

**Министерство образования Республики Беларусь**

**Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»**

**Кафедра «Сельскохозяйственные машины»**

# **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

**ПОСОБИЕ**

**по одноименной дисциплине для студентов  
специальности 1-36 12 01 «Проектирование  
и производство сельскохозяйственной техники»  
дневной и заочной форм обучения**

**Электронный аналог печатного издания**

**Гомель 2020**

УДК 621.891(075.8)  
ББК 34.41я73  
П79

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом  
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 7 от 25.06.2018 г.)*

Составитель *В. Б. Попов*

Рецензент: генер. конструктор НТЦК ОАО «Гомсельмаш» *С. А. Федорович*

**Проектирование** сельскохозяйственной техники : пособие по одной дисциплине  
П79 для студентов специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники» днев. и заоч. форм обучения / сост. В. Б. Попов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2020. – 166 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-535-435-3.

Представлен теоретический материал по основным темам курса «Проектирование сельскохозяйственной техники». Приведены методики проектирования, примеры проектирования технических объектов, необходимые справочные материалы.

Для студентов специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.891(075.8)  
ББК 34.41я73

ISBN 978-985-535-435-3

© Попов В. Б., составление, 2020  
© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2020

## Оглавление

<b>Глава 1. Объекты проектирования, основные задачи и методология проектирования</b> .....	7
1.1. Общие сведения о проектируемых объектах. Современное направление в развитии сельскохозяйственной техники.....	7
1.2. Исходные данные для проектирования. Особенности работы сельскохозяйственных машин и предъявляемые к ним требования...	12
1.3. Основы методологии проектирования сельскохозяйственной техники.....	16
1.4. Показатели технико-экономической эффективности повышения надежности машин.....	19
1.5. Ремонтпригодность как одно из важнейших свойств конструкции машины.....	22
1.6. Стадии и этапы разработки конструкторской документации .....	27
1.6.1. Разработка технического задания.....	29
1.6.2. Разработка технического предложения .....	29
1.6.3. Разработка эскизного проекта.....	30
1.6.4. Разработка технического проекта.....	31
1.6.5. Разработка рабочей конструкторской документации .....	32
1.7. Стендовые испытания макетов проектируемого объекта.....	34
1.7.1. Оценка надежности изделия .....	34
1.7.2. Стендовые натурные испытания .....	35
1.7.3. Выбор состава и вида объектов испытаний.....	36
1.8. Алгоритм принятия решений по управлению деятельностью предприятия при постановке на производство объекта проектирования .....	37
<b>Глава 2. Прогнозирование тенденций параметров технических объектов на стадиях проектирования</b> .....	40
2.1. Прогнозирование, разновидности и эшелоны прогнозов .....	40
2.1.1. Разновидности прогнозов.....	40
2.1.2. Эшелоны прогнозов .....	41
2.2. Классификация методов научно-технического прогнозирования.....	43
2.3. Метод прогнозирования на основе построения линии жизненного цикла технических объектов .....	45
2.4. Прогнозирование на основе построения огибающих кривых .....	46
2.5. Прогнозирование функциональных характеристик технических систем на глубину в 20 и более лет .....	47

2.6. Прогнозирование функциональных параметров машин на основе анализа патентной активности.....	48
2.7. Прогнозирование направления развития сельскохозяйственных машин.....	49
<b>Глава 3. Обновление внешних характеристик и оценка производительности сельскохозяйственных машин и агрегатов на проектной стадии .....</b>	<b>51</b>
3.1. Универсальность, комбинирование и агрегатирование сельскохозяйственных машин.....	51
3.2. Анализ возможности агрегатирования сельскохозяйственных машин и универсальных энергетических средств.....	57
3.2.1. Классификация сельскохозяйственных агрегатов по способу соединения.....	57
3.2.2. Анализ соответствия прицепных, сцепных и навесных устройств сельскохозяйственных машин и мобильных энергетических средств.....	59
3.3. Методы обоснования ширины захвата проектируемой сельскохозяйственной машины.....	59
3.3.1. Согласование параметров по качеству работы сельскохозяйственной машины.....	60
3.3.2. Согласование параметров сельскохозяйственной машины с энергетическими характеристиками мобильного энергетического средства.....	62
3.4. Обоснование типоразмеров сельскохозяйственных машин.....	64
3.5. Оценка производительности мобильных машин и агрегатов.....	68
3.5.1. Характеристика производительности сельскохозяйственных машин и агрегатов.....	68
3.5.2. Организация работы сельскохозяйственных машин и агрегатов на уборочно-транспортных и транспортно-распределительных операциях.....	70
3.6. Оценка производительности стационарных машин и агрегатов.....	80
<b>Глава 4. Обеспечение надежности сельскохозяйственных машин при проектировании .....</b>	<b>82</b>
4.1. Управление надежностью сельскохозяйственных машин. Общие понятия теории надежности. Показатели надежности сельскохозяйственных машин.....	82
4.1.1. Управление надежностью сельскохозяйственных машин.....	82

4.1.2. Общие понятия теории надежности .....	83
4.1.3. Показатели надежности сельскохозяйственных машин.....	84
4.2. Критерии отказов и предельных состояний.....	94
4.2.1. Классификация отказов .....	95
4.2.2. Причины отказов технических систем.....	96
4.3. Повышение надежности на стадии разработки конструкции сельскохозяйственной машины и ее составных частей .....	98
4.4. Повышение надежности за счет резервирования .....	101
4.5. Достижение заданного уровня надежности элементов сельскохозяйственной машины расчетными методами.....	104
4.6. Определение требуемой надежности. Прогнозирование уровня надежности экспериментально-расчетными методами.....	106
4.6.1. Проведение расчета характеристик сопротивления усталости при многоцикловом нагружении .....	110
4.7. Экспериментальная оценка уровня надежности машин.....	113
4.7.1. Общие положения и классификация .....	113
4.7.2. Состояние проблемы надежности тракторов и сельскохозяйственных машин .....	114
<b>Глава 5. Обеспечение качества машин при проектировании.....</b>	<b>116</b>
5.1. Номенклатура и показатели качества объектов проектирования .....	116
5.2. Методы оценки уровня качества изделия. Стандарты ISO серии 9000 .....	118
5.2.1. Методы оценки уровня качества изделия .....	119
5.2.2. Стандарты ISO серии 9000 .....	121
5.2.3. Система качества .....	125
5.2.4. Управление качеством.....	126
5.3. Система управления качеством.....	128
<b>Глава 6. Проектирование агрегатов и узлов сельскохозяйственных машин .....</b>	<b>134</b>
6.1. Проектирование механических приводов сельскохозяйственных машин.....	134
6.1.1. Строение машинного агрегата.....	134
6.2. Проектирование гидропривода сельскохозяйственных машин .....	136
6.2.1. Важнейшие характеристики гидропривода .....	136
6.2.2. Преобразование энергии в объемном гидроприводе.....	137
6.2.3. Проектирование объемного гидропривода.....	138

6.2.4. Связь между нагружающей поршень силой и давлением жидкости .....	138
6.3. Автоматизированное проектирование несущих конструкций (рам) сельскохозяйственных машин .....	143
6.3.1 Концепция алгоритма метода конечных элементов .....	143
6.3.2. Общая архитектура системы автоматизированного проектирования, базирующаяся на методе конечных элементов .....	144
6.3.3. Состав и требования к информационному обеспечению ..	144
6.3.4. Функции модуля вычислений .....	145
6.3.5. Функции модуля вывода .....	145
6.3.6. Структура вычислительных комплексов для использования метода конечных элементов.....	146
6.3.7. Программное обеспечение для анализа прочности конструкций по методу конечных элементов .....	146
6.4. Функциональные схемы сельскохозяйственных машин .....	150
6.5. Проектирование и конструирование в среде «КОМПАС».....	152
6.5.1. Разработка чертежей в КОМПАС-ГРАФИК .....	152
6.5.2. Геометрическое моделирование в КОМПАС-3D.....	154
6.5.3. Системы проектирования: КОМПАС-SHAFT Plus и КОМПАС-SPRING .....	156
6.5.4. Формирование спецификаций .....	158
6.6. Доводка сборочных единиц и агрегатов сельскохозяйственной машины на испытательных стендах .....	160
Литература .....	165

# ГЛАВА 1. ОБЪЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ И МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

## 1.1. Общие сведения о проектируемых объектах. Современное направление в развитии сельскохозяйственной техники

При проектировании проектировщик использует и анализирует систему «наука – техника – производство – эксплуатация». Структурная схема конкретного взаимодействия проектировщика и объекта проектирования представлена на рис. 1.1.

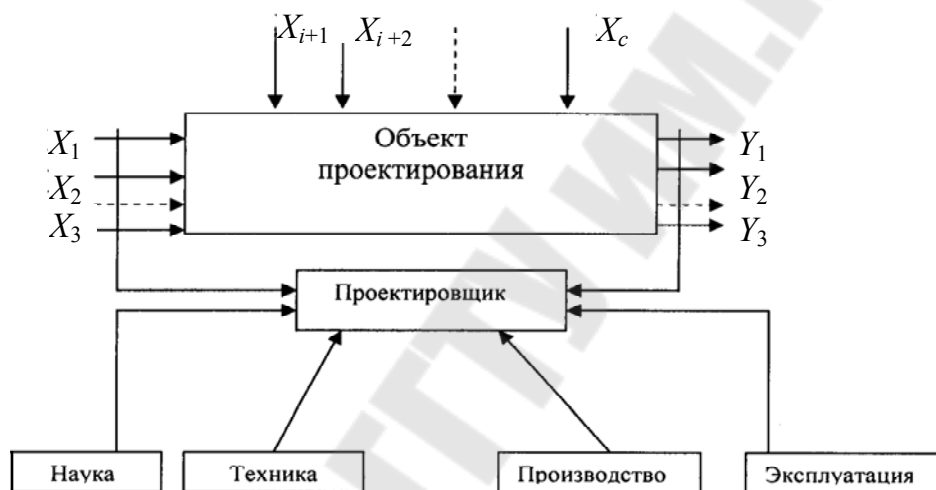


Рис. 1.1. Структурная схема взаимодействия проектировщика и объекта проектирования

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 (показатели назначения, энергоемкость, надежность, эргономика, эстетика и т. д.).

Объектами проектирования в соответствии с дисциплиной «Основы проектирования сельскохозяйственных машин» являются сельскохозяйственные машины (СХМ), 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 средой.

Таким образом, при проектировании создается структура систем. Сложившуюся структуру объектов проектирования целесообразно характеризовать элементами, составляющими ее [4]. В общем случае СХМ 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 необязательно 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) сцепное устройство; 3) рабочие сельскохозяйственные машины.

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

Самоходная СХМ может рассматриваться как разновидность сельскохозяйственных агрегатов. Комплекс машин, как следует из определения, должен состоять из СХМ и сельскохозяйственных агрегатов в количестве и с характеристиками, обеспечивающими выполнение производственных процессов.

Структура, как показано выше, отвечает требованиям на проектирование объектов, поэтому можно привести некоторую классификацию перечисленных объектов.

Подразделяют СХМ: *по назначению* – на почвообрабатывающие; посевные; для ухода за растениями; уборочные и т. д.; *по отношению к мобильным энергетическим средствам* (тракторам, самоходным шасси и т. п.) – на прицепные; навесные; полунавесные; самоходные.

Агрегаты подразделяют: *по энергетическому средству* – на машинно-тракторные; *по наличию сцепного устройства* (сцепки) –



на сцепочные и бесцепочные; по положению рабочей машины относительно энергетического средства – на задние; передние; средние; симметричные; левосторонние; правосторонние и т. д.

Комплексы машин различают по применению в отраслях сельского хозяйства: полеводческие; животноводческие и т. д.

Эффективность техники проявляется в сфере эксплуатации. В специализированной литературе термины процессов, связанных с получением сельскохозяйственной продукции, неупорядочены. Дальнейшее изложение учебного материала требует однозначности в понимании. В связи с этим на основе анализа литературных источников будет использована следующая структура соподчиненных понятий (рис. 1.2).

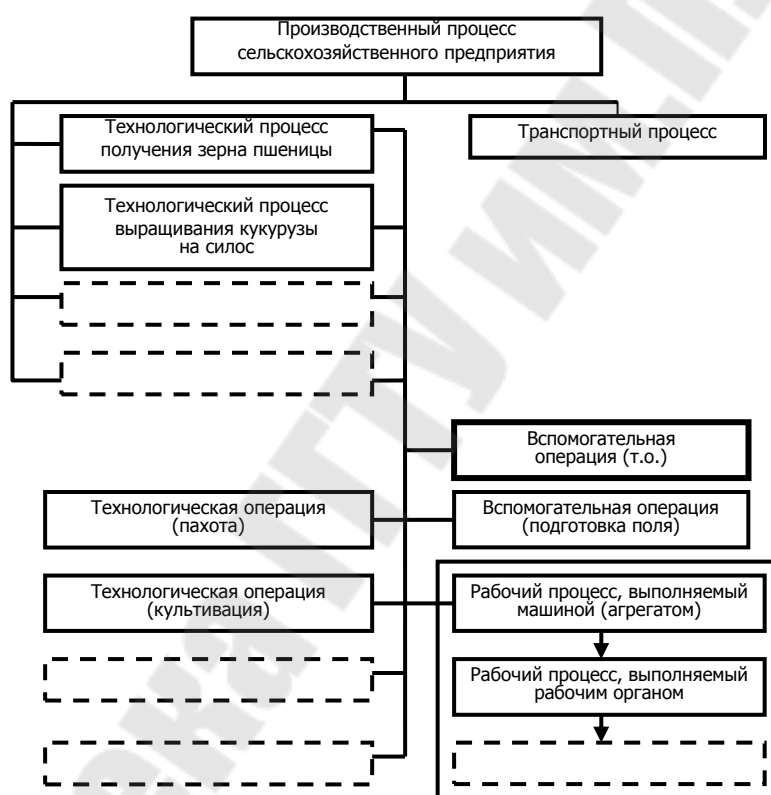


Рис. 1.2. Примерная модель производственного процесса сельскохозяйственного предприятия

На рис. 1.2 показан производственный процесс сельскохозяйственного предприятия, включающий технологические процессы по производству различной сельскохозяйственной продукции. Обычно технологические процессы взаимосвязаны между собой, в том числе едиными техническими средствами, если в процессах встречаются аналогичные технологические операции. Технологические операции сопровождаются изменением технологических свойств обрабатываемых

мых материалов. Под технологическими свойствами в дальнейшем будем понимать часть физико-механических свойств, которыми обладают обрабатываемые сельскохозяйственные материалы и на изменение которых направлено воздействие рабочих органов СХМ. Обычно сельскохозяйственные агрегаты и машины предназначены для механизации технологических операций.

Вспомогательные операции нужны для подготовки техники к работе (сборка, обкатка, техническое обслуживание и т. д.) и объектов обработки к применению машин и агрегатов (разметка полей на загоны, обозначение мест для заправки или разгрузок машин и т. д.), для этого могут разрабатываться сервисные средства. Иногда к проектируемым объектам применяют термин «система».

К началу нового тысячелетия многие конструкторы и технологи пришли к одинаковому выводу – для того чтобы повысить эффективность труда и качество разрабатываемой продукции, необходим переход от работы в смешанной среде двумерной графики и трехмерного моделирования к использованию объемных моделей в качестве основных объектов проектирования. Создатели системы SolidWorks учли все эти требования и дали возможность десяткам тысяч конструкторов использовать на своих персональных рабочих местах новейшие достижения науки в области технологий CAD/CAM.

Компания Unigraphics Solutions имеет уникальную для отрасли степень интеграции между своими продуктами САПР среднего уровня Solid Edge, САПР верхнего уровня Unigraphics и системой введения проекта iMAN. В то время как другие могут предложить только передачу геометрических моделей, Unigraphics обеспечивает сохранение ассоциативности и возможности автоматического обновления деталей и сборок в обоих направлениях. Для того чтобы это стало возможно, они должны иметь общие геометрическое ядро (Parasolid) и системы именованья и идентификации изменения топологии.

Система компании Unigraphics Solutions CAE – это система современных средств трехмерного моделирования, формирования сложных сборок, электронного макетирования, воплощения визуальных проектов в реальное изделие. Она содержит в себе технологию, ориентированную на процессы производства сложных технических объектов (автомобилей, самолетов, зерноуборочных комбайнов и инструментов). Unigraphics предоставляет производителю продукции возможность строить полную цифровую модель будущего изделия, необходимую для проектирования и конструирования, инженерного анализа и изготовления.

КОМПАС-3D – новый и постоянно совершенствующийся модуль известного программного комплекса. Начиная с 1998 г., компания «АСКОН» (на протяжении уже двадцатилетия известная как поставщик чертежно-графического редактора КОМПАС-ГРАФИК и семейства продуктов под маркой «КОМПАС»), выпускает на рынок свою систему твердотельного трехмерного моделирования КОМПАС-3D. Ввиду сравнительно невысокой цены КОМПАС-3D его можно рекомендовать для эксплуатации в комплексе с «тяжелыми» и «средними» САПР (например, с пакетом SolidWorks). Подготовленные в КОМПАС-3D модели деталей можно затем передать в смежную систему для последующей их сборки.

Одним из приоритетных направлений развития техники и науки в Республике Беларусь являются ресурсосберегающие и энергоэффективные технологии в производстве продукции машиностроения, в том числе сельскохозяйственной техники. Повышение ее конкурентоспособности, обеспечение высокого технического уровня, надежности и безопасности во многом связано с развитием следующих научных исследований и прикладных работ:

- разработка и освоение наукоемких технологий, обеспечивающие существенное повышение производительности труда при одновременном сбережении трудовых, материальных и энергетических ресурсов;
- разработка новой перспективной мобильной техники, опирающейся на внедрение электроники, компьютеров и микропроцессов;
- создание и внедрение в производство новых конструкций, в том числе адаптивных материалов;
- комплексная механизация и автоматизация производства, основанная на использовании автоматизированного проектирования и гибкого управления производственными процессами;
- создание и освоение новых источников энергии, в том числе нетрадиционных;
- разработка и реализация биотехнологий для получения экологического чистого топлива.

В числе основных задач при проектировании перспективной сельскохозяйственной техники рассматриваются: компьютерные модели, позволяющие осуществлять имитационное моделирование и испытание узлов агрегатов и машин, которые способствуют определению (выбору) их оптимальных характеристик; разработка типа размерного ряда, унифицированных бортовых электронных модулей,

электрических гидравлических исполнительных механизмов для сельскохозяйственной техники; нетрадиционные (альтернативные) ресурсосберегающие источники энергии, в том числе для пневмоколесных и гусеничных машин; создание гидрообъемных и электрических вариаторов для трансмиссий сельскохозяйственной техники; САПР конструкций и интеллектуально-организованных автоматизированных систем управления производством; манипуляторы и промышленные роботы, программируемые и быстро приспособляющиеся к изменяющимся условиям эксплуатации; система оперативного диагностирования (без разборки) приводов, гидросистем и несущих конструкций сельскохозяйственной техники; аналитическое оборудование и приборы контроля качества и сертификации продукции, в том числе машиностроительные; система управления и контроля работы машин с применением спутниковых систем. В области освоения прогрессивных технологий заслуживают внимание: основы получения наноструктурных материалов для силовых элементов конструкции; технологии материалов с новыми свойствами, обеспечивающие создание микро- и нанoeлектронных систем и устройств; плазменные технологии для производства высококачественной стали специальных сплавов; получение редких металлов и химического сырья; новые высокоэффективные технологии обработки металлических материалов с использованием импульсных нагрузок и сверхвысоких давлений.

## **1.2. Исходные данные для проектирования. Особенности работы сельскохозяйственных машин и предъявляемые к ним требования**

Для решения задач при проектировании требуется большой объем сведений об элементах системы «наука – техника – производство – эксплуатация», влияющих на объект проектирования, а также значительный объем информации, определяющий условия, место, заданные агротехнические требования и ограничения на его функционирование. Причем количество информации и ее характер зависят от многих обстоятельств: назначения проектируемой машины; наличия аналогов; степени изученности отдельных вопросов и т. д.

Информацию в каждом отдельном случае необходимо подбирать дифференцированно в зависимости от назначения проектируемой машины и решаемых задач при проектировании.

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].

