, диаметром резьбы 16 мм, мелким шагом 1,5 мм, с полем допуска 7Н, классом прочности 6, с покрытием «09» цинком толщиной 7 мкм.
7.	Шпилька М16-6gх120.58 ГОСТ22033-76	Шпилька с диаметром резьбы 16 мм, крупным шагом резьбы, с полем допуска 6g, длиной 120 мм, класса прочности 5.8, без покрытия.
8.	Шайба 12.01.08кп.05 ГОСТ 9649-78	Шайба для крепежной детали с диаметром резьбы 12 мм, с толщиной, установленной в стандарте, из стали марки 08кп, с покрытием «05» - окисным.
9.	Шайба 8.3Х13 ГОСТ 6402-70 Шайба 8.Л.65Г 029 ГОСТ 6402-70	Шайба пружинная для болта, винта, шпильки диаметром 8 мм: - нормальная с квадратным поперечным сечением из стали 3Х13 без покрытия; - легкая с прямоугольным поперечным сечением из стали 65Г с кадмиевым покрытием с хромированием толщиной 9 мкм
10.	Шайба 64.01.08КП ГОСТ 11872-89	Шайба стопорная многолапчатая для крепежной детали 64 мм, с толщиной, установленной в стандарте, из стали марки 08кп без покрытия.
11.	Манжета 1.2-60х80-3 ГОСТ8752-79	Манжета резиновая армированная для вала, однокромочная – «1»; кромка формована без механической обработки – «2»; с внутренним диаметром 60 мм, наружным – 80 мм, из резины 3 группы.

Окончание прил.11

1	2	3
12.	Шпонка 18x11x100 ГОСТ 23360-78	Шпонка призматическая шириной 18 мм, высотой 11 мм, длиной 100 мм.
13.	Шпонка 18x11x100 ГОСТ 24068-80	Шпонка клиновидная с головкой шириной 18 мм, высотой 11 мм, длиной 100 мм.
14.	Шпонка 5x6,5 ГОСТ 24071-97	Шпонка сегментная шириной 5 мм, высотой 6,5 мм.
15.	Подшипник 50212 ГОСТ 2893-82	Подшипник однорядный радиальный шариковый легкой серии с внутренним диаметром 60 мм, наружным 110 мм, шириной 22 мм.
16.	Подшипник 7214 ГОСТ 333-79	Подшипник легкой серии однорядный конический роликовый с внутренним диаметром 70 мм, наружным 125 мм, шириной 26,5 мм.
17.	Подшипник 11206 ГОСТ 8545-75	Подшипник 2-рядный сферический радиальный шариковый в комплекте с конической закрепительной втулкой, шайбой стопорной и шлицевой гайкой для вала диаметром 30 мм, с наружным диаметром 72 мм.
18.	Кольцо А30 ГОСТ 13940-86	Кольцо пружинное упорное плоское наружное концентрическое, класса точности А, с условным диаметром 30 мм, из стали 65Г, без покрытия.
19.	Кольцо А30 ГОСТ 13941-86	Кольцо пружинное упорное плоское внутреннее концентрическое, класса точности А, с условным диаметром 30 мм, из стали 65Г, без покрытия
20.	Цепь ПР-19,05-3180 ГОСТ 13568-90	Цепь приводная втулочно-роликовая однорядная нормальной серии, шагом 19,05 мм с разрушающей нагрузкой 31800Н.

Ермольев Юрий Иванович,
Игнатенко Иван Васильевич,
Иванцов Владислав Иванович,
Смехунов Евгений Анатольевич,
Бутовченко Андрей Владимирович

КУРСОВОЕ И ДИПЛОМНОЕ
ПРОЕКТИРОВАНИЕ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН
И ОБОРУДОВАНИЯ

Учебное пособие

Под редакцией Ю.И. Ермольева

2-е издание,
переработанное и дополненное

Издается в авторской редакции
Компьютерная обработка: И.В. Кикичева
Тем. план 2013

В печать 10.08.2013.

Объём 25,25 усл. п.л. Офсет. Формат 60x84/16.

Бумага тип №3. Заказ №750. Тираж 100 экз. Цена свободная

Издательский центр ДГТУ

Адрес университета и полиграфического предприятия:
344010, г.Ростов-на-Дону, пл.Гагарина,1.