Большое количество современных научных коллективов приняли участие в разработке отдельных СХМ для растениеводства, животноводства, мелиорации и лесного хозяйства.

В России широко известны научные коллективы институтов РАСХН: ВИМ, СибИМЭ, СЗНИИСЭСХ и других вузов; ОАО «ВИСХОМ», ОАО «ВНИИКОМЖ» и других организаций; высших учебных заведений Российской Федерации – ДГТУ, ЧГАУ, Московского ГАУ им. В. П. Горячкина и др.

В НТЦК ОАО «Гомсельмаш» проводят исследования, приоритетные для регионального и республиканского уровней: разработку новых технологий и оборудования для создания полноценной кормовой базы – изыскание нетрадиционных технологий и технических средств для производства кормового белка и сбалансированных кормов; обоснование новых технологических принципов обмолота и сепарации, обеспечивающих разработку молотильных аппаратов, сепараторов соломистого и мелкого зернового вороха применительно к современным зернокомбайнам и стационарным комплексам; создание теории системной сепарации, параметрический и структурный синтез машин и агрегатов для поточной очистки зерновых культур, позволившие обосновать и разработать серию новых машин и зерноочистительных агрегатов; разработки по управлению качеством продукции на всех стадиях ее создания, базирующиеся на использовании методов системного анализа и синтеза; обеспечение надежности конструкций сельскохозяйственных машин, биотехнических систем «человек – машина – животное».

Характерным для большинства уборочных процессов является сезонность их выполнения, а также большая изменчивость свойств обрабатываемых материалов. Кроме того, уборочные процессы следует проводить в жесткие агротехнические сроки. Все это оказывает значительное влияние на характер протекания процессов и предъявляет специфические требования к средствам, необходимым для их

выполнения. Многие СХМ не имеют конкретных показателей и строгих критериев качества работы. Очень часто машинами управляют «на глазок», на слух. Поэтому качество уборки во многом зависит от квалификации и опыта обслуживающего персонала. Это вызывает большую напряженность труда, особенно при переходе на повышенные рабочие скорости, когда человек уже не в состоянии длительное время качественно следить за работой агрегата и управлять им. Эффективность хозяйственной эксплуатации уборочных машин в связи с этим значительно снижается.

Уборочные СХМ являются наиболее сложными агрегатами, выполняющими большое число операций (скашивание наземных культур, извлечение из почвы корнеклубнеплодов, снятие с растений плодов, ягод, овощей и других продуктов, а также транспортировка, сепарация, обработка и частичная переработка продуктов уборки.

Эффективность уборочной техники обычно оценивается количеством убранной в единицу времени продукции и ее качеством, а производительность уборочного агрегата в основном определяется пропускной способностью, шириной захвата, скоростью движения. В зависимости от условий уборки производительность уборочных машин необходимо менять в процессе работы, изменяя скорость движения, ширину захвата и в некоторых случаях – пропускную способность. Для этого уборочные машины должны иметь специальные средства, чтобы можно было осуществлять соответствующие регулировки.

Качество уборки определяется такими показателями, как высота среза, степень выделения убираемого продукта из сопутствующего материала, степень измельчения массы, полнота извлечения корнеклубнеплодов из почвы при допустимом их повреждении, полнота съема хлопка, чайного листа, овощей, плодов и ягод и др. Чтобы поддерживать требуемые значения показателей качества, уборочные машины также должны иметь соответствующие регулирующие органы.

Во время работы уборочные машины непрерывно испытывают со стороны обрабатываемых сред и материалов внешние воздействия, нарушающие внутренние технологические операции. Это оказывает существенное влияние на эффективность выполняемого процесса.

К внешним воздействиям, которые, как правило, носят случайный характер, можно отнести: неровности рельефа поля и рядков убираемых культур, неравномерность урожайности культур по длине гона, засоренность, различие по влажности и другим физико-механическим

свойствам убираемых культур и т. д. Учет этих воздействий и соответствующая реакция на них не могут быть запрограммированы. Поэтому требуемая эффективность уборочной машины может быть достигнута благодаря ее приспособливанию к переменным условиям уборки, а также за счет соответствующих настроек и регулировок рабочих органов и механизмов.

Внутренние нарушения технологических операций не только ухудшают качество выполняемого процесса, но вызывают забивания и поломки рабочих и транспортирующих органов и механизмов привода. Внутренние нарушения могут возникать также из-за несоответствия конструктивных параметров рабочих органов машины технологическим требованиям или из-за недостаточной их надежности.

Стремление более полно удовлетворить технологические требования привело к значительному усложнению уборочных машин, введению большого числа тонких регулировок, что требует от обслуживающего персонала повышенного внимания, высокой квалификации и большого опыта работы. Поэтому большинство уборочных машин работает с существенным недоиспользованием их проектных возможностей по производительности и качеству уборки.

Дальнейшее совершенствование конструкций серийных уборочных машин, изыскание новых рабочих органов и технологических процессов, увеличение энергонасыщенности СХМ, повышение их производительности благодаря увеличению пропускной способности, ширины захвата и скорости движения, улучшение комфортабельности, гигиены труда и техники безопасности обслуживающего персонала и некоторые другие мероприятия позволят в ближайшие годы оснастить сельское хозяйство более совершенной уборочной техникой. Однако, как показывает опыт, наиболее эффективно использовать эту технику можно только при условии автоматизации основных технологических операций или целых процессов, выполняемых уборочными машинами. Практикой последних лет доказано, что даже простейшие средства автоматизации позволяют существенно снизить затраты труда и его напряженность вследствие сокращения ручных операций по управлению машиной, а также более объективно оценивать технологические изменения в работе машины и своевременно их ликвидировать и тем самым повысить производительность и качество уборочных работ.

### 1.3. Основы методологии проектирования сельскохозяйственной техники

Диалектико-материалистическая теория познания вскрыла природу знания, обосновывая ее посредством принципа отражения. Знание представляет собой адекватное отражение действительности в сознании человека, проверенное общественно-исторической практикой и удостоверяемое логикой. Знание не дано изначально, а приобретает человек в ходе жизни в обществе, является результатом познания, которое можно определить как процесс обогащения новым знанием. Исследователь стремится к познанию мира – предметов, явлений, закономерностей их развития, взаимосвязей между ними, причин и следствий таких связей для получения объективных сведений о действительности и пользуется при этом научными методами.

**Метод** – совокупность приемов и операций практического и теоретического освоения действительности. Основное содержание методов науки составляют, прежде всего, научные теории, проверенные практикой. Развитие и дифференциация методов мышления в ходе развития познания привели к учению о методах – методологии.

**Эмпирические знания** характеризуют непосредственно объект и выводятся в основном из опыта (наблюдений, эксперимента) путем некоторой рациональной обработки. Примером служат численные результаты эксперимента, обработанные методом математической статистики и представленные в виде математических моделей так называемых эмпирических уравнений или формул.

**Теоретические знания** всесторонне характеризуют объективную реальность в ее существенных связях и закономерностях и связаны с совершенствованием и развитием аналитического аппарата науки. Эти значения могут быть получены и в относительной независимости от опыта, например, посредством введения гипотетических допущений или теоретических моделей.

Эмпирические и теоретические уровни познания тесно связаны между собой, так как теоретические построения возникают на основе обобщения имеющихся знаний, в том числе и полученных из наблюдений, экспериментов, и, в свою очередь, ориентируют эмпирическое исследование. Развитие познания предполагает непрерывное взаимодействие опыта и теории. Однако конечной целью научного познания является не эксперимент, а теория. Степень развития науки определяется не столько количеством добытых эмпирических знаний, сколько полнотой и достоверностью выдвинутых и достаточно обоснованных теорий.



Отсутствие возможностей воздействовать на изучаемый объект при наблюдении привело к тому, что основным методом эмпирического познания стал эксперимент.

**Эксперимент** – это метод познания, при помощи которого в контролируемых и управляемых условиях исследуются явления действительности. Слово «эксперимент» происходит от латинского *experimentum* – «проба», «опыт». Эксперимент, как и производственная деятельность людей составляет основной элемент практики, познания реальной деятельности. Понятие «эксперимент» означает научно поставленный опыт или пробу, когда исследователь осуществляет проведение искусственно вызванного им явления в точно учитываемых условиях, позволяющих следить за его развитием, управлять им, воссоздавать его каждый раз при сохранении тех же условий. Различают физический и математический эксперименты.

**Физический эксперимент** может быть лабораторным или производственным в зависимости от того, выполняется он на лабораторном оборудовании или на промышленной машине или агрегате при их промышленной эксплуатации.

Когда в связи с особыми свойствами объекта исследования непосредственное его изучение затруднено, прибегают к моделированию. Моделирование – это метод исследования объектов познания на их моделях, которые являются аналогами (заместителями) оригинала в познании и практике.

**Математический эксперимент** проводят на математических моделях, описывающих какие-либо физические объекты или процессы. Физические и математические эксперименты дополняют друг друга, делают процесс получения информации об объекте исследования менее трудоемким и более экономичным.

Одновременно с проведением либо после окончания наблюдения или эксперимента исследователь в качестве орудия познания привлекает мышление. Основными видами мыслительной деятельности при выполнении исследований и обсуждении их результатов являются анализ и синтез.

**Анализ** есть мысленное разложение предмета или явления на составляющие его части или стороны, более простые, с целью их глубокого изучения. Так, анализ процесса сепарации сыпучих материалов на решетчатых сепараторах по размерам включает следующие процессы: относительные перемещения по решетку; процесс самосортирования (опускания в слое приходящих компонентов); процесс ориентации при-

ходных компонентов относительно отверстий решета и его проход. Следовательно, для управления процессом с целью повышения эффективности сепарации необходимо изучать каждый из этих процессов.

**Синтез** – мысленное объединение расчлененных анализом элементов. После изучения каждого из процессов, указанных в вышеприведенном примере, осуществляется их синтез, соединение этих процессов, устанавливается их взаимное влияние и получается общее, более полное представление о наблюдаемом процессе.

В зависимости от соотношения эмпирического и теоретического уровней назначения при изучении предметов, явлений различают два основных метода познания: дедуктивный и индуктивный.

**Дедукция** есть процесс аналитического рассуждения от общего к частному или менее общему. Наиболее характерным видом дедукции является аксиоматический метод, при котором основные утверждения выводятся логически путем на базе одной или нескольких аксиом, принятых исходных положений или постулатов.

**Индукция** – это процесс выведения общего положения из наблюдения ряда единичных величин. Индуктивный метод может быть представлен в виде следующих основных его элементов:

- 1) восприятие явления путем наблюдения или эксперимента;
- 2) построение на основе обсуждения имеющихся данных рабочей гипотезы, механизма явления, процесса, которые разъясняют все частные известные явления;
- 3) построение математической теории, гипотезы или математического описания механизма процесса в целом;
- 4) проверка теории на практике, которая служит критерием истинности разработанной теории.

Одним из этапов исследования является разработка гипотезы.

**Гипотеза** – это научное допущение или предложение, истинное значение которого не определено. Задача гипотезы – раскрыть те объективные связи и соотношения, которые могут быть главными для изучаемого явления. После проверки гипотеза превращается либо в достоверную теорию, либо в достоверное значение определенного факта. При решении инженерных задач гипотеза используется как формулировка, или предложение возможного пути поиска. Следовательно, любой инженерный эксперимент должен выполняться только при наличии первоначальной гипотезы. В ряде случаев выдвижение гипотезы происходит через интуицию.

**Интуиция** – способность постижения истины путем прямого ее усмотрения без обоснования с помощью доказательств. Она пред-

ставляет собой своеобразный тип мышления, когда отдельные звенья процесса мышления проносятся более или менее бессознательно, а предельно ясно осознается именно итог мысли – истина. Интуиции бывает достаточно для усмотрения истины, но ее недостаточно, чтобы убедить в этой истине других и самого себя. Для этого необходимо доказательство. Интуиция возможна, как правило, лишь при наличии определенных знаний и большого опыта теоретического и практического мышления.

При обсуждении результатов экспериментов, выдвижении гипотез в процессе мышления у исследователя возникают идеи.

**Идея** – это мысль, которая, достигая высокой степени объективности, полноты и конкретности, в то же время нацелена на практическую реализацию. Идея – это отражение действительности и целевого устремления. Генерация идей должна быть неотъемлемой особенностью деятельности и мышления исследователя, так как без новых идей невозможно дальнейшее развитие науки и техники.

**Научно-техническая деятельность** – деятельность, направленная на получение, применение новых знаний для решения технических, инженерных, экономических, социальных, гуманитарных и иных проблем, обеспечения функционирования науки, техники и производства как единой системы.

**Экспериментальные разработки** – деятельность, которая основана на знаниях, приобретенных в результате проведения научных исследований, или на применении практического опыта, и направлена на сохранение жизни и здоровья человека, создание новых материалов, продуктов, процессов, устройств, услуг, систем или методов и их дальнейшее совершенствование.

#### **1.4. Показатели технико-экономической эффективности повышения надежности машин**

Важным параметром оценки качества машин является *оценка эффективного срока службы*, под которым понимается продолжительность работы в средних условиях эксплуатации, после которого затраты средств на восстановление работоспособности машин настолько возрастают, а производительность их настолько снижается, что дальнейшее восстановление и эксплуатация экономически нецелесообразны.

С увеличением срока службы машины эксплуатационные расходы возрастают, а степень их возрастания зависит от организации и ка-

чества технического обслуживания и ремонта машины. Главной причиной увеличения расходов на техническое обслуживание и ремонт машин является возрастание количества запасных и восстанавливаемых деталей, необходимых для замены изношенных. В настоящее время на ремонт машин расходуется металла в несколько раз больше, чем на изготовление новых, а стоимость ремонтов за срок службы в несколько раз превышает стоимость новой машины.

Экономически целесообразный срок эксплуатации машины аналитически может быть установлен путем определения себестоимости продукции с учетом интенсивности нарастания расходов на техническое обслуживание и ремонты машины. Однако экономически целесообразный срок службы машины может быть значительно увеличен путем повышения их *надежности* за счет улучшения узлов и деталей, использования более надежных комплектующих элементов, автоматизации управления, регулирования и контроля за работой механизмов и рабочих органов, совершенствования условий эксплуатации, но это решается на основе технико-экономических сопоставлений.

Экономическую эффективность сопоставляемых способов повышения надежности определяют сравнением основных стоимостных и натуральных показателей.

Повышение уровня надежности сопряжено с повышением себестоимости машины, так как это связано с дополнительными расходами на проведение необходимых мероприятий. С другой стороны, эксплуатация более надежных машин обходится дешевле за счет сокращения затрат на ремонты и сокращения простоев по причинам отказов.

При определении экономически эффективного срока службы машины следует учитывать ее *моральный износ*. Под моральным износом машины понимается срок службы, после которого конструкция машины технически и экономически неэффективна по сравнению с вновь выпускаемыми машинами для выполнения данных работ. При современном техническом прогрессе в машиностроении моральный износ часто опережает технический износ машины, что приводит к уменьшению срока ее службы и замене эксплуатируемой машины новой, более производительной и экономичной. Замена морально устаревшей машины, или ее модернизация производится с учетом как затрат на приобретение новой машины, так и того экономического эффекта, который может быть получен при ее эксплуатации.

Экономический метод анализа основывается на том, что затраты на изготовление и затраты на эксплуатацию машины или оборудования разделяют по их экономическим элементам и в зависимости

от величины поэлементных затрат выбирают соответствующие основные показатели качества. Это позволяет также определять весомость отдельных показателей при оценке технического уровня качества. Выбор основных показателей качества на основе анализа затрат осуществляется на базе анализа себестоимости машин (оборудования) и себестоимости производимой продукции.

*Себестоимость изготовления* машины можно представить в виде формулы

$$\sum_{i=1}^n K_i = K_1 + K_2 + \dots + K_n,$$

где  $i = 1, 2, 3, \dots; n$  – количество укрупненных поэлементных экономических показателей;  $K_1$  – затраты на основные и вспомогательные материалы (включая полуфабрикаты и комплектующие изделия);  $K_2$  – затраты на заработную плату и социальные отчисления;  $K_3$  – затраты на энергию;  $K_4$  – затраты на содержание и обслуживание заводского оборудования;  $K_5$  – общезаводские затраты на освоение производства;  $K_6$  – внепроизводственные затраты;  $K_n$  – другие затраты на изготовление, не учтенные в предыдущих.

*Себестоимость эксплуатации* или суммарные затраты на эксплуатацию машины (единицы оборудования) за весь срок службы определяются как сумма:

$$\sum_{i=1}^m C_i = C_1 + C_2 + \dots + C_m,$$

где  $C_1$  – расходы на заработную плату и социальные отчисления;  $C_2$  – затраты на электроэнергию, топливо, сжатый воздух и т. п.;  $C_3$  – затраты на гидрожидкость, смазочные, обтирочные и другие материалы;  $C_4$  – расходы на техническое обслуживание и на все виды ремонтов (кроме капитального);  $C_5$  – отчисления в фонд амортизации, определяемые в соответствии с действующими нормами;  $C_6$  – косвенные затраты или потери из-за непредвиденных простоев;  $C_m$  – все остальные затраты на эксплуатацию, не учтенные в предыдущих.

Определив средние значения суммарных и поэлементных затрат на изготовление и эксплуатацию, можно вычислить коэффициенты весомости всех поэлементных затрат.

Коэффициенты весомости каждого вида поэлементных затрат  $C$  определяют по формулам:

$$k_{i_k} = \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n K_i + \sum_{i=1}^m C_i}; \quad k_{i_{\text{Э}}} = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^n K_i + \sum_{i=1}^m C_i},$$

где  $k_{i_k}$  и  $k_{i_{\text{Э}}}$  – коэффициенты поэлементных затрат, соответственно, при изготовлении и эксплуатации.

### 1.5. Ремонтпригодность как одно из важнейших свойств конструкции машины

Большинство современных машин с длительным сроком службы являются восстанавливаемыми, т. е. возникшие при эксплуатации дефекты (препятствующие нормальному выполнению обусловленных конструкцией функций) могут быть устранены средствами ремонта.

Работы, осуществляемые в процессе эксплуатации машин по поддержанию и восстановлению работоспособности, характеризуются значительными затратами труда, материальных и денежных средств. Как правило, эти затраты во время эксплуатации машины значительно превышают затраты на ее изготовление. Например, затраты на техническое обслуживание и ремонт тракторов типа ДТ-75 за 8 лет их эксплуатации в 4–5 раз превышают затраты на их изготовление.

Необходимо также иметь в виду, что обслуживание и ремонт СХМ, осуществляемые в профилактическом или аварийном порядке, сопровождаются их простоем, нанося экономический ущерб предприятию.

Современное состояние науки и техники не позволяет при приемлемых затратах на проектирование и производство создавать конструкции СХМ, которые бы не требовали обслуживания и ремонта в эксплуатации. Кроме того, не исключена возможность аварий, при которых возможны повреждения, и для их устранения необходимы ремонтные работы. Следовательно, одно из основных требований к машине – ремонтпригодность.

**Ремонтпригодность** – свойство объекта, заключающееся в приспособлении к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

В соответствии с практикой эксплуатации СХМ совокупность работ по поддержанию и восстановлению их работоспособности де-

лится на техническое обслуживание (ТО) и ремонт (Р). Подразделяются ТО и Р следующим образом: профилактические, осуществляемые в плановом порядке, и аварийные, проводимые по мере возникновения отказов или аварийных состояний.

Свойство ремонтпригодности СХМ влияет на величину затрат труда, материальных и денежных средств в процессе эксплуатации и на длительность простоев в связи с обслуживанием и ремонтом.

Ремонтпригодность тесно связана с другими свойствами: *безотказностью* и *долговечностью*.

В общем случае ремонтпригодность представляет собой одно из свойств конструкций машин, характеризующих их качества.

Свойство ремонтпригодности закладывается и обеспечивается, как и другие свойства СХМ, при их проектировании и изготовлении. Проявляется это свойство в конкретных условиях использования СХМ, т. е. при воздействии определенного сочетания климатических факторов, организационно-технических условий обслуживания и ремонта и др.

Характеристики ремонтпригодности являются функцией конструктивных и эксплуатационных факторов, которые могут изменяться в определенных границах. Следовательно, свойством ремонтпригодности можно управлять. Отсюда следует, что количественные значения показателей ремонтпригодности могут устанавливаться, обеспечиваться и оцениваться при проектировании, изготовлении и эксплуатации машин.

### **Основные показатели ремонтпригодности**

Основные показатели ремонтпригодности должны задаваться в техническом задании на проектирование СХМ и оцениваться при разработке конструкции и их изготовлении, в процессе их испытаний и эксплуатации.

К числу показателей собственно ремонтпригодности относятся:

- оперативные показатели: среднее время восстановления; вероятность восстановления в заданное время;
- экономические показатели: средние и удельные затраты труда и денежных средств на техническое обслуживание и ремонт;
- комплексные показатели надежности: коэффициент готовности; коэффициент технического использования.

Под *средним временем восстановления*  $T_v$  СХМ понимают математическое ожидание времени восстановления работоспособности:

$$T_B = M[t_B] = \int_{t_1}^{t_2} t f_B(t) dt, \quad (1.1)$$

где  $M[t]$  – математическое ожидания времени восстановления работоспособности;  $f_B(t)$  – плотность вероятности распределения времени восстановления в интервале времени  $t_1-t_2$ .

При оценке среднего времени восстановления по статистическим данным  $T_B^*$ , полученным в результате испытаний или эксплуатации и условии нормального закона плотности вероятности  $f_B(t)$ , этот показатель находим из выражения

$$T_B^* = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_{Bi}, \quad (1.2)$$

где  $t_{Bi}$  – время восстановления  $i$ -го отказа;  $m$  – количество отказов, наблюдаемых в процессе испытаний или эксплуатации.

Значительно большей информативностью о свойствах конструкции обладает другой показатель ремонтпригодности – *вероятность восстановления машины в заданное время*  $P_B(t)$ , определяется из соотношения

$$P_B(t) = \text{вероятность} \{t_B \leq t\},$$

где  $t$  – заданное время восстановления.

Этот показатель характеризует вероятность того, что возникший отказ будет обнаружен и устранен за время, не превышающее время  $t$ .

Он определяется из выражения

$$P_B(t) = \int_0^t f_B(t) dt, \quad (1.3)$$

где  $f_B(t)$  – плотность вероятности времени восстановления.

Статистическое значение вероятности восстановления определяется из выражения

$$P_B^*(t) = 1 - \frac{n_B(t + \Delta t)}{N_B(t + \Delta t)}, \quad (1.4)$$

где  $n_B$  – число устройств, не восстановленных за промежуток времени от  $t$  до  $(t + \Delta t)$ ;  $N_B$  – общее число устройств, подлежащих восстановлению за этот же период времени.



Для оценки *оперативной стороны ремонтпригодности*, кроме приведенных показателей, используются *комплексные показатели*.

Наиболее широкое распространение среди них получили коэффициент готовности и коэффициент технического использования.

*Коэффициент готовности*  $K_r$  представляет собой вероятность того, что изделие будет работоспособно в произвольно выбранный момент времени, кроме периодов времени выполнения планового технического обслуживания:

$$K_r = \frac{T_o}{T_o + T_b}, \quad (1.5)$$

где  $T_o$  – наработка на отказ.

Вид этой характеристики показывает, что надежность машины является функцией не только ее безотказности, но и ремонтпригодности:

$$T_o = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{n_m} t_i,$$

где  $n_m$  – число изделий (машин);  $m$  – количество отказов этих изделий;  $t_i$  – наработка  $i$ -го изделия между отказами.

*Коэффициент технического использования*  $K_{и}$  определяют отношением средней наработки машин  $T$  (в единицах времени) до контрольного ремонта, между капитальными ремонтами, до списания, или за период испытаний к сумме, состоящей из этой наработки, времени, затраченного на техническое обслуживание  $T_{т.о}$  и времени, использованного при устранении отказов и неисправностей  $T_b$ , за тот же период:

$$K_{и} = \frac{T}{T + T_{т.о} + T_b}. \quad (1.6)$$

К числу *экономических показателей* ремонтпригодности, являющимися комплексными, относятся: средние затраты денежных средств на техническое обслуживание и ремонты  $C_{т.о.р}$ ; средние затраты труда на техническое обслуживание и ремонты  $T_{т.т.о}$ ; суммарные затраты денежных средств на техническое обслуживание и ремонт  $C_{\Sigma}$ .

СХМ на стадиях проектирования и разработки КД с позиций ремонтпригодности целесообразно характеризовать *показателями технологичности* при ТО и Р. Они характеризуют общее совершенство

конструкции машины с точки зрения ее приспособленности к ремонту и техническому обслуживанию):

– коэффициент доступности  $K_d$ :

$$K_d = \frac{T_{oc}}{T_{oc} + T_{bc}}, \quad (1.7)$$

где  $T_{oc}$  – основная трудоемкость, ч, выполнения операций технического обслуживания (ремонта);  $T_{bc}$  – время вспомогательной трудоемкости, связанное с выполнением работ (например, снятие щитков, трубопроводов и других сборочных единиц, мешающих демонтажу заменяемой сборочной единицы, их монтаж после замены, смена инструмента, приспособлений для работы и др.);

– коэффициент взаимозаменяемости  $K_{вз}$ :

$$K_{вз} = \frac{T_{оп}}{T_{оп} + \sum T_{п.р.с}}, \quad (1.8)$$

где  $T_{оп}$  – оперативная трудоемкость замены сборочной единицы или детали без учета трудоемкости  $\sum T_{п.р.с}$  пригоночных, регулировочных и селективных работ:

$$T_{оп} = T_{oc} + T_{bc};$$

– коэффициент легкосъемности  $K_l$ :

$$K_l = \frac{T_{оп.п}}{T_{оп}}, \quad (1.9)$$

где  $T_{оп.п}$  – оперативная трудоемкость демонтажно-монтажных работ на прототипе объекта проектирования.

*Коэффициент унификации*  $K_y$  показывает, какая часть из использованных в изделии деталей является унифицированной, и определяется как отношение количества унифицированных деталей и сборочных единиц  $N_y$  рассматриваемой конструкции к общему количеству деталей и сборочных единиц  $N_{об}$  в машине:

$$K_y = \frac{N_y}{N_{об}}.$$

*Коэффициент применяемости конструктивных элементов*  $K_{пр}$  представляет собой отношение количества наименований типоразме-

ров стандартизированных  $N_c$ , нормализованных  $N_n$ , покупных  $N_p$  и заимствованных  $N_z$  сборочных единиц и деталей к общему количеству  $N_o$  наименований сборочных единиц и деталей, применяемых при изготовлении изделий:

$$K_{пр} = \frac{N_c + N_n + N_z + N_p}{N_o}. \quad (1.10)$$

*Коэффициент конструктивной преемственности  $K_{к.пр}$ :*

$$K_{к.пр} = \frac{N_p}{N_{об}}, \quad (1.11)$$

где  $N_p$  – количество наименований ранее освоенных сборочных единиц и деталей.

При оценке коэффициентов применяемости  $K_{пр}$ , унификации  $K_y$  и конструкции преемственности  $K_{к.пр}$  из расчетов исключаются стандартизированные крепежные детали (болты, гайки, шайбы и др.).

*Заимствованные и нормализованные* сборочные единицы комплексного изделия подсчитываются по количеству входящих в них деталей; *покупные сборочные единицы* (комплектующие изделия и элементы) – по собранным единицам в целом.

Коэффициент применяемости  $K_{пр}$  вместе с коэффициентами унификации  $K_y$  и конструктивной преемственности  $K_{к.пр}$  являются важнейшими показателями уровня стандартизации.

## **1.6. Стадии и этапы разработки конструкторской документации**

С точки зрения содержания решаемых задач процесс проектирования объекта можно разбить на следующие этапы:

1. *Системотехническое проектирование*, при котором выбираются и формулируются цели проектирования, обосновываются исходные данные и определяются принципы построения объекта. При этом формируется структура проектируемого объекта, его составных частей, определяются энергетические и информационные связи между составными частями. В результате формулируются частные ТЗ на проектирование отдельных составных частей объекта.

2. *Функциональное проектирование* применительно к конструированию уборочной техники имеет целью компьютерное (имитационное, математическое) моделирование составных частей объекта или системы (комплексов, устройств, узлов). При этом выбирают элементную базу, принципиальные схемы и оптимизируют параметры (осуществляют структурный и параметрический синтез схем) с точки зрения обеспечения наилучшего функционирования и эффективного производства.

3. *Конструирование*, которое решает задачи компоновки и размещения деталей и узлов, осуществления приводных соединений для узлов и машинных агрегатов, а также задачи устойчивости, прочности и жесткости конструкции, ее защиты от внешних воздействий и т. п.

На этом этапе проектирования разрабатывают техническую документацию, необходимую для изготовления и эксплуатации мобильных СХМ. Стадии и этапы разработки конструкторской документации проводят по правилам, установленным соответствующими стандартами (ГОСТ 2.103–68) (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Стадии и этапы разработки конструкторской документации

### ***1.6.1. Разработка технического задания***

Важнейшим исходным документом, определяющим технико-экономический уровень качества разрабатываемого изделия, целенаправленность процесса его разработки и народно-хозяйственную эффективность, является техническое задание (ТЗ).

Разрабатывают ТЗ 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, изучения патентных материалов (см. гл. 2).

В ТЗ включают, как правило, прогнозируемые показатели технико-экономического уровня качества изделия, в том числе уровня стандартизации и унификации, с учетом наиболее полного удовлетворения заказчика и возможного экспорта проектируемого объекта. Включаемый в ТЗ комплекс требований не должен однако ограничивать инициативу разработчика при поиске и выборе оптимального решения технической задачи.

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

### ***1.6.2. Разработка технического предложения***

Техническое предложение (ТП) разрабатывают в случае, если это предусмотрено ТЗ и в нем не содержатся исходные данные однозначного определения, наиболее рациональные принципиальные технические решения. Содержит ТП 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.

Перечень основных работ на стадии ТП: выявление вариантов возможных решений; установление особенностей вариантов (принципов действия, компоновки различных составных частей и т. п.); проверка вариантов на патентную чистоту и конкурентоспособность; оформление заявки на изобретения; сравнительная оценка рассматриваемых вариантов; сравнение по показателям качества изделия (например, надежности, экономичности, эстетические и эргономические характеристики).

Если при сравнении необходимо проверить принцип работы различных вариантов изделия, то могут быть изготовлены макеты; выбор рационального варианта (вариантов) изделия, обоснование выбора; установление требований к последующим стадиям разработки. Документам ТП присваивается литер **П**.

Чертеж общего вида технического предложения содержит: изображение вариантов изделия, текстовую часть и подписи, необходимые для сопоставления вариантов; наименование и обозначения составных частей изделия, для которых указывают технические характеристики, количество и др. (например, движение колеса и т. п.); размеры и другие данные (по необходимости); схему, если она требуется; техническую характеристику изделия, если это необходимо для сопоставления вариантов.

### ***1.6.3. Разработка эскизного проекта***

Эскизный проект (ЭП) 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: выполнение различных вариантов возможных решений конструкции изделия; предварительное решение вариантов упаковки и транспортировки изделия; обеспечение показателей надежности; оценку изделия на технологичность, унификацию, стандартизацию, эргономику, техническую эстетику; проверку на патентную чистоту; сравнительную оценку вариантов.

Сравнение проводят по показателям **качества** изделия (назначения, надежности, технологичности, стандартизации, унификации, экономические, эстетические и эргономические показатели), выбор рационального варианта, обоснование выбора.

Документам ЭП присваивается литер **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: изображение изделия (виды, разрезы, сечения);

текстовую часть и надписи, необходимые для понимания конструктивного устройства изделия; наименование, обозначения и техническую характеристику составных частей изделия, для которых необходимо указать данные (двигатель, электропривод, гидродвигатель и т. д.); размеры; схему, если она требуется, но оформлять ее отдельным документом нецелесообразно; техническую характеристику.

#### ***1.6.4. Разработка технического проекта***

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: разработку конструктивных решений изделия и его основных составных частей; технико-экономическое обоснование; выполнение необходимых схем; обеспечение надежности, ремонтпригодности, эстетики, эргономики; анализ конструкции изделия на технологичность с учетом согласования с предприятием-изготовителем; разработку, изготовление и испытание макетов; оценку возможности транспортирования, хранения и монтаж изделия на месте применения; проверку на патентную чистоту; выявление номенклатуры покупных изделий, согласование применения покупных изделий.

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

Чертеж общего вида (ВО) технического проекта по ГОСТ 2.119–73 содержит: указания о выбранных посадках изделий; технические требования к изделию, например, о применении покрытий, методы сварки и т. д.; технические характеристики изделия, необходимые для последующей разработки рабочих частей.

В пояснительной записке к ТП, наряду с подробным описанием конструкции и принципа ее 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 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.

### **1.6.5. 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 производства изделий со стабильными качественными характеристиками. В общем виде предусмотрено три стадии разработки рабочей КД при подготовке серийного и массового производства.

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 литеры **О**;

г) приемочные испытания опытного образца изделия;

д) корректировку конструкторских документов по результатам приемочных испытаний опытного образца с присвоением литеры **О<sub>1</sub>**.

При последующих повторных изготовлении и испытаниях опытного образца и соответствующей корректировке технической документации им присваиваются литеры **О<sub>2</sub>**, **О<sub>3</sub>** и т. д.

2. Стадия разработки рабочей КД установочной серии изделий включает:

а) изготовление и испытание установочной серии изделий;

б) корректировку конструкторской документации по результатам изготовления, испытание и оснащение оборудованием технологи-



ческого процесса для выпуска основных составных частей изделия установочной серии с присвоением конструкторской документации литера А.

3. Стадия разработки рабочей КД изделий установившегося серийного или массового производства, включает:

- а) изготовление и испытание головной контрольной серии изделий;
- б) корректировку конструкторских документов по результатам изготовления и испытания головной (контрольной) серии изделий;
- в) корректировку конструкторских документов по результатам изготовления и испытания головной (контрольной) серии изделий с присвоением литера **Б** конструкторским документам, окончательно отработанным и проведенным в производстве изготовлением изделия по зафиксированному и полностью оснащеному технологическому процессу.

На стадиях разработки рабочей конструкторской документации завершается отработка конструкции изделия на **технологичность**.

4. *Технологическая подготовка производства* обеспечивает разработку технологических процессов изготовления отдельных компонентов и всей системы в целом. На этом этапе проектирования создается технологическая документация.

Этапы проектирования состоят из отдельных *проектных процедур*, которые заканчиваются *частным проектным решением*. Типичными для проектирования ТО процедурами являются *анализ* и *синтез* описаний.

Процедура *синтеза* заключается в создании проектного решения (описания) по заданным требованиям, свойствам и ограничениям. Например, при проектировании мехатронных устройств широко используются процедуры синтеза по заданным характеристикам в частотной или временной области. При этом в процессе синтеза может создаваться структура схемы (структурный синтез), либо могут определяться параметры элементов заданной схемы, обеспечивающие требуемые характеристики (параметрический синтез).

Процедура *анализа* состоит в определении свойств заданного (или выбранного) объекта. Примерами такой процедуры могут служить расчет частотных или переходных характеристик электронных схем, определение реакций в звеньях механизма на заданную нагрузку и др. Анализ позволяет оценить степень соответствия проектного решения заданным требованиям. Процедуры синтеза и анализа в про-

цессе проектирования тесно связаны между собой, поскольку обе они направлены на создание приемлемого проектного решения.

Типичной проектной процедурой является *оптимизация*, которая приводит к оптимальному (по определенному критерию) проектному решению. Например, широко используется оптимизация параметров электронных схем с целью наилучшего приближения частотных характеристик к заданным. Процедура оптимизации состоит в многократном анализе при целевом изменении параметров схемы до удовлетворительного приближения к заданным характеристикам. В сущности, оптимизация обеспечивает создание (синтез) проектного решения, но включает поэтапную оценку характеристик (анализ).

Проектные процедуры состоят из отдельных проектных операций. Например, в процессе анализа математических моделей узлов и агрегатов приходится решать дифференциальные и алгебраические уравнения, осуществлять операции с матрицами и т. п. Такие операции могут иметь обособленный характер, но в целом они образуют единую проектную процедуру.

Проектные процедуры и операции выполняются в определенной последовательности, называемой маршрутом проектирования.

Маршруты проектирования могут начинаться с нижних иерархических уровней описаний (восходящее проектирование) либо с верхних (нисходящее проектирование).

## **1.7. Стендовые испытания макетов проектируемого объекта**

На стадии технического проекта с целью выполнения требований технического задания (показатели назначения, надежности) проводят разработку, изготовление и стендовые испытания макетов отдельных элементов СХМ (решетный модуль, вентилятор, молотильный аппарат).

### **1.7.1. Оценка надежности изделия**

Главным источником информации о надежности машин после изготовления макетов образцов являются экспериментальные исследования и испытания. Испытания изделий на безотказность и долговечность принято называть ресурсными. От ресурса конструктивных элементов машины зависят ее основные показатели надежности. Кроме ресурсных испытаний очень ценные информации о надежно-

сти машин дают массовые наблюдения за эксплуатацией и ремонтом их в хозяйственных условиях. Этим создается база данных для статистических обобщений, позволяющих получить более достоверную оценку о надежности машин и их элементов.

В процессе создания или усовершенствования СХМ возникает необходимость в сравнительных испытаниях деталей одного и того же функционального назначения, но имеющих различные конструктивные решения или изготовленных из различных материалов или по разным технологиям. Поэтому целесообразно проводить испытания отдельных элементов конструкций и агрегатов, в которых эти элементы взаимодействуют с другими. Это должно выполняться на отдельных стендах. Такие стенды позволяют проводить испытания разных объектов машин независимо друг от друга, т. е. отказ одного объекта не останавливает испытания другого (что имеет место при испытаниях полнокомплектной СХМ). Такое решение существенно упрощает конструкцию стенда, комплекс системы для оценки показателей функционирования и нагружения, автоматизацию, увеличивает производительность стенда (т. е. наработку стенда в сутки), уменьшает стоимость выполняемых работ.

### ***1.7.2. Стендовые натурные испытания***

Стендовые натурные испытания представляют собой испытания деталей и сборочных единиц, изготовленных в натуральную величину согласно техдокументации СХМ. При таких испытаниях на стационарных установках с помощью специальных нагружающих устройств создаются условия, вызывающие появление физической картины отказов (характерные для отказов этих элементов в реальных условиях эксплуатации машины).

Натуральные стендовые испытания сборочных единиц и агрегатов занимают промежуточное место между полевыми испытаниями сельскохозяйственных машин в эксплуатационных режимах и лабораторными испытаниями элементов деталей на образцах с помощью универсальных машин. Обычно при работе в эксплуатационных режимах изнашивание и усталостные повреждения деталей в сложных сборочных единицах и агрегатах СХМ развиваются одновременно и взаимосвязанно. Поэтому во многих случаях необходимо проводить ресурсные стендовые испытания в составе агрегата или сборочной единицы, несмотря на то, что испытания отдельных деталей дешевле и менее трудоемки.

Стендовые ресурсные испытания имеют следующие преимущества по сравнению с эксплуатационными [1].

1. Сокращение сроков создания новой техники за счет: возможности круглогодичных испытаний; воспроизведения форсированных режимов; возможности отработки конструкций деталей и сборочных единиц до изготовления машины в целом.

2. Обеспечивается большая точность проведения экспериментов путем: устранения множества сопутствующих случайных факторов, которые невозможно избежать при полевых испытаниях; воспроизведения основных возможных нагрузок, встречающихся при работе на разных агрофонах и при переходных режимах; возможности реализации требуемого числа повторяемых испытаний; возможности изучать зарождение и развитие повреждений в испытываемых деталях; возможности проведения аппаратурного контроля (измерений).

3. Достигается значительный экономический эффект за счет: сокращения сроков создания СХМ; снижения стоимости объекта испытаний, так как на испытаниях предоставляются отдельная деталь, простейшая сборочная единица или агрегат, а не машина в целом; стенды обладают большим ресурсом и универсальностью, что позволяет реализовать на них много повторяемых испытаний, а также проводить испытания других объектов; снижения расходов на обслуживание стендов; возможности автоматизации процесса испытаний.

### ***1.7.3. Выбор состава и вида объектов испытаний***

При подготовке к стендовым ресурсным испытаниям осуществляют структурный анализ всей машины, т. е. ее делят на агрегаты, сборочные единицы, сопряжения и детали. Полученную номенклатуру анализируют с точки зрения ожидаемой долговечности и влияния на надежность машины в целом. После этого все составляющие элементы машины делят на требующие стендовых ресурсных испытаний, требующие проведения специальных исследований, а также требующие стендовых испытаний, оставляя оценку их надежности на время эксплуатационных испытаний.

Элементы СХМ, подлежащие стендовым ресурсным испытаниям, могут быть в виде отдельных деталей, сборочных единиц или агрегатов. Экономичнее, по возможности, проводить стендовые испытания деталей, а не сложных агрегатов.

## **1.8. Алгоритм принятия решений по управлению деятельностью предприятия при постановке на производство объекта проектирования**

При переходе производственных отношений к рыночному регулированию производственно-сбытовой деятельностью предприятия принятие решения о постановке на производство новой продукции производится по обобщенному алгоритму.

Особую роль в этих условиях приобретает динамическая система информационного обоснования принятия стратегических управленческих решений, определяющих жизнедеятельность предприятия и его успех (лидерство) на отечественном и внешнем рынках, техническую политику и перспективу развития, вероятность диверсификации производства и целесообразность выпуска новых видов продукции.

Принятие решений – главная задача «первого лица» фирмы и его команды. Развитие науки и техники, появление новых технологий приводят к необходимости отыскать, переработать, воспринять непрерывно увеличивающееся количество информации, а время на ее преобразование в стратегическом решении уменьшается, так как растет динамика и сложность объективно протекающих процессов.

Была сделана попытка расчленить принятие стратегического решения на этапы: идентификация проблемы и постановка цели; сбор и обработка информации; выбор критериев оценки альтернативных вариантов; подготовка вариантов решений; выбор предпочтительного решения; подбор лиц, принимающих промежуточные решения (ЛПР).

Управление крупной фирмой, холдингом (например, ОАО «Гомсельмаш») с разноплановым производством требует использования новых информационных технологий, дающих возможность многопланового анализа проблемы, моделирования динамики ее развития, выбора вариантов решения и прогнозирования вероятных последствий.

Принятию обоснованных стратегических решений, связанных с долгосрочным успехом научно-технической и производственно-сбытовой деятельности фирмы, минимизацией технического и коммерческого риска, в значительной степени помогает алгоритм, базирующийся на использовании современных информационных технологий, коллективном анализе вариантов проблемы.

Алгоритм принятия решений (рис. 1.4) хорошо зарекомендовал себя на практике. В общем случае алгоритм можно представить как приведенную далее последовательность реализации информационных технологий.

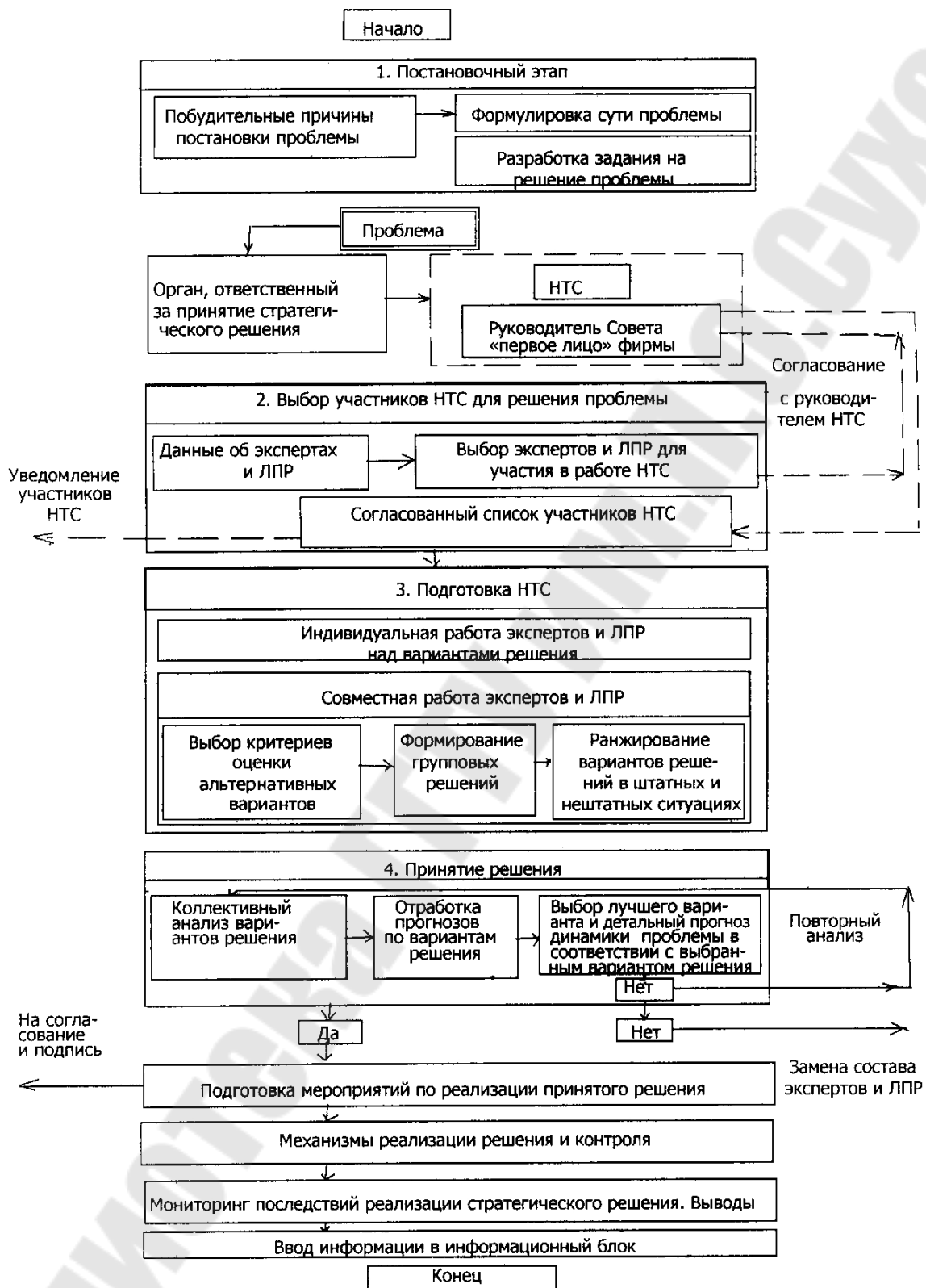


Рис. 1.4. Алгоритм принятия решений о постановке на производство новой продукции

1. Постановочный этап выработки стратегического решения. Постановочный этап состоит из выявления и уяснения побудительных причин, требующих постановки проблемы, формулировки ее сути, разработки задания на решение.

2. Выбор экспертов и лиц, принимающих промежуточные решения. ЛПР должны обеспечить качественное решение проблемы. Важно привлечь к работе такое количество специалистов, суммарные знания которых позволят эффективно ее решить.

3. Подготовка задания НТС (научно-технический совет). На этом этапе каждым экспертом и ЛПР формируются предложения по решению проблемы. Эксперты объединяются в группы для выработки критериев оценки альтернативных вариантов и принятия групповых решений, а также для ранжирования вариантов решений по степени эффективности в штатных и нештатных ситуациях на производство новой продукции.

4. Коллективное принятие стратегического решения. Коллективное принятие стратегического решения включает в себя коллективный анализ предложенных вариантов, отработку прогнозов вероятных последствий принятых решений, выбор предпочтительного варианта и детальный прогноз развития проблемы в соответствии с этим решением.

Если прогноз положительный, то решение утверждается, и принимаются все необходимые меры для его реализации и мониторинга достигнутых на практике результатов. Делаются окончательные выводы, а собранная информация по рассматриваемой проблеме систематизируется и вводится в банк данных.

Когда прогноз неблагоприятный, процесс поиска лучшего варианта решения повторяется (см. рис. 1.4, этап 4) с привлечением и использованием дополнительной информации. Если это не дает положительного результата, то меняется состав участников решения проблемы, приглашаются новые эксперты (т. е. меняется «суммарное количество знаний»), и весь процесс принятия решения повторяется, но уже начиная с этапа 2 (см. рис. 1.4).

Алгоритм принятия стратегических решений позволяет сэкономить трудозатраты, время, материалы и финансовые средства в сочетании с использованием новейших достижений для совершенствования объекта управления.

## ГЛАВА 2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕНДЕНЦИЙ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

### 2.1. Прогнозирование, разновидности и эшелоны прогнозов

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 *prophosis* – «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 [41], [44]. 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.

#### 2.1.1. Разновидности прогнозов

В правительственных учреждениях, 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*. В свою очередь, эти прогнозы расчленяются на этапы: *исследовательский, программный, организационный*.

*Исследовательские прогнозы* – определяют новые возможности и перспективные цели развития науки и техники. Заключительной, наиболее трудной стадией разработки исследовательского прогноза является оценка гипотетической результативности или значительности возможных целей научно-технического прогресса. На основе исследовательского прогноза разрабатывается программный прогноз.

*Программные прогнозы* – формируют программы, эффективные направления и последовательность действий, направленные на дос-



тижение целей развития науки и техники. При этом дается оценка возможных сроков, очередности достижения поставленных целей развития.

*Организационные прогнозы* – основываются на общих закономерностях, тенденциях развития науки с учетом исследовательского и программного прогнозов. При их разработке используется информация как о потребностях, так и о возможностях общества. Задачей этого вида прогнозов является определение следствий конкретных вариантов действий, а также оценка ресурсов, необходимых для выполнения в прогнозируемый период программ исследовательских (НИР) и проектно-контрольных работ (ОКР).

*Научно-технический прогноз.* Объектом научно-технического прогнозирования, в частности, является направление развития машин и оборудования. Важным аспектом этого прогноза является оценка потребных сырьевых и экономических ресурсов, а также оценка социальной и экологической ситуации при реализации прогнозируемых направлений развития.

*Инженерный прогноз* основан на анализе предложений на рынках оборудования, выставочного ассортимента машин и оборудования, тематики публикаций в специализированных изданиях, динамики и структуры потока патентуемых изобретений. В инженерной деятельности разработчика новой техники инженерный прогноз используют на этапах НИР и на ранних этапах проектирования. Кроме этих прогнозов на этапах проектирования выполняются прогнозы надежности и безотказности работы и прогнозы технико-экономических характеристик проектируемых машин.

*Экономический прогноз* – это система научных исследований о направлениях развития экономики и отдельных ее элементов. Он использует прогноз развития науки и техники, прогноз изменения демографической ситуации, прогноз освоения природных ресурсов, изменение окружающей среды. Научно-технический, инженерный, экономический прогнозы взаимосвязаны друг с другом, взаимно дополняют друг друга.

### **2.1.2. Эшелоны прогнозов**

По времени упреждения, с позиции футурологии, прогнозы разделяются на *текущие, краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные.*

*Текущий прогноз* – правомерен, когда не ожидается существенных изменений исследуемого объекта, а имеются в виду лишь отдельные частные количественные оценки. Глубина такого прогнозирования – 5 лет.

*Краткосрочный прогноз* – рассчитан на перспективу до 5–10 лет. Условия прогноза исходят из существующей тенденции развития науки и техники и количества выполняемых научных работ. За этот период удвоится количество средств производства, окончится срок действия большинства нынешних патентов и т. д. Очень важным обстоятельством является и то, что в этот период времени выявленные наукой факторы явления и принципы переходят из раздела фундаментальных наук в прикладные, оттуда – к разработчикам и далее, через опытно-промышленную проверку к стадии массовой реализации соответствующих нововведений.

Важное значение имеет и то, что в течение этого периода времени на передовые позиции научно-технического прогресса выходит новое поколение специалистов. Прогнозы этого типа основываются обычно на вполне определившихся в настоящее время тенденциях НТП. Эти прогнозы содержат, как правило, не только количественные, но и структурные, и качественные оценки. Прогноз краткосрочный регламентирован ОСТ 23.2.484–78.

*Среднесрочный прогноз* – рассчитан на срок до 10–15 лет. За это время произойдет удвоение как общего объема принятых в современной науке концепций, теорий и методов, так и численности населения земного шара. В таких прогнозах количественные оценки уступают место качественным. Предметами подобных прогнозов нередко являются уже не экономические возможности, а фундаментальные законы естествознания. Ученый, разрабатывающий подобный прогноз, не может ограничиваться своей конкретной отраслью знания, а должен исходить из более широкой системы научных знаний.

*Долгосрочный прогноз* – рассчитан на срок 15–20 и более лет. Такие прогнозы носят, как правило, чисто предположительный, гипотетический характер, учитывая, что ученые в столь отдаленном будущем будут руководствоваться новыми научными представлениями, многие аспекты которых нам пока неизвестны. Количественные оценки здесь отсутствуют, а качественные оценки и структурные предположения ограничиваются лишь рамками наиболее общих вопросов естествознания.

## 2.2. 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, исходя из целесообразности, эти методы сводятся в три основных класса: методы статистические; методы экспертизы; методы моделирования. При этом каждый из основных классов включает в себя по несколько видов и характерных групп методов научного прогнозирования.

Основным видом статистического прогнозирования является *экстраполяция*. Методологической основой статистической экстраполяции тенденций является представление о развитии объекта прогнозирования как о неразрывной связи прошлого, настоящего и будущего его состояния (*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) тренд описывается математическим выражением (математическая модель). При этом метод прогнозирования заключается в *экстраполяции*, т. е. в продлении в будущее тенденции, наблюдаемой в прошлом.

При этом важным методическим обстоятельством рассматриваемого класса прогнозирования является выбор соотношения глубины ретроспекции экстраполируемой тенденции (базы экстраполяции – основания прогноза) и дальности экстраполируемого интервала.

При прогнозировании показателей технического уровня тракторов и сельскохозяйственных машин необходимое время ретроспекции  $t_p$  устанавливается из условия

$$t_p = (2,0 - 3,0)T_y, \quad (2.1)$$

где  $T_y$  – время упреждения прогноза (время экстраполяции).

При известном времени ретроспекции время экстраполяции:

$$T_y = \frac{t_p}{(2,0 - 3,0)}. \quad (2.2)$$

При этом различают: краткосрочный прогноз (5–10 лет), среднесрочный (10–15 лет) и долгосрочный прогноз (15–25 лет).

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

*Эксперт* – это специалист в конкретной области науки или техники, у которого имеется гипотетическое представление о путях разрешения нынешних противоречий процессов, априорных оценок значимости различных решений науки и практики и интуитивных догадок об альтернативах и возможностях вариантов развития.

Методологической основой использования методов экспертных оценок при прогнозировании является отсутствие достаточного количества статистических данных (например, новое направление в науке или технике), а также прогнозирование некоторых аспектов развития, которые не имеют количественных оценок (например, пути решения технической проблемы, оценка вероятности использования в технике (в ожидаемые сроки) различных открытий и др.).

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, информационные модели (например, моделирование информационных сигналов, содержащихся в потоке патентных документов о мировом техническом опыте в каком-либо конкретном направлении), функционально-иерархические модели, простейшими из которых являются модели, описывающие закономерности работы (функционирования) технического объекта.

### 2.3. Метод прогнозирования на основе построения линии жизненного цикла технических объектов

Жизненный цикл технической системы можно изобразить в виде S-образной кривой (рис. 2.1), показывающей, как меняются во времени главные характеристики системы (мощность, производительность, скорость, число выпускаемых ТО и т. д.) [47].

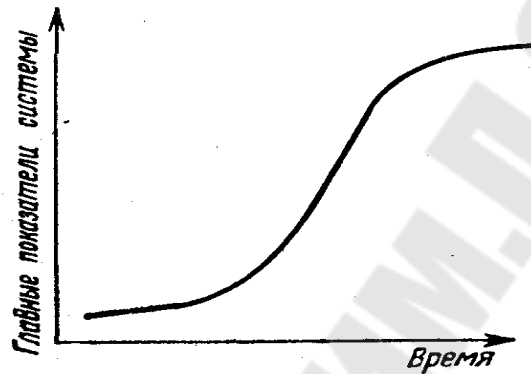


Рис. 2.1. Кривая жизненного цикла технической системы

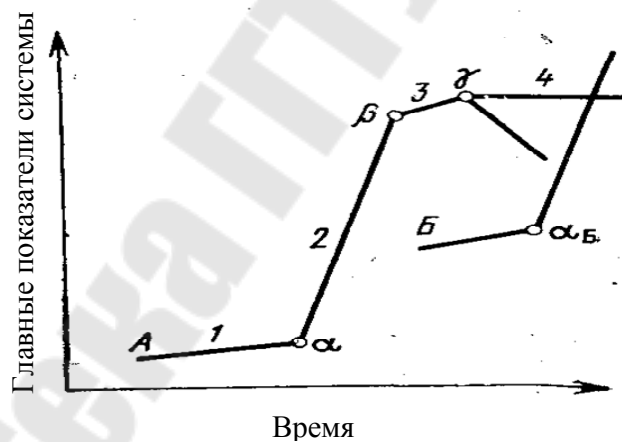


Рис. 2.2. Характерные участки кривой линии жизненного цикла:

- 1 – участок начального, медленного развития системы;
- 2 – участок быстрого развития системы, она быстро совершенствуется, начинается массовое ее применение;
- 3 – система стареет, темпы ее развития замедляются;
- 4 – на данном участке техническая система либо деградирует, сменяясь принципиально другой системой Б, либо на долгое время сохраняет достигнутые показатели

У разных технических систем эта кривая имеет свои индивидуальные особенности. Но всегда на ней есть характерные участки, которые схематически выделены на рис. 2.2. Определившись, на каком участке развития в настоящее время находится система, можно предвидеть характер и темпы ее развития на будущее.

## 2.4. Прогнозирование на основе построения огибающих кривых

Построение огибающих кривых позволяет прогнозировать основные показатели технических систем сходного назначения. Огибающие кривые описывают максимально достигнутые значения функциональных характеристик вне зависимости от конкретных конструктивных особенностей тех или иных технических средств.

Огибающая кривая, представленная на рис. 2.3, отражает общую тенденцию развития технических систем с одинаковыми техническими функциями. Проекция огибающей в будущее содержит минимальную вероятность совершения крупной ошибки, поскольку такая операция предполагает, что в будущем сохранится прежний темп появления новых изобретений и не предвидится необъяснимого разрыва между прошлым и будущим.



Рис. 2.3. Огибающая кривая и темпы роста энергии отдельных конструкций ускорителей частиц

Хотя огибающие кривые на самом деле в будущем могут не продолжаться так, как в прошлом, полезно предположить, что другой ход кривых будет плавным и прогрессирующим. Основанием для такого предположения является тот факт, что, как только темп изменений устанавливается, кривая приобретает своеобразную инерцию, т. е. кривая является самовоспроизводящейся.

## **2.5. Прогнозирование функциональных характеристик технических систем на глубину в 20 и более лет**

Методами экстраполяции при прогнозе функциональных характеристик машин и оборудования, можно достичь глубины в 7 лет. При пониженных требованиях к точности – 10 лет. Однако для планирования НИР и выбора направления поисковых разработок необходимо получать оценку функциональных характеристик исследуемых систем на глубину в 20 и более лет. Для достижения необходимой глубины прогнозов используют, как правило, методы экспертных оценок, мирясь с присущим этим методам субъективизмом экспертов, или специальные приемы получения ориентировочных оценок, опирающихся на комбинацию методов экстраполяции с методами статистики, информатики и наукометрии. Ниже приводятся примеры выбора показателей функциональных характеристик, использования статистики, информатики, наукометрии для прогнозирования на глубину в 20 и более лет.

При прогнозах на глубину в 20 и более лет, при сопоставлении вариантов исполнения технических систем, как правило, используют безразмерные показатели относительной функциональной эффективности, относительной ресурсной эффективности и относительной финансовой эффективности.

Для прогноза значений этих показателей, описывающих состояние вариантов системы на глубину в 20 и более лет, разработана специальная процедура [46], [47]. Показатели эффективности для вариантов конструктивного исполнения рассчитываются как произведение базового показателя, характеризующего достижимый уровень, и двух критериев подобия, анализирующих особенности условий работы прогнозируемой системы и конструктивные особенности ее реализации. Для расчета значений базовых показателей эффективности и критериев подобия была создана специальная база данных FINCOST, включающая информа-

цию о 1040 схемных решениях сельскохозяйственных машин и их конструктивных исполнениях.

Разработанная методика и ее информационное обеспечение позволяют надежно прогнозировать функциональные показатели и существующих, и вновь создаваемых конструкций.

## **2.6. Прогнозирование функциональных параметров машин на основе анализа патентной активности**

Этот метод прогнозирования функциональных параметров разработан для приближенной, ориентировочной оценки этих показателей на глубину в 15–20 лет [46], [47]. В основе этого метода лежит представление о разных темпах развития параметров системы в разные периоды ее жизненного цикла.

За время жизненного цикла системы (60 лет) характеристики его функционирования возрастают в среднем в 4 раза. За первую треть жизненного цикла функциональные параметры прирастают на 66 %, за вторую треть – на 33 % и за третью – всего на 1 %. В период «молодости» конструктивного исполнения такой системы (первая треть цикла) динамика патентной активности положительна. В период «зрелости» конструктивного исполнения (вторая треть) динамика патентной активности близка к 0. В период «старости» конструктивного исполнения (последняя треть) динамика патентной активности отрицательна.

Сопоставление приведенных выше данных позволяет построить приближенную зависимость для оценки прироста функциональных показателей конструктивных исполнений функций за время необходимой глубины прогноза:

$$f^{\text{прогн}} = f^{\text{исх}} (1 + \tau K^{au}), \quad (2.3)$$

где  $f^{\text{прогн}}$  и  $f^{\text{исх}}$  – соответственно, прогнозируемый и исходный показатели функциональной эффективности варианта технической системы;  $\tau$  – необходимая глубина прогноза;  $K^{au}$  – коэффициент прироста функциональной эффективности варианта технической системы.

Если прогнозируемая система находится в первой трети своего развития, то патентная активность, оцененная за 10–15 лет в отноше-



нии конструктивного исполнения такой системы, будет возрастать. Коэффициент  $K^{au}$  прироста функциональной эффективности этого варианта технической системы будет 0,132 (соответствует приросту на 66 % за 20 лет от общего, четырехкратного). Если прогнозируемая система находится во второй трети своего развития, то патентная активность за 10–15 лет в отношении конструктивного исполнения такой системы в среднем стабильна. Коэффициент  $K^{au}$  прироста функциональной эффективности такого варианта технической системы будет 0,064 (соответствует приросту на 33 % за 20 лет). Если прогнозируемая система находится в последней трети своего развития, то патентная активность в отношении конструктивного исполнения такой системы снижается. Коэффициент  $K^{au}$  прироста функциональной эффективности этого варианта технической системы будет 0,002 (соответствует приросту на 1 % за 20 лет).

Использование этого метода позволило прогнозировать функциональные показатели вариантов сельскохозяйственных машин, использующих различные конструктивные исполнения носителей функций.

## **2.7. Прогнозирование направления развития сельскохозяйственных машин**

Для прогнозов направления развития технологического оборудования разработан метод долгосрочного прогнозирования схемных решений оборудования, основанный на нечетких качественно-количественных оценках [46], [47].

Основу метода составляет система моделей направленного синтеза структуры сельскохозяйственных машин и оборудования, синтеза и ранжирования конструктивных решений для каждой из выделенных схем, прогноза спроса на машины и оборудование.

Для направленного синтеза структуры сельскохозяйственных машин были выделены функции, состав и последовательность которых формируют их структуру. Эти функции были сгруппированы во множество функций, преобразующих исходное состояние обрабатываемого продукта и при изменении положения продукта обеспечивающих работу основным функциям, а также во множество функций, которые обеспечивают энергией основные и вспомогательные функции, гарантирующие управление режимами работы носителей функций СХМ

и заданное размещение и удержание в пространстве носителей функций машины. Структура СХМ представлена в виде объединения расплывчатых множеств основных и вспомогательных функций.

Базовое понятие теории нечетких (расплывчатых) множеств, оценка степени соответствия заданного элемента множеству использованы для отбора из множества функций при синтезе структуры только тех, оценка степени соответствия которых выше заданной, пороговой. В свою очередь, степень соответствия для функции оценивалась как композиция представлений потенциальных покупателей о структуре будущей сельскохозяйственной машины, об истории производства и продаж сельскохозяйственных машин с функциями оценки общественной потребности по патентной активности.

Для прогнозирования спроса на оборудование разработана процедура на основе метода построения сценариев. Работу процедур метода прогнозирования направления развития сельскохозяйственных машин поддерживают специализированные компьютерные базы данных.

Оценка эффекта от прогнозирования направления развития (по степени снижения информационной энтропии, по К. Э. Шеннону) показывает, что вероятность получения конкурентоспособного изделия увеличивается в 140–150 раз.

# ГЛАВА 3. ОБНОВЛЕНИЕ ВНЕШНИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН И АГРЕГАТОВ НА ПРОЕКТНОЙ СТАДИИ

## 3.1. Универсальность, комбинирование и агрегатирование сельскохозяйственных машин

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 между-рядная 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. 3.1).

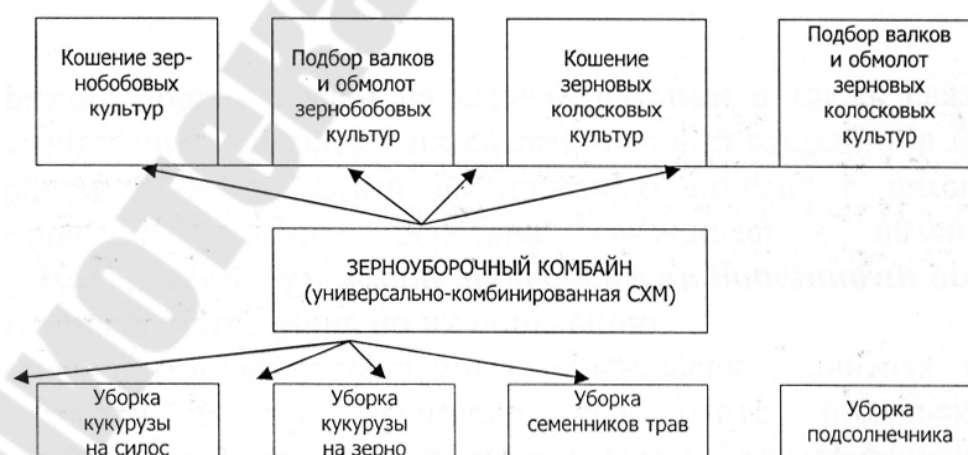


Рис. 3.1. Схема основных технологических процессов и операций, выполняемых универсально-комбинированной СХМ – зерноуборочным комбайном

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 заменяющимися 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 заработную плату 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.

К настоящему времени издержки эксплуатации агрегатов и СХМ становятся преобладающими в общей сумме затрат производимой земледельческой продукции. В дальнейшем доля этих затрат будет все время увеличиваться, а доля человеческого труда уменьшаться. Возрастающая роль техники в сельскохозяйственном производстве требует дополнительных денежных вложений. Универсализация и комбинирование сельскохозяйственной техники позволит рационально использовать эти денежные вложения при всемерном повышении производительности труда.

*Условия создания универсальных машин.* Особенности сельскохозяйственного производства создают предпосылки для универсализации и комбинирования техники. Принципы универсализации вытекают из технологии сельскохозяйственного производства, расчленяющейся на технологии производства отдельных продуктов. Универсальные машины целесообразно создавать в случаях, когда:

1) выполнение работ ограничено жесткими и несовпадающими по времени сроками, и сроки выполнения работ имеют между собой разрывы времени, достаточные для переоборудования машины на выполнение другой технологической операции, например, перестройка зерноуборочного комбайна с уборки зерновых (июль) на уборку кукурузы на зерно (сентябрь);

2) отдельные работы, даже достаточно продолжительные, производятся машинами, близкими между собой по выполняемому технологическому процессу, а сроки этих работ могут совпадать, например, междурядная обработка и сплошная культивация занимают, соответственно, 17,5 и 37 % от общего рабочего времени полевого периода, но сроки их выполнения совпадают. В этом случае сплошную культивацию и междурядную обработку можно выполнять универсальной машиной, у которой в зависимости от производимой работы только заменяют или различным образом расставляют на раме рабочие органы.

*Условия создания комбинированных машин.* Комбинированные машины целесообразно создавать в случаях, когда сроки выполнения разноименных операций или полностью совпадают, и данные работы возможно выполнять одновременно, или совпадают не полностью, а только отдельными своими отрезками, например, совмещение вспашки, выравнивания, прикатывание катками.

Анализ сформулированных принципов универсализации и комбинирования техники показывает целесообразность использования специализированных СХМ на операциях с большой длительностью их выполнения.

Универсализация и комбинирование СХМ должны происходить в разумных пределах и в соответствии с достигнутым уровнем развития техники. Экономическая выгода в проектировании универсальных и комбинированных СХМ устанавливается путем сравнения их эксплуатационных или приведенных затрат с этими же затратами у специальных СХМ.

Универсальную  $j$ -ю СХМ можно проектировать, если имеет место неравенство [4]:

$$\left[ \frac{V_i}{W_i^y} \left( \frac{\text{Ц}_j^y \rho_{1j}^y}{\sum_i t_{ai}} + \frac{\text{Ц}_j^y (\rho_{2j}^y + \rho_{3j}^y)}{\sum_i t_{ai}} \right) \right] < \sum_i \frac{V_i}{W_i^c} \left( \frac{\text{Ц}_j^c \rho_{1j}^c}{t_{ai}} + \frac{\text{Ц}_j^c (\rho_{2j}^c + \rho_{3j}^c)}{t_{ai}} \right), \quad (3.1)$$

где  $i$ -е – технологические операции, которые возможно выполнять универсальной СХМ;  $y$  и  $c$  – индексы, соответственно, универсальной и специальной СХМ;  $V_i$  – объем работы на максимальной по объему работ операции, га, т;  $W_i$  – наработка одной СХМ на  $i$ -й операции, га, т;  $\text{Ц}_j$  – цена выполнения  $j$ -й операции, р.;  $\rho_{1j}$ ,  $\rho_{2j}$ ,  $\rho_{3j}$  – отчисления, соответственно, на реновацию (отчисления на приобретение новой машины после износа старой), ремонт и поддержание работоспособности СХМ;  $t_{ai}$  – время агросрока на выполнение  $i$ -й операции, ч;  $\sum_i t_{ai}$  – суммарное время агросроков  $i$ -х операций, выполняемых универсальной машиной, ч.

Неоднозначность выражения (3.1) определяется тем, что числители левой части неравенства больше числителей правой части, так как цена универсальной машины больше специальной:

$$\text{Ц}_j^y > \text{Ц}_j^c,$$

но время универсальной машины больше времени работы специальной:

$$\sum_j t_{ai} > t_{ai}.$$

Определяющим фактором универсализации, как правило, можно считать то, что цена универсальной машины меньше, чем сумма цен  $j$ -го количества специальных машин.

Комбинированные машины проектируют также при условии неравенства (3.1), где индекс универсальной машины  $У$  надо заменить на индекс комбинированной машины  $К$ . При этом возможно прибавить к правой части неравенства (3.1) стоимость дополнительного продукта, который получается за счет сохранения плодородия почвы, вызываемого меньшим травмированием почвы колесами комбинированной СХМ (может выполнять несколько операций на один проход по полю – скашивание, обмолот, сепарацию (зернокомбайн), или специальные машины: скашивание в валок – один проход по полю, обмолот – второй проход и т. д.)

Для зерновых культур известна, например, зависимость урожайности от плотности почвы, в которую уложены семена (рис. 3.2). Видно, что величина плотности  $\rho$  существенно влияет на будущий урожай. Иногда к правой части неравенства (3.1) целесообразно прибавить разницу затрат на горючее (специальные СХМ перемещаются по полю  $i$  раз, комбинированные – один раз).

Кроме комбинированных СХМ в сельскохозяйственном производстве применяют *комбинированные агрегаты*, которые состояются из комбинированных СХМ различного назначения.

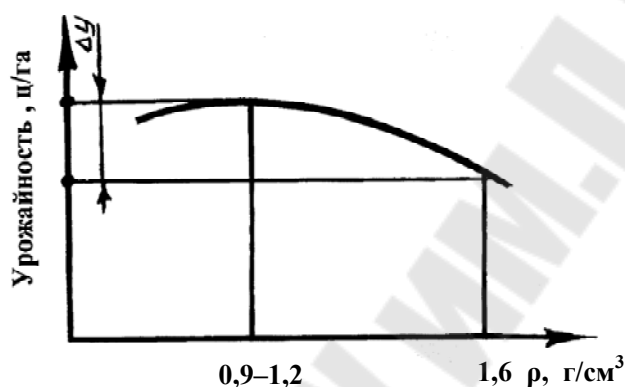


Рис. 3.2. Зависимость урожайности зерновых от плотности  $\rho$  почвы;  $\Delta u$  – потери урожайности от увеличения плотности почвы

Комбинированный агрегат формируется в тех случаях, когда в технологических процессах необходимы различные операции, которые могут быть выполнены в отдельных СХМ, вошедших в агрегат.

Для обоснования агрегатируемости проектируемой СХМ необходимо решить следующие задачи [4], [45]: 1) аргументировать целесообразность проектирования самоходной СХМ или СХМ, агрегатируемой с энергетическим средством (трактором или самоходным шасси); 2) обосновать вид соединения энергетического средства (ЭС) с проектируемой СХМ; 3) выполнить анализ возможности агрегатирования СХМ и энергетических средств.

Решение этих вопросов достигается различными путями. Основным из них является определение приведенных затрат (р./т, р./шт.) на единицу продукции проектируемой СХМ для различных ее выполнений (самоходная, агрегатируемая 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 производства 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 (тракторы 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 [4]. Условие экономической целесообразности для выполнения самоходной СХМ можно выразить неравенством:

$$\frac{\left( \frac{C_T t_T}{t_{aj}} + C_j \right) (\rho_{1j} + \rho_{2j} + \rho_{3j})}{W_a} > \frac{C_c (\rho_{1c} + \rho_{2c} + \rho_{3c}) - \Delta\Pi}{W_c}, \quad (3.2)$$

где  $C_T$  – цена энергетического средства (ЭС) агрегата;  $t_{aj}$ ,  $t_T$  – время агросрока  $j$ -й СХМ и время загрузки ЭС в году;  $C_j$ ,  $C_c$  – цена  $j$ -й СХМ в агрегате и самоходной СХМ;  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\rho_3$  – соответственно, отчисления на реновацию, ремонт и восстановление  $j$ -й СХМ ( $j$ ) в агрегате и самоходной ( $c$ ) СХМ;  $\Delta\Pi$  – стоимость дополнительного продукта, образующегося при самоходном варианте СХМ (например, при выполнении самоходной СХМ уборки свеклы срезанная ботва (200–250 ц/га) собирается и используется в кормопроизводстве; при работе подобной СХМ в агрегате впереди идущим трактором часть ботвы разрушается, придавливается трактором).

*Вид соединения СХМ с ЭС* 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;



– если необходимо копирование 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 результате конструкция упрощается, а ее функции передаются оператору 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, двух-, четырехкорпусные 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).

### **3.2. Анализ возможности агрегатирования сельскохозяйственных машин и универсальных энергетических средств**

#### ***3.2.1. Классификация сельскохозяйственных агрегатов по способу соединения***

Соединение сельскохозяйственных технологических машин с источником энергии (мобильным энергетическим средством) передаточными и вспомогательными устройствами называется *сельскохозяйственным агрегатом*.

Агрегаты, энергетическим средством которых являются тракторы называют *машинно-тракторными агрегатами*.

Помимо машинно-тракторных в сельском хозяйстве находят применение агрегаты на базе самоходных машин, универсальных и специализированных самоходных шасси.

По *числу машин* агрегаты определяют как *одномашинные* и *многомашинные*.

По *составу машин* и числу выполняемых операций агрегаты классифицируют как: *однородные*, в которых все машины выполняют одну и ту же сельскохозяйственную операцию (например, культивацию или сев); *комплексные*, когда машины выполняют заданную технологией возделывания культуры последовательность операций (например, основную обработку почвы, рыхление и выравнивание); *комбинирован-*

*ные*, в которых машины выполняют разнородные технологические операции по возделыванию культуры (например, подготовку почвы, посев, внесение удобрений и защиту растений за один проход); *универсальные*, т. е. приспособленные к выполнению нескольких технологических операций по возделыванию и уборке сельскохозяйственных культур.

По *способу соединения* (агрегатирования) рабочей машины с ЭС агрегаты подразделяются на: *прицепные*, рабочие машины которых имеют собственную ходовую систему, обеспечивающую позиционирование рабочих органов в рабочем и транспортном положениях; *полунавесные*, с рабочими машинами, имеющими собственную ходовую систему, но одной из опор которых является сцепное устройство ЭС; изменением высоты точки соединения этого сцепного устройства обеспечивают позиционирование рабочих органов в рабочем и транспортном положениях; *навесные*, рабочие машины которых имеют собственную раму с их смонтированными сборочными единицами, но для перемещения и позиционирования рабочих органов используют навесное устройство ЭС; *монтируемые*, с рабочими машинами, не имеющими единую собственную раму; их сборочные единицы смонтированы на раме и навесных устройствах ЭС, обеспечивающего перемещение (позиционирование) рабочих органов.

По *расположению рабочих органов* относительно продольной оси агрегаты делятся на *симметричные* и *асимметричные*.

По *способу получения энергии* рабочими органами агрегаты определяются следующим образом: *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 колес*.

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.

### **3.2.2. Анализ соответствия прицепных, сцепных и навесных устройств сельскохозяйственных машин и мобильных 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) мобильных энергетических средств (МЭС) должны соответствовать ГОСТ 3481–79. Это обеспечит соответствие размеров, но только в рамках тяговых диапазонов МЭС. Размеры тягово-сцепных устройств энергетических средств тяговых классов 0,6–2 отличаются от соответствующих размеров МЭС классов 3–6, а эти, в свою очередь, от размеров тягово-сцепных устройств МЭС тяговых классов 8 и более. При назначении агрегатирования СХМ необходимо проверять соответствие размерам тягово-сцепных устройств МЭС, назначаемых тяговых классов, а по ГОСТ 19677–87 и по технической документации – наличие типа сцепного устройства у конкретно назначаемых модификаций МЭС.

Навесные устройства сельскохозяйственных машин 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, а также некоторые кинематические различия навесных устройств колесных и гусеничных энергетических средств. Если в агрегате предусмотрено устройство быстро-соединяющее (автосцепка), его параметры должны соответствовать ГОСТ 25942–90.

При агрегатировании монтируемых СХМ наличие присоединительных элементов энергетических средств и их размеры проверяют по технической документации, предоставляемой разработчиком или производителем этого энергетического средства.

### **3.3. Методы обоснования ширины захвата проектируемой сельскохозяйственной машины**

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, производительности в поточных технологических линиях, согласования с требованиями сохранения плодородия почвы и неповреждаемости растений, 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) (3.2) с учетом вышеуказанных согласований параметра  $b$  СХМ.

### **3.3.1. Согласование параметров по качеству работы сельскохозяйственной машины**

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, осуществляющую предшествующую технологическую операцию (например, посев). СХМ, выполняющие  $i$ -ю операцию, должны иметь число секций  $N_i$ , равное или кратное числу секций СХМ на предыдущей ( $i-1$ )-й технологической операции:

$$N_i = \frac{N_{i-1} - 1}{K}, \quad (3.3)$$

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

При нарушении условия (3.10) 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. 3.3).

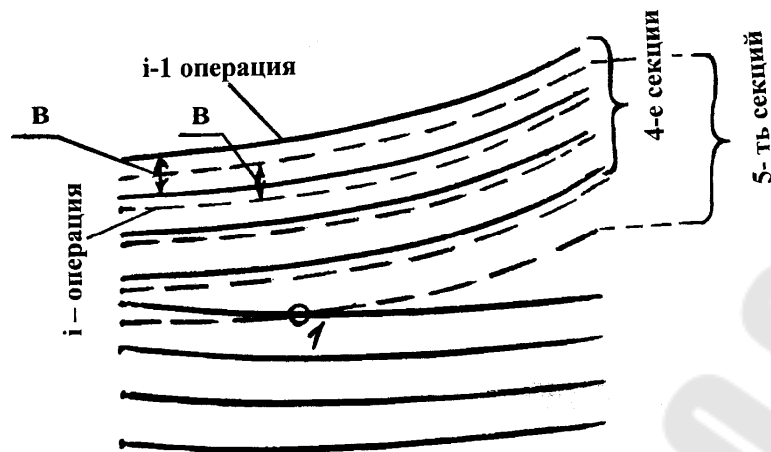


Рис. 3.3. Схема для оценки согласования числа секций  $N_i$  проектируемой СХМ, работающей на смежных операциях

2. При проектировании ширины  $B$  жатки-хедер (ЖХ) для зерноуборочного комбайна (ЗК) с заданными условиями его функционирования (урожайность  $q$ , Ц/га; производительность молотилки ЗК  $Q$ , кг/с; средняя рабочая скорость ЗК  $V$ , м/с;  $C$  – отношение зерна к соломе) для этих условий расчетная рабочая ширина  $B_p$  ЖХ определяется из условия

$$Q \leq Q_{\text{ж}},$$

где  $Q_{\text{ж}}$  – подача хлебной массы из ЖХ в молотилку ЗК, обеспечивающая рациональные условия функционирования молотилки:

$$Q \geq 0,01qB_p V \frac{1}{v}, \text{ кг/с}; \quad (3.4)$$

$$v = \frac{\text{зерно}}{\text{зерно} + \text{солома}}.$$

Из (3.4) следует, что

$$B_p = \frac{Qv}{0,01qV}, \text{ м}. \quad (3.5)$$

Например, для молотилки зерноуборочного комбайна с  $Q = 9$  кг/с, при  $c = 1/2$  ( $v = \frac{1}{1+2} = 0,333$ ),  $V = 6$  км/ч (1,666 м/с) в зависимости от урожайности  $q$  зерновых необходимая расчетная рабочая ширина  $B_p$  захвата ЖХ представлена в табл. 3.1.

**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  $V$  ( $4 \leq V < 8$  км/ч).

Изменение урожайности  $q$  повлечет за собой и изменение расчетной рабочей ширины  $B_p$  жатки для выполнения условия (3.4).

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.

### **3.3.2. Согласование параметров сельскохозяйственной машины с энергетическими характеристиками мобильного энергетического средства**

При известном энергетическом средстве (тракторе), используемом для агрегатирования с проектируемой СХМ с высоким потреблением энергии (плуги, глубокорыхлители), ограничением ширины  $B$  захвата является сила тяги  $P_{кр}$  трактора на крюке:

$$\eta P_{кр} \geq P_p, \quad (3.6)$$

где  $P_p$  – суммарное сопротивление от перемещения СХМ, выполняющей технологический процесс;  $\eta$  – коэффициент использования силы тяги  $P_{кр}$  трактора.

При равномерном и прямолинейном движении агрегата (трактор и агрегатируемая с ним СХМ):

$$P_{кр} = F - G_T (f_T \cos \alpha + \sin \alpha), \quad (3.7)$$

где  $F$  – движущая сила трактора;  $G_T$  – сила веса трактора;  $f_T$  – коэффициент перекачивания колес трактора по полю;  $\alpha$  – угол наклона поля к горизонту.

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

$$F = G_k \varphi \cos \alpha, \quad (3.8)$$

где  $G_k$  – нагрузка на ведущие колеса трактора в его горизонтальном положении;  $\varphi$  – коэффициент сцепления колес трактора с почвой:

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

где  $L$  – колесная база трактора;  $A$  – расстояние центра масс трактора от ведущих колес:

$$P_p = nP_{т.ф} + G_M \sin \alpha, \quad (3.9)$$

где  $P_{т.ф}$  – 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 [40]:

$$P_{т.ф} = fG_{п} + nkab + EabV_p^2, \quad (3.10)$$

где  $G_{п}$  – сила веса плуга;  $f$  – коэффициент сопротивления передвижению плуга в борозде;  $k$  – 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;  $V_p$  – 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, глубокихрыхлителей):

$$G_M = q_M B = q_M bn, \quad (3.11)$$

где  $q_M$  – удельная металлоемкость СХМ, кг/м;  $n$  – количество секций СХМ.

Подставив  $P_{кр}$  из (3.7) и  $P_p$  из (3.9) в выражение (3.6), с учетом  $G_M$  из (3.11) и  $F$  из (3.3), получим:

$$\eta[F - G_T(f_T \cos \alpha + \sin \alpha)] \geq n(P_{т.ф} + q_M b \sin \alpha), \quad (3.12)$$

отсюда

$$n \leq \frac{P_{\text{кр}} \eta}{P_{\text{т.ф}} + q_{\text{м}} b \sin \alpha} = \frac{\eta G_{\text{т}} \left[ \left( 1 - \frac{A}{L} \right) \varphi \cos \alpha - (f_{\text{т}} \cos \alpha + \sin \alpha) \right]}{P_{\text{т.ф}} + q_{\text{м}} b \sin \alpha}, \quad (3.13)$$

принимая  $n$  – целое число, расчетная ширина  $B$  агрегата или СХМ с  $n$  секциями шириной  $b$  каждая:

$$B = nb. \quad (3.14)$$

Для СХМ без секционирования рабочих органов (борона дисковая, каток прикатывающий, культиватор для сплошной обработки поля и др.), перемещающихся по горизонтальному полю ( $\alpha = 0^\circ$ ) с равномерной скоростью,  $V_p$  можно принять:

$$\eta P_{\text{кр}} \geq P_p \rightarrow \eta P_{\text{кр}} \geq P_{\text{ф}} B \rightarrow B \leq \frac{\eta P_{\text{кр}}}{P_{\text{ф}}}, \quad (3.15)$$

где  $P_{\text{ф}}$  – сопротивление от функционирования СХМ на единицу ее ширины  $B$ .

Преобразовав уравнение (3.15), умножив числитель и знаменатель на  $V_p$ , получим:

$$B \leq \frac{\eta P_{\text{кр}} V_p}{P_{\text{ф}} V_p} = \frac{\eta N_{\text{кр}}}{P_{\text{ф}} V_p}, \quad (3.16)$$

где  $N_{\text{кр}}$  – мощность трактора на крюке.

Очевидно, что величина тягового усилия  $P_{\text{т.ф}}$  или  $P_{\text{ф}}$  различна для СХМ одного типа (например, плуг) в разных природно-климатических зонах.

### 3.4. Обоснование типоразмеров сельскохозяйственных машин

Эффективность применения СХМ в сельском хозяйстве обеспечивается не только организационно-техническими мероприятиями при ее эксплуатации, но также должна планироваться в процессе проектирования СХМ, создания системы машин с рациональными параметрами.

К созданию системы машин привлекаются конструкторские организации. Напомним, что под системой машин понимается рацио-



нальная совокупность машин различного назначения, подлежащая реализации на предприятиях сельхозмашиностроения и позволяющая образовывать комплексы для выполнения всего многообразия производственных процессов во всех природно-климатических зонах стран экспорта, в том числе Российской Федерации.

При проектировании машины, вошедшей в систему, необходимо выбрать один или несколько основных ее типоразмеров (например, жатка с шириной захвата 3,5; 4; 5; 6 м), обеспечивающих высокие технико-экономические показатели.

Установлено, что с точки зрения рациональной эксплуатации системы для различных природно-климатических зон требуются разные рациональные параметры (типоразмеры) для одной и той же машины.

Установлено, что если в какой-либо зоне эксплуатировать СХМ с параметрами, отличными от рациональных (для этой зоны), то это приводит к увеличению затрат в эксплуатации этой СХМ, а отказ от рациональных параметров в целях унификации машин и увеличения при этом масштаба их производства может привести к относительному снижению затрат в промышленности. Таким образом, наличие этого противоречия сводит задачу к поиску экстремума типоразмеров СХМ.

Для обоснования рациональных параметров машин (ширина захвата, производительность), как правило, используют экономические критерии (приведенные затраты  $S$  на единицу продукции, прибыль  $\Pi$ ).

Примем функцию цели, позволяющую определить рациональные характерные показатели СХМ, – ширину  $b_j$  (или несколько однотипных СХМ с разной шириной  $b_j$ )  $j$ -й проектируемой СХМ.

Тогда функцию цели можно записать в виде

$$S = \sum_z \left[ \sum_i \sum_b (Z_{im} + Z_{ip} + A_{im} + R_{im} + A_{itp} + R_{itp} + \Gamma_i + T_i + X_i) X_{ib}^3 \right] \rightarrow \min, \quad (3.17)$$

где  $i$  – индекс операций, выполняемых  $j$ -й СХМ;  $z$  – индекс природно-климатической зоны;  $Z_m$  – заработная плата механизаторов (основная и дополнительная) на единицу работы (продукции) (ЕП), р./ЕП;  $Z_p$  – заработная плата рабочих на ручных операциях (основная и дополнительная), р./ЕП;  $A_m$  – амортизационные отчисления от балансовой стоимости, р./ЕП;  $R_m$  – затраты на технический уход и ремонт машины, р./ЕП;  $A_{tp}$  – амортизационные отчисления от балансовой цены трактора, агрегатируемого с машиной, р./ЕП;  $R_{tp}$  – затраты на техни-

ческий уход и ремонт трактора, р./ЕП;  $\Gamma$  – затраты на горюче-смазочные материалы или электроэнергию, р./ЕП;  $T$  – затраты на транспорт или авиообслуживание, р./ЕП;  $X$  – затраты на хранение техники, р./ЕП;  $X_{ib}^3$  – максимальное требуемое количество СХМ с параметром  $b$  в зоне «з» для выполнения  $i$ -й операции в лимитирующий период (период, требующий максимального количества СХМ для выполнения  $i$ -й операции):

$$X_{ib}^3 = \frac{V_i^3}{W_{ib}^3 t_i^3}, \quad (3.18)$$

где  $V_i^3$  – объем работы на  $i$ -й операции в зоне «з», га, т;  $W_{ib}^3$  – эксплуатационная производительность СХМ с параметром  $b$  при выполнении  $i$ -й операции;  $t_i^3$  – время работы СХМ с параметром  $b$  на  $i$ -й операции в зоне «з».

Для обеспечения требований сельскохозяйственного производства вводится условие – необходимость выполнения всеми СХМ данного назначения с различным параметром  $b$  всего объема работ  $i$ -й операции во всех природно-климатических зонах страны [4]:

$$\sum_3 \sum_i V_i^3 = \sum_3 \sum_b \sum_i W_{ib}^3 t_i^3 x_{ib}^3. \quad (3.19)$$

Экономические показатели в выражении (3.17) определены в [21], поэтому покажем только часть из них.

Амортизационные отчисления от балансовой цены СХМ:

$$A_{iM} = \frac{(\Pi_{\text{опт}} 1,1 H_M) \frac{t_i^3}{T_M}}{(W_{ib}^3 t_i^3)}, \quad (3.20)$$

где  $\Pi_{\text{опт}}$  – отпускная цена СХМ;  $H_M$  – коэффициент амортизационных отчислений от цены СХМ;  $T_M$  – время работы СХМ на выполнение всех  $i$ -х операций;

Затраты на технический уход и ремонт СХМ:

$$R_{iM} = \frac{(\Pi_{\text{опт}} 1,1 r_M) \frac{t_i^3}{T_M}}{(W_{ib}^3 t_i^3)}, \quad (3.21)$$

где  $r_m$  – коэффициент отчислений от цены СХМ на ее техобслуживание и ремонт.

Другие экономические показатели в выражении (3.17) также связаны с ценой СХМ и с параметром  $b$ . Оптовая цена СХМ на проектных стадиях может быть определена из выражения

$$\text{Ц}_0 = \text{C}_0 + \text{П}, \quad (3.22)$$

где  $\text{C}_0$  – себестоимость СХМ;  $\text{П}$  – прибыль;

$$\text{C}_0 = G(\lambda H K_m + M) + d, \quad (3.23)$$

где  $G$  – чистая масса машины (без покупных изделий), кг;  $\lambda$  – коэффициент конструктивной сложности проектируемой СХМ;  $H$  – затраты на изготовление 1 кг чистой массы проектируемой СХМ (данные по прототипу) при годовой программе в 10 тыс. шт., р.;  $K_m$  – коэффициент изменения величины  $H$  в зависимости от объема производства СХМ;  $M$  – стоимость 1 кг чистой массы материалов, использующихся при изготовлении машины, р.;  $d$  – стоимость покупных изделий, р.

Расчетная прибыль на одну СХМ:

$$\text{П} = p(\text{C}_0 - M_0 - d)/100, \quad (3.24)$$

где  $p$  – принятый уровень рентабельности продукции в сельскохозяйственном машиностроении ( $p \approx 50\%$ );  $M_0$  – стоимость материала, составляющего чистую массу СХМ.

Расчетная отпускная цена СХМ определяется из выражения

$$\text{Ц}_{\text{опт}} = \text{Ц}_0 + \text{Н}, \quad (3.25)$$

где  $\text{Н}$  – налог на производство изделия.

Очевидно, что рациональными будут параметры  $b$  СХМ, при которых реализуется функция цели (3.17):

$$S \rightarrow \min.$$

Для решения (3.17) предварительно оцениваются рациональные параметры  $b$  СХМ для различных природно-климатических зон из условий их эксплуатации (см. табл. 3.1).

Подставляя поочередно найденные рациональные величины параметра  $b$  в выражения (3.18)–(3.25), определяющие его отпускную цену, и в функцию цели (3.17), с учетом ограничений (3.19), находят предварительно одну рациональную величину параметра  $b$  для всех зон «з». Затем аналогичный расчет проводится для сочетания двух

возможных сочетаний размеров  $b$  (например, в табл. 3.1 – два из шести), трех, четырех и более возможных сочетаний при их различных долевых соотношениях в количестве СХМ.

Рациональным будет размер параметра  $b$  (или соответствующие сочетания параметров  $b$ ), определяющий рациональные типоразмеры СХМ, при котором реализуется функция цели (3.17) при выполнении ограничения (3.19).

Решение такой задачи для всех типов СХМ позволяет создать систему машин, включающую марки машин, их типоразмеры и основные параметры ( $b$ ,  $Q$ ) для различных природно-климатических зон. Причем при ее решении следует учитывать ограничения на параметр  $b$ , вытекающие из согласования параметров машин, работающих на смежных операциях (сеялка и культиватор для междурядной обработки пропашных культур и др.).

Исследования в области формирования рациональных типоразмеров жатвенного парка машин с учетом 7 природно-климатических округов в Российской Федерации показали, что жатвенный парк должен состоять из 190 тыс. валковых жаток и хедеров с шириной захвата 4–12 м на 50–60 млн га зерновых: преимущественно 6 м, сдваивающие 6–12 м и широкозахватные 10–12 м в вариантах агрегатирования с комбайном (до 30 %), прицепные к трактору (до 20 %) и самоходные навесные на спецэнергосредство (до 50 %).

Энергосредства должны быть двух типов – малогабаритные для валковых жаток и косилок для трав с шириной захвата до 5 м и с требуемой мощностью до 50 л. с. Для валковых жаток большого типоразмера и другой сельскохозяйственной техники необходимо создать энергосредства с мощностью двигателя до 100 л. с., массой не более 4 т и годовой загрузкой не менее 600 ч. По-прежнему актуальна проблема создания и выпуска универсальных жаток-хедеров с шириной захвата 6–12 м.

### **3.5. Оценка производительности мобильных машин и агрегатов**

#### ***3.5.1. Характеристика производительности сельскохозяйственных машин и агрегатов***

**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 ее помощью определяются основные удельные показатели: материалоемкость; трудоемкость, капитальные затраты и другая информация, необходимая для расчета экономической эффективности нового агрегата или СХМ. Производительность СХМ или агрегата подразделяется следующим образом:

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 возможных условий их эксплуатации. Например, при эксплуатации рабочая ширина захвата жатки меньше ее конструктивной ширины; учет 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 по выражению

$$W = CBV\tau, \text{ га/ч}, \quad (3.26)$$

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

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.):

$$\tau = \frac{t_p}{t_a}, \quad (3.27)$$

где  $t_p$  – время чистой работы СХМ 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  $\tau$  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.

### ***3.5.2. Организация работы сельскохозяйственных машин и агрегатов на уборочно-транспортных и транспортно-распределительных операциях***

Рассмотрим схему организации взаимодействия мобильных агрегатов, при которой возможно максимальное время чистой работы агрегата в период агросрока. СХМ или агрегат работают по схеме – перегрузочные работы агрегатов на уборочно-транспортных и транспортно-распределительных операциях (например, зернокомбайн и транспортные средства для отвоза зерна).

Примем условие «идеальной организации взаимодействия», предусматривающее отсутствие потери времени на маневрирование СХМ, или агрегата по полю и времени, затрачиваемого на ожидание загрузки (разгрузки), (нехватка транспортных средств).

Для этих условий структура времени агросрока:

$$t_a = t_p + t_x + t_B + t_T + t_{II} + t_{O.E}, \quad (3.28)$$

где  $t_x$  – время холостого хода СХМ или агрегата в поле;  $t_B$  – время внепланового восстановления и технологического обслуживания при случайных отказах (время ремонта и обслуживания);  $t_T$  – время технологического обслуживания (разгрузка бункера (зернокомбайн), загрузка бункера (сеялка));  $t_{II}$  – время переезда с поля на другое поле;  $t_{O.E}$  – время на отдых и естественные надобности оператора.

Конструктивный анализ агросрока должен быть направлен на уменьшение непроизводительной части времени агросрока (при этом возрастет  $t_p$ ). Для расчета величины коэффициента  $\tau$  удобно каждую из составленных времени агросрока выразить через  $t_p$ .

Время холостого хода  $t_x$  агрегата выразим через коэффициент полезного использования времени движения агрегата (коэффициент рабочих ходов  $F$ ):

$$F = \frac{S_p}{S_p + S_x} \quad \text{при } 0 < F < 1,$$

где  $S_p$  – длина рабочего хода агрегата;  $S_x$  – длина холостого хода агрегата;  $S_p + S_x$  – длина технологического перемещения агрегата за один цикл работы.

Если выразить величину  $S = Vt$  и принять различную, но постоянную в пределах выполнения только рабочего или только холостого хода скорость СХМ или агрегата при работе  $V_p$  и на холостом ходу  $V_x$ , то

$$F = \frac{S_p}{S_p + S_x} = \frac{V_p t_p}{V_p t_p + V_x t_x} = \frac{1}{1 + \frac{V_x t_x}{V_p t_p}} \rightarrow F \left( 1 + \frac{V_x t_x}{V_p t_p} \right) = 1;$$

$$F + F = 1 \rightarrow \frac{V_x t_x}{V_p t_p} t_x = \frac{(1 - F) V_p t_p}{F V_x}.$$

$$\text{При } V_p \equiv V_x \rightarrow F = \frac{V_p t_p}{V_p t_p + V_p t_x}; \quad F = \frac{t_p}{t_p + t_x}.$$

Отсюда

$$(t_p + t_{xx})F = t_p \rightarrow t_{xx} = \frac{t_p - t_p F}{F} = \frac{t_p(1 - F)}{F} = t_p \frac{1 - F}{F}.$$

Величина коэффициента рабочих ходов  $F$  зависит от размеров, кинематических характеристик, видов и способов движения СХМ и агрегатов по полю (челночный, петлевой и др. (рис. 3.4)), размеров поля, схемы холостых поворотов агрегата (рис. 3.5) и др. [19]. Например:

– для челночного способа движения (см. рис. 3.4, № 15; рис. 3.5):

$$F_4 = \frac{S_p}{\sum S_x^y}; \quad (3.29)$$

$$S_p + 6p_y + 2e + \frac{x}{C_{y4}} B_p$$

– для петлевого способа движения (см. рис. 3.4, № 21; рис. 3.5, в):

$$F_{\text{п}} = \frac{S_{\text{p}}}{S_{\text{p}} + C_{\text{опт}} + 1,14\rho_{\text{y}} + 2e}; \quad (3.30)$$

– для беспетлевого способа движения (см. рис. 3.4, № 20; рис. 3.5, б):

$$F_{\text{бп}} = \frac{S_{\text{p}}}{S_{\text{p}} + 5,14\rho_{\text{y}} + 2e} + \frac{K_{\text{с}}S_{\text{p}}B_{\text{p}}}{4\rho_{\text{y}}}, \quad (3.31)$$

где  $e$ ,  $\rho_{\text{y}}$ ,  $B_{\text{p}}$  (см. рис. 3.5),  $C_{\text{y4}}$  – ширина участка;  $S_{\text{x}}^{\text{y}}$  – дополнительное перемещение агрегата, связанное с заделкой поворотных полос (выравнивание почвы, ее вспашка и др.);  $C_{\text{опт}}$  – оптимальная ширина загона;  $K$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от способа движения СХМ или агрегата по полю.

Минимальный радиус  $\rho_{\text{y}}$  поворота СХМ или агрегата на поворотной полосе<sup>^</sup>

$$\rho_{\text{y}} = R_0 K_R, \quad (3.32)$$

где  $R_0$  – минимальный радиус поворота при скорости  $V = 5$  км/ч (см. табл. 3.2);  $K_R$  – коэффициент изменения радиуса поворота.

Таблица 3.2

**Значение наименьшего радиуса поворота для различных агрегатов**

Навесной и полуприцепной агрегат	Минимальный радиус поворота $R_0$ , м	Прицепной агрегат	Минимальный радиус поворота $R_0$ , м
Пахотный трех-восьмикорпусный	3 Вк	Пахотный трех-восьмикорпусный	4,5 Вк
Культиваторный для сплошной обработки	0,9 Вк	Культиваторный одномашинный	1,5 Вк
Посевной односекционный	1,1 Вк	Культиваторный одномашинный	1,2 Вк
Пропашной односекционный	0,9 Вк	Культиваторный Трехмашинный	Вк
		Бороновальный	Вк



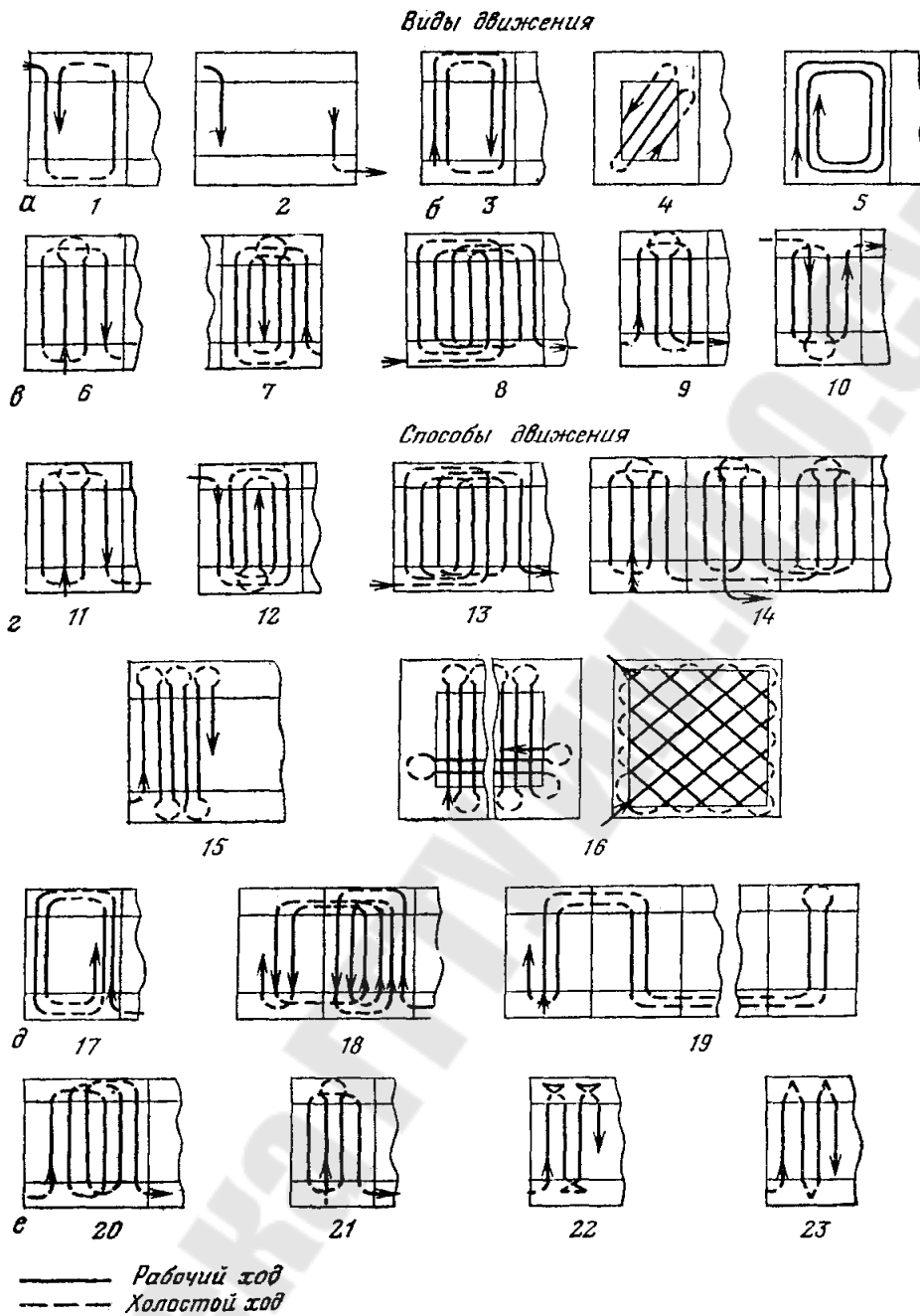


Рис. 3.4. Классификация видов и способов движения агрегатов:  
*a* – по организации территории; *б* – по направлению рабочих ходов;  
*в* – по общему направлению движения; *г* – по схеме обработки участка (загона); *д* – по числу одновременно обрабатываемых загонов; *е* – по виду поворотов: 1 – загонный; 2 – беззагонный; 3 – гоновый; 4 – диагональный; 5 – круговой; 6 – правоповоротный; 7 – левоповоротный; 8 – двухсторонний; 9 – от периферии к центру; 10 – от центра к периферии; 11 – в свал; 12 – вразвал; 13 – комбинированный; 14 – с чередованием загонов; 15 – челночный; 16 – перекрестный; 17 – однозагонный; 18 – двухзагонный; 19 – многозагонный; 20 – беспетлевой; 21 – петлевой; 22 – с задним ходом; 23 – игольчатый (реверсный)

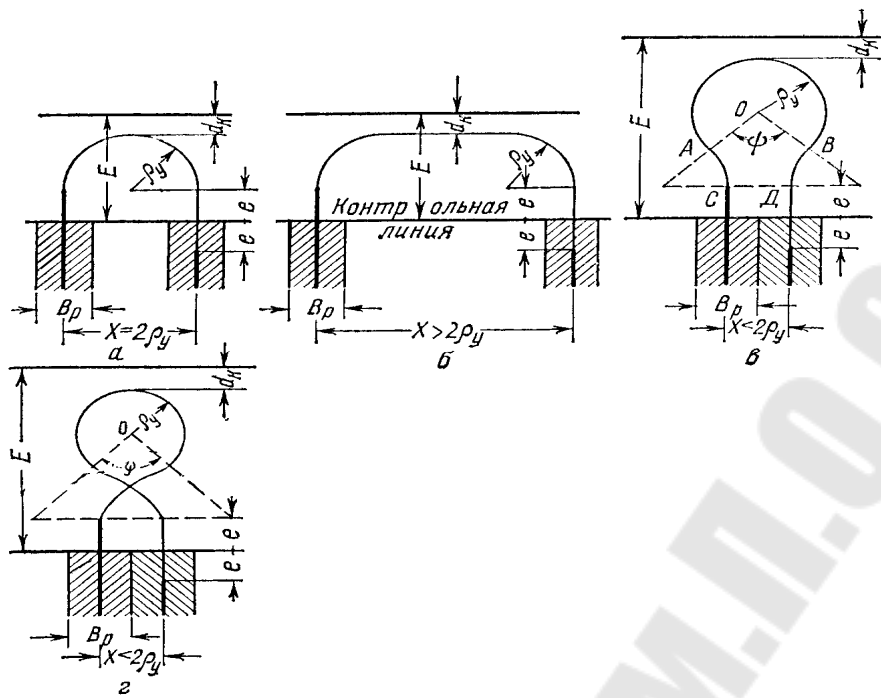


Рис. 3.5. Схемы холостых поворотов агрегата  
 ( $r_y$  – условный радиус поворота):  
 а – по окружности; б – с прямолинейным участком;  
 в – открытый петлевой (грушевидный);  
 г – закрытый петлевой (восьмеркой)

Время восстановления  $t_B$  – выразим через время чистой работы  $t_p$  с помощью коэффициентов технического использования  $K_{Т.И}$ :

$$K_{Т.И} = \frac{t_p}{t_p + t_B}, \quad (3.33)$$

$$t_B = t_{pe} + t_0,$$

где  $t_{pe}$  – время ремонта;  $t_0$  – время обслуживания.

Отсюда

$$t_B = \frac{(1 - K_{Т.И})t_p}{K_{Т.И}}. \quad (3.34)$$

Если в агрегате много  $j$ -х машин, то

$$t_B = t_{pe} \sum_j \left( \frac{1 - K_{Т.Иj}}{K_{Т.Иj}} \right). \quad (3.35)$$

Коэффициент технического использования  $K_{Т.И}$  может быть определен прогнозированием величины  $K_{Т.И}$  для машин этого класса.

Таблица 3.3

**Кинематическая длина тракторов и орудий**

Марка трактора, сцепки или орудия	Кинематическая длина, м	Марка трактора, сцепки или орудия	Кинематическая длина, м
Трактор: Т-16МГ, Т-25, Т-30	1,00	С-18У	8,00
		СП-15	7,20
Т-40М	1,32	СП-11	6,70
МТЗ-80, МТЗ-82	1,2/1,3	Плуг: «Груженик»	6,90
Т-150К	2,9/2,4		
Т-70С, Т-54В	1,85	ПЛН-5-35	4,30
ДТ-75МЛ, ДТ-75Н	2,35/1,55	ПЛН-4-35	2,60
Т-4,Т-4А	2,45/1,65	Борона: БЗТС-1	1,45
Т-150	2,12/2,55		
Т-130	2,60	БЗСС-1	1,45
Сцепка: СП-16	6,40	Культиватор: КПС-4, КПГ-4Г	1,0/4,6
С-11У	6,80		
		КПГ-2,2	3,9

Время на технологическое обслуживание СХМ или агрегата  $t_T$  включает в себя время простоя на загрузку или разгрузку  $T_3$  бункеров машин, вошедших в агрегат основным или вспомогательным материалами (бункер зерноуборочного комбайна, бункер сеялки и др.) и числом  $n$  этих остановок за один цикл их работы:

$$t_T = nT_3; \quad (3.36)$$

$$n = \frac{S_p}{l_{ТЕХН}}, \quad (3.37)$$

где  $l_{ТЕХН}$  – длина рабочего пути СХМ или агрегата от одного технологического обслуживания до другого, м.

Для определения рабочего пути СХМ или агрегата обозначим вместимость бункера для семенного ящика, определяющего количество остановок  $V_6$ , м<sup>3</sup>; массу продукции с единицы площади поля (заполняющую или опорожняющуюся на поле) (урожайность, норма высева)  $g$ , кг/га; объемную массу (плотность)  $\gamma$ , кг/м<sup>3</sup>; коэффициент максимального заполнения бункера  $\psi < 1$  (безразмерная величина).

Тогда

$$\frac{l_{\text{ТЕХН}} B_p}{10^4} g = V_6 \gamma \Psi \rightarrow l_{\text{ТЕХН}} = 10^4 \frac{V_6 \gamma \Psi}{B_p g}, \text{ м.}$$

Подставим  $l_{\text{ТЕХН}}$  в выражение (3.38), заменив  $S_p = V_p t_p$ , получим время, затраченное на технологическое обслуживание СХМ или агрегата:

$$t_T = \frac{V_p t_p B_p g}{10 V_6 \gamma \Psi} T_3. \quad (3.38)$$

Время переезда  $t_{\Pi}$  СХМ или агрегата с поля на поле зависит от средней площади  $F_{\text{СР}}$  полей, на которой выполняется сельскохозяйственная операция проектируемой СХМ или агрегата, расстояния между полями  $S_T$ , транспортной скорости  $V_{\text{ТР}}$  и времени  $t_2$  перевода агрегата из рабочего положения в транспортное и обратно в рабочее:

$$t_{\Pi} = K(t_1 + t_2),$$

где  $K$  – количество переездов за время агросрока;  $t_1$  – среднее время переезда СХМ или агрегата между полями.

С учетом известных зависимостей:

$$t_{\Pi} = \frac{0,1 B_p V_p t_p}{F_{\text{СР}}} \left( \frac{S_T}{V_{\text{ТР}}} + B_p \frac{T_j}{b_{jп}} \right), \quad (3.39)$$

где  $T_j$  – время перевода  $j$ -й машины в агрегате с ее рабочей шириной  $b_{jп}$  из рабочего положения в транспортное и назад в рабочее;  $B_p$  – рабочая ширина агрегата.

Время на отдых и естественные надобности  $t_{\text{О.Е}}$  оператора определяют долей  $K_4$  от всего времени его работы:

$$t_{\text{О.Е}} = K_4 \frac{t_p}{T_0}, \quad (3.40)$$

где  $T_0$  – коэффициент использования рабочего времени рассмотренных СХМ или агрегатов; можно определить методами краткосрочного прогнозирования, (например, методом статистического прогнозирования) по данным аналогов.

Подставив все найденные величины составляющих время  $t_a$  в выражение агросрока (3.3) и, соответственно, в выражение (3.2), разделив числитель и знаменатель на  $t_p$ , получим расчетное усредненное для различных СХМ и агрегатов, выполняющих различные операции в различных природно-климатических зонах страны, величину коэффициента  $T$  использования рабочего времени агросрока мобильных СХМ или агрегатов для условий перегрузочной организации их функционирования:

$$T = \frac{1}{1 + \frac{1-F}{F} + \sum_j \left( \frac{1 - K_{T.Ij}}{K_{T.Ij}} \right) + \frac{V_p B_p g T_3}{10 V_6 \gamma \psi} + \frac{0,1 B_p V_p}{F_{CP}} \left( \frac{S_T}{V_{TP}} + B_p \sum_j \frac{T_j}{b_j} \right) + \frac{K_4}{T_0}} \quad (3.41)$$

Проведем анализ возможностей обеспечения заданной производительности. В выражении (3.17) 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 (3.17) позволяет на проектной стадии оценить возможные пути роста величины  $T$ , а следовательно, и величины эксплуатационной производительности агрегата (3.26) Для определения рациональных величин  $T_3$ ,  $V_6$ ,  $V_{TP}$ ,  $T_j$  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], выбираемого 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. рис. 3.2), зависящее от кинематической длины (3.10) агрегата и его минимальной величины радиуса поворота (3.8).

Увеличение комплексного показателя надежности  $K_{Т.И}$  СХМ или агрегата предопределяется определенной системой действий при их проектировании. Рост объема бункера  $V_6$  и величина коэффициента его заполнения  $\psi$  теоретически увеличивают коэффициент  $T$ , но при этом существуют известные ограничения: на смещение вверх центра масс машины; допустимые удельные давления колес на поле (уплотнение почвы колесами СХМ или агрегатов ухудшает ее структуру и снижает урожайность, а также изменяет управляемость машин). Для СХМ, работающих на уборке культур, которые при въезде на поле транспортных машин травмируются (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  $V_{ТС}$  кузова транспортного устройства:

$$V_6 / V_{ТС} = C.$$

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

Рост величины коэффициента  $\psi$  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 ограничивается возможностями гидросистемы ее 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) широкозахватных культиваторов 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 шу-

мов, загазованности, вибраций и другого позволяет при эксплуатации уменьшить долю  $K_4$  времени на отдых и естественные надобности оператора.

Формула (3.17) может быть применена для расчета величины коэффициента использования рабочего времени СХМ и агрегатов при отсутствии в них бункера; при этом следует принять:

$$\frac{V_p B_p g T_3}{10 V_\delta \gamma \Psi} = 0. \quad (3.42)$$

Для *стационарных машин* в выражении (3.17) принимаем:

$$\frac{1-F}{F} = 0; \quad \frac{0,1 B_p V_p}{F_{CP}} \left( \frac{S_T}{V_{TP}} + B_p \sum_j \frac{T_j}{b_j} \right) = 0. \quad (3.43)$$

При отсутствии в этих машинах бункера дополнительно принимаем условие (3.18).

При наличии в стационарной машине бункера, выгружаемого после заполнения, количество остановок машины (см. (3.12)):

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

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

Подставив  $n$  в выражение (3.12), получим:

$$t_T = \frac{Q_1 t_p}{V_\delta \gamma \Psi} T_3. \quad (3.44)$$

Для этих условий в выражении (3.17):

$$\frac{V_p B_p g T_3}{10 V_\delta \gamma \Psi} \text{ заменим на } \frac{Q_1 T_3}{V_\delta \gamma \Psi}.$$

При наличии в стационарной машине САУ возможно  $\frac{K_4}{T_0} = 0$ .

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

$$Q = \frac{B_p V_p g}{36000} \frac{1}{\alpha}$$

получим:

$$B_p + \frac{360Q\alpha}{V_p g}, \quad (3.45)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, определяющий содержание массы основного продукта в исходной массе убираемой сельскохозяйственной культуры (например,  $\frac{\text{зерно}}{\text{зерно} + \text{солома}}$ );  $g$  – урожайность, ц/га.

### 3.6. 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  $Q_{эj}$  определим из выражения

$$Q_{эj} = Q_j T, \quad (3.46)$$

где  $T$  – величина коэффициента использования рабочего времени определяется из выражения (3.42) с изменениями (3.18)–(3.21).

При наличии загружаемого (разгруженного) бункера с остановкой работы СХМ или агрегатов без системы автоматического управления СХМ или агрегатов:

$$T = \frac{1}{1 + \sum_j \left( \frac{1 - K_{Т.Иj}}{K_{Т.Иj}} \right) + K_3 \frac{Q_1 T_3}{V_8 \gamma \Psi} + \frac{K_4}{T_0}}; \quad (3.47)$$

– при отсутствии бункера или возможности его загрузки или выгрузки без остановки СХМ:

$$\frac{Q_1 T_3}{V_8 \gamma \Psi} = 0;$$



– 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.

## **ГЛАВА 4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ**

### **4.1. Управление надежностью сельскохозяйственных машин. Общие понятия теории надежности. Показатели надежности сельскохозяйственных машин**

#### ***4.1.1. Управление надежностью сельскохозяйственных машин***

Под управлением надежностью СХМ в общем виде понимают совокупность скоординированных мероприятий по обеспечению рационального уровня показателей надежности машин в условиях рядовой их эксплуатации, при минимальных затратах на проектирование, в производстве и эксплуатации. Процесс управления надежностью машин сложен, многогранен, касается большого комплекса вопросов в сферах конструирования, испытания, производства, а также эксплуатации машин; он охватывает все стадии жизненного цикла. Этот процесс можно разделить на следующие этапы:

1. Выбор номенклатуры и численных значений показателей надежности. Это сложная технико-экономическая задача, решаемая комплексом исследовательских методов.

2. Нормирование ресурсов основных деталей, сборочных единиц и агрегатов, исходя из норм долговечности машины.

3. Конструкторское, расчетное, экспериментальное и технологическое обеспечение норм долговечности машины и ее составляющих.

4. Испытание и доводка новых конструкционных решений до заданных показателей.

5. Разработка инструкций по эксплуатации, ремонту и контролю состояния машины.

6. Аттестация технического уровня машины.

7. Обеспечение стабильности и совершенствование изготовления серийно выпускаемых машин.

8. Авторский контроль за эксплуатацией в рядовых условиях и разработка мероприятий по обеспечению надежности машины.

9. Разработка стандартов по обеспечению надежности машины.

Ряд рассмотренных этапов осуществляется одновременно, при этом они связаны между собой и дополняют друг друга.

Таким образом, управление надежностью машин требует комплексного подхода, причем разработка и принятие каждого мероприятия должны учитывать все его технико-экономические последствия как в сфере производства, так и в сфере эксплуатации.

Следует отметить, что среди перечисленных выше этапов обеспечения надежности каждый из них содержит некоторый объем экспериментально-исследовательских работ в виде эксплуатационных, полигонных или стендовых испытаний.

Испытания являются одним из основных видов информации о надежности машин. Полученные при этом данные об уровне надежности конструкции и ее зависимости от основных факторов, определяющих надежность, позволяют решать широкий круг вопросов управления качеством. К основным из них относятся: установление характеристик надежности, выявление слабых мест и разработка мероприятий по повышению их надежности, применение рациональной системы ремонта и технического обслуживания машины, определение эффективности и экономической целесообразности дальнейшей эксплуатации машины или агрегата, проверка достоверности расчетов и прогнозов, выполняемых при проектировании конструктивных элементов, а также оценки качества технологического процесса изготовления машины.

#### *4.1.2. Общие понятия теории надежности*

Основные понятия и термины надежности стандартизированы, но многие стандарты при этом имеют лишь рекомендательный характер.

**Технический объект** (объект) – предмет, подлежащий расчету, анализу, испытанию и исследованию в процессе его проектирования, изготовления, применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования в целях обеспечения эффективности его функционального назначения.

**Механическая система** (система) – сложный объект, представляющий собой совокупность взаимосвязанных и расположенных в определенном порядке объектов. В качестве таких систем рассматриваются машины, агрегаты, сборочные единицы, которые могут входить в более сложную систему как подсистемы или элементы.

**Элемент** – это деталь, сборочная единица, агрегат и даже машина, если они в данной системе представлены только своими внешними параметрами.

**Надежность** – свойство объекта выполнять и сохранять во времени заданные ему функции в заданных режимах и условиях приме-

нения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. Надежность является внутренним свойством объекта, но проявляется во взаимодействии этого объекта с другими объектами. Общее число единичных и комплексных показателей надежности объектов, с помощью которых определяется количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих в целом надежность исследуемой системы, составляет более трех десятков.

#### **4.1.3. Показатели надежности сельскохозяйственных машин**

Согласно ГОСТ 27.003–90 требования по надежности определяются как совокупность количественных и качественных требований к безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости, выполнение которых обеспечивает эксплуатацию объектов с заданными показателями эффективности [39].

В соответствии с нормативно-технической документацией по надежности машин к количественным показателям надежности относятся следующие: *безотказность* (вероятность безотказной работы, параметр потока отказов, средняя наработка до отказа и наработка на отказ,  $\gamma$  – процентная наработка); *долговечность* ( $\gamma$  – процентный и средний срок службы,  $\gamma$  – процентный и средний ресурс); *ремонтпригодность* (среднее время восстановления работоспособного состояния); *сохраняемость* (средний срок сохраняемости,  $\gamma$  – процентный срок сохраняемости); *комплексные показатели* (коэффициент готовности, коэффициент технического использования).

Показатели надежности СХМ и ее составляющих частей выбираются в зависимости от этапа работ по обеспечению их надежности. После завершения этапа работ может возникнуть необходимость выбора других показателей надежности. При выполнении НИР по повышению надежности рациональное использование нескольких показателей надежности, значения которых дополняют друг друга, позволяет эффективнее оценить успех проводимых работ. При обслуживании серийных СХМ номенклатура показателей надежности сокращается до минимального количества.

Процедура выбора номенклатуры показателей надежности состоит из трех этапов: выбор показателей безотказности, ремонтпригодности и комплексных показателей; выбор показателей долговечности; выбор показателей сохраняемости. Оценка ресурса СХМ определяется безотказностью и долговечностью.

## Показатели безотказности

Показатели безотказности машин приводятся в двух формах: вероятностной и статистической. Первая – удобна для аналитических расчетов, вторая – при экспериментальных исследованиях.

Показатели безотказности восстанавливаемых и невосстанавливаемых объектов во многом однотипны. Для оценки этих показателей необходимо рассмотреть следующие зависимости:

$$N(t) = N(0) - r(t);$$
$$N(t_2) = N(t_1) - [r(t_2) - r(t_1)],$$

где  $N(0)$  – число объектов в начальный момент времени;  $N(t)$  – число работоспособных объектов к моменту  $t$ ;  $r(t)$  – число отказавших объектов к моменту  $t$ .

Приведенные зависимости позволяют определить следующие показатели безотказности.

Вероятность безотказной работы:

– на интервале времени от 0 до  $t$ :

$$P(0, t) = \frac{N(t)}{N(0)} = 1 - \frac{r(t)}{N(0)};$$

– на интервале времени от  $t_1$  до  $t_2$ :

$$P(t_1, t_2) = \frac{N(t_2)}{N(t_1)}.$$

**Безотказность** – свойство объекта сохранять работоспособность непрерывно, в течение некоторого времени при некоторой наработке.

**Вероятность безотказной работы (ВБР)** – это вероятность того, что в пределах заданной наработки отказа объекта не возникает. Если  $N(t)$  – число работоспособных объектов на момент наработки  $t$ , то, например, к моменту наработки  $t_3$  вероятность безотказной работы определяется:

$$P(t) = P(0, t_3) = 1 - Q(0, t_3),$$

где  $N(0)$  – число работоспособных объектов при  $t = 0$ ;  $Q(0, t_3)$  – вероятность отказа за наработку от 0 до  $t_3$ .

Статистическая оценка вероятности безотказной работы за наработку  $t_3$  определяется:

$$\hat{P}(t_3) = \frac{N(t_3)}{N(0)} = 1 - \frac{N(0) - N(t_3)}{N(0)} = 1 - \frac{r(t_3)}{N(0)},$$

где  $r(t_3)$  – число отказавших объектов к моменту  $t_3$ .

Вероятность безотказной работы  $P(t)$  и вероятность отказа  $Q(t)$  образуют полную группу событий:

$$P(t) + Q(t) = 1.$$

Тогда

$$\hat{Q}(t_1) = \frac{r(t_1)}{N(0)}; \quad \hat{Q}(t_2) = \frac{r(t_2)}{N(0)} \text{ и т. д.,}$$

где  $r(t_1)$  – число отказавших объектов к моменту  $t_1$ .

При

$$\begin{cases} t = 0; r(0) = 0 \text{ и } Q(0) = 0 \\ t = \infty; r(\infty) = N(0) \text{ и } Q(\infty) = 1. \end{cases}$$

**Средняя наработка до отказа** – это математическое ожидание объекта до первого отказа за рассматриваемый период времени. Если  $Q(t)$  – плотность вероятности распределения наработки объекта до первого отказа, то средняя наработка до отказа [39]:

$$T_1 = \int_0^{\infty} t dQ(t) dt.$$

Нарботка до второго отказа может иметь другую функцию  $Q(t)$ .

Средняя наработка на отказ – это математическое ожидание наработки объекта между отказами за рассматриваемый период времени  $(t_1 - t_2)$ :

$$T_o(t) = \int_{t_1}^{t_2} t f_2(t) dt,$$

где  $f_2(t)$  – плотность вероятности распределения наработки объекта между отказами за период времени  $t_1 - t_2$ .

При нормальном законе функции  $f_2(t)$  можно принять  $T_0(t) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N t_i$ , где  $m$  – число отказов всех объектов;  $N$  – число объектов при испытании;  $t_i$  – время наработки  $i$ -го объекта между двумя отказами.

**Параметр потока отказов** – это характеристика восстанавливаемых объектов. Если каждый из  $N$  объектов ( $i = 1-N$ ) имеет наработку до отказа  $T_i$ , при этом у каждого  $r_i$  отказов, то вся масса отказов  $\sum r_i$  будет представлять собой *поток отказов*. Среднее число отказов за наработку  $T$ :

$$\hat{r} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i(T).$$

Применяя предельный переход при  $N \rightarrow \infty$ , получим математическое ожидание числа отказов за определенную наработку:

$$H(t) = \lim_{N \rightarrow \infty} \hat{r}(t) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i(t),$$

где  $H(t)$  – характеристика потока отказов, т. е. число отказов за определенную наработку.

Тогда *скорость появления отказов*, т. е. число отказов в единицу времени вблизи наработки можно определить как

$$\omega H(t) = \frac{dH(t)}{dt}.$$

Эта величина называется *параметром потока отказов*.

При известной величине  $T_0(t)_k$  для  $k$ -го элемента объекта:

$$\omega_k(t) = \frac{1}{T_0(t)_k}.$$

Если в объекте  $S$  элементов ( $k = 1, 2, 3, \dots, S$ ), то параметр потока отказов всего объекта  $\omega_0(t) = \sum_{k=1}^S \omega_k(t)$ .

Для внезапных (случайных) отказов вероятность безотказной работы объекта за период времени  $0-t$  может быть определена (прогноз) из выражения

$$P(0-t) = e^{-\omega(t)}.$$

В технике потоки отказов стараются свести к простейшим: стационарным, ординарным и не имеющим последствий.

*Стационарным* называется поток, в котором число отказов не зависит от момента начала отсчета, а зависит только от величины наработки  $\Delta t = t_2 - t_1$ .

*Ординарный* поток характеризуется тем, что за малый промежуток времени происходит не более одного отказа.

*Не имеющим последствий* называют такой поток отказов, когда отказ одного элемента не вызывает отказ других элементов. Это условие не всегда выполнимо.

**Интенсивность отказов** – это характеристика невосстанавливаемых объектов. Интенсивность отказов оценивает вероятность отказа за малый промежуток  $\Delta t$  времени работы (или наработки):

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{Q(\Delta t)}{\Delta t},$$

где  $Q(\Delta t)$  – вероятность отказа за время  $\Delta t$ .

Если известна плотность вероятности отказов  $q(t)$  и закон распределения вероятности безотказной работы  $P(t)$ , то

$$\lambda(t) = \frac{q(t)}{P(t)}.$$

Это выражение позволяет связать три главных характеристики и является *одним из основных в теории надежности*:

$$q(t) = \lambda(t)P(t).$$

Для стационарных, ординарных потоков отказов без последствий понятия «параметр потока отказов» и «интенсивность отказов» совпадают.

Таким образом, безотказность количественно характеризуется: *вероятностью безотказной работы  $P(t)$ ; средней наработкой до отказа  $T_1$ ; интенсивностью отказов  $\lambda(t)$ ; параметром потока отказов  $\omega(t)$ ; наработкой на отказ  $T_0$ .*

### Показатели долговечности

**Долговечность** – свойство объекта сохранять работоспособность до перехода в предельное состояние с возможными перерывами для технического обслуживания и ремонтов. Долговечность характе-



ризуется продолжительностью работы объекта по суммарной наработке, прерываемой периодами для восстановления его работоспособности в плановых и неплановых ремонтах и техническом обслуживании. Для объекта процесс эксплуатации можно представить в виде схемы, представленной на рис. 4.1.

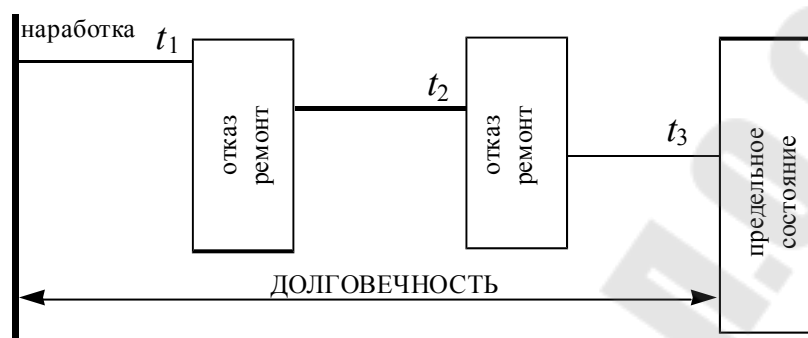


Рис. 4.1. Процесс эксплуатации машины

Количественно долговечность оценивается основными показателями: сроком службы, ресурсом.

**Срок службы** – календарная продолжительность эксплуатации объекта от начала его применения до наступления предельного состояния.

**Ресурс** – наработка объекта от начала его применения до наступления предельного состояния  $\sum t_i$ . Срок службы учитывает не только рабочее время, но и время простоев, хранения, транспортирования.

**Гамма-процентный ресурс** – наработка, в течение которой объект не достигает предельного состояния с заданной вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

По достижении наработки  $T \gamma \%$  машин из парка останутся работоспособными.

Для невосстанавливаемых объектов понятия ресурса и наработки на отказ совпадают.

Для восстанавливаемых объектов значение наработки, для которой задана вероятность безотказной работы (ВБР)  $P(t) = \gamma \%$ , и есть  $\gamma \%$  – ресурс.

**Средний ресурс** – математическое ожидание ресурса.

**Назначенный ресурс** – ресурс, по достижении которого объект снимается с эксплуатации независимо от его состояния. Назначенный ресурс определяется по условиям безотказности или по экономическим соображениям.

Аналогичными показателями характеризуется и срок службы:  $\gamma$  % – срок службы (например,  $\gamma = 80$  %, т. е. при достижении заданного срока службы 80 % парка машин останутся работоспособными).

### **Показатели ремонтпригодности**

**Ремонтпригодность** – свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к предупреждению и обнаружению отказов и повреждений, восстановлению работоспособности и исправности путем проведения технического обслуживания и ремонта.

Свойство ремонтпригодности количественно характеризует компоновочное решение системы (машины, агрегата, сборочной единицы, детали), а также их доступность и легкосъемность.

Для поддержания надежности машины в эксплуатации проводят техническое обслуживание. Для всей используемой техники принята система планово-предупредительного технического обслуживания (ППТО) и ремонтов. Плановость заключается в планировании ТО и ремонтов, а предупредительность в том, что ТО содержит операции, предупреждающие отказы. Правила ТО излагаются в инструкциях по эксплуатации машины. Существуют ежесменные – ЕТО, а также ТО-1 и ТО-2.

Проводят ЕТО перед началом каждой смены, т. е. через 8–10 ч работы. Периодичность ТО-1 и ТО-2 определяется нормативно-технической документацией на машину, где указывается объем наработки (в часах или других показателях). Обычно после 2–5 ТО-1 выполняют ТО-2, а затем все это повторяется.

В настоящее время проводится два вида плановых ремонтов: текущий и капитальный.

**Текущий ремонт** характеризуется небольшим количеством сборочно-разборочных работ относительно низкой стоимости, возможностью проведения ремонта на месте без транспортирования СХМ на ремонтное предприятие. Суть этого ремонта заключается в замене недолговечных частей и восстановлении работоспособности отдельных агрегатов с помощью регулировки.

**Капитальный ремонт** характеризуется большим объемом сборочно-разборочных корпусных деталей, применением специального оборудования в специализированных производственных условиях.

Кроме плановых ремонтов существуют внеплановые ремонты при отказах. Агрегатно-узловой метод ремонта заключается в замене отказавших агрегатов агрегатами из запасного фонда.

Показатели ремонтпригодности определяются как затраты времени, труда и средств на выполнение операций по монтажу и демонтажу сборочных единиц, их сборке и разборке, а также на выполнение сопутствующих подготовительных и заключительных операций. На все виды плановых ТО и ремонтов есть нормативы по затратам времени, труда и средств. Количественно ремонтпригодность оценивают:

– *средним временем восстановления за период времени  $t_1-t_2$ :*

$$\bar{t}_B = \int_{t_1}^{t_2} t f_B(t) dt,$$

где  $f_B(t)$  – плотность вероятности распределения времени восстановления отказов за период времени  $t_1-t_2$  работы объекта. При нормальном законе распределения  $f_B(t)$  можно принять:

$$\bar{t}_B = \frac{\sum_{i=1}^n t_{Bi}}{n},$$

где  $n$  – число отказов технического обслуживания, ремонтов за период времени  $t_1-t_2$  работы объекта;  $t_{Bi}$  – время восстановления  $i$ -го отказа, ремонта, обслуживания.

– *вероятностью восстановления в заданное время  $P_b(t)$*  – это вероятность того, что время восстановления не превысит заданное  $T_b$ ;

– *затратами времени, труда, средств на выполнение операций* по восстановлению его работоспособности, на выполнение обслуживания, которые оцениваются оперативными показателями;

– *затратами на обслуживание и ремонт за определенную наработку* объекта – оцениваются суммарными показателями;

– *затратами на обслуживание и ремонт*, приходящимися на *единицу наработки*, – оцениваются удельными показателями.

### Показатели сохраняемости

**Сохраняемость** – свойство объекта непрерывно сохранять исправное и (или) работоспособное состояние в течение и (или) после режима ожидания, хранения и (или) транспортирования.

Свойство сохраняемости характеризует способность объекта противостоять отрицательному влиянию факторов длительного его хранения или транспортирования и обеспечивать его применение после режима ожидания с заданными показателями функционирования

с сохранением показателей безотказности и долговечности как объекта в целом, так и его элементов.

Количественные характеристики этого показателя надежности аналогичны количественным характеристикам показателей долговечности (срок службы – срок сохраняемости).

**Срок сохраняемости** – календарная продолжительность хранения и (или) транспортирования объекта в заданных условиях, в течение и после которых сохраняются исправность и основные показатели надежности в пределах, установленных научно-технической документацией (НТД). Такими характеристиками являются:

– *гамма-процентный срок сохраняемости* – календарная продолжительность хранения, в течение которой объект не достигнет предельного состояния (т. е. показатели безотказности, долговечности и ремонтпригодности не выйдут за установленные пределы) с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах;

– *средний срок сохраняемости* – математическое ожидание срока сохраняемости:

$$\bar{t}_c = \int_{t_1}^{t_2} t f_c(t) dt,$$

где  $f_c(t)$  – плотность вероятности распределения времени сохраняемости объекта за период времени  $t_1 - t_2$ .

При нормальном законе распределения  $f_c(t)$  можно принять:

$$\bar{t}_c = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ci}}{n},$$

где  $n$  – число оценок времени сохраняемости объекта за рассматриваемый период времени  $t_1 - t_2$ ;  $t_{ci}$  – срок сохраняемости при  $i$ -м испытании.

Для машин, имеющих сезонное применение, значение этого показателя надежности очень велико.

### **Комплексные показатели надежности**

Комплексные показатели характеризуют одновременно два и более свойств объекта. Наиболее широко используются такие показатели, как коэффициент готовности, коэффициент технического использования и коэффициент оперативной готовности.

**Коэффициент готовности** – вероятность того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается. Определяется он статистически:

$$\hat{K}_Г = \frac{\sum_{n=1}^N t_n}{\sum_{n=1}^N t_n + \sum_{n=1}^N \tau_n},$$

где  $N$  – число наблюдаемых объектов;  $t_n$  – суммарная наработка  $n$ -го объекта в заданном интервале эксплуатации;  $\tau_n$  – суммарная продолжительность восстановления работоспособности в заданном интервале эксплуатации.

Коэффициент готовности оценивает надежность объекта на определенном интервале эксплуатации и является средней величиной на данном интервале. При нормировании этого показателя необходимо в НТД указывать интервал эксплуатации объекта, на котором его следует оценивать.

**Коэффициент технического использования** – отношение математического ожидания наработки объекта за некоторый период эксплуатации к сумме математических ожиданий наработки, продолжительности технического обслуживания и ремонтов за тот же период эксплуатации.

Обычно  $K_{Т.И}$  определяется на базе ремонтного цикла:

$$K_{Т.И} = \frac{T_p}{T_p + \sum \tau_{Т.О} + \sum \tau_p + \sum \tau_b},$$

где  $T_p$  – наработка за некоторый период эксплуатации (например, до первого капитального ремонта);  $\sum \tau_{Т.О} + \sum \tau_p + \sum \tau_b$  – сумма ТО, ремонтов и восстановления объекта за тот же период.

Если  $\hat{K}_{Т.И} = 0,9$ , то 90 % машин можно эксплуатировать, а 10 – находятся в ремонте.

**Коэффициент оперативной готовности** – вероятность того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается, и начиная с этого времени будет работать безотказно в течение заданного интервала времени:

$$\hat{K}_{O.\Gamma} = \hat{K}_{\Gamma} P(t_0, t_1),$$

где  $t_0$  – момент времени, с которого возникает необходимость применения объекта по назначению;  $t_1$  – момент времени, когда применение объекта по назначению прекращается;  $P(t_0, t_1)$  – вероятность безотказной работы объекта в интервале  $(t_0, t_1)$ .

## 4.2. Критерии отказов и предельных состояний

С точки зрения требований надежности *любое изделие может* находиться в одном из двух состояний: быть работоспособным или неработоспособным. Все критерии отказов можно разделить на три блока: экономические, технические, параметрические.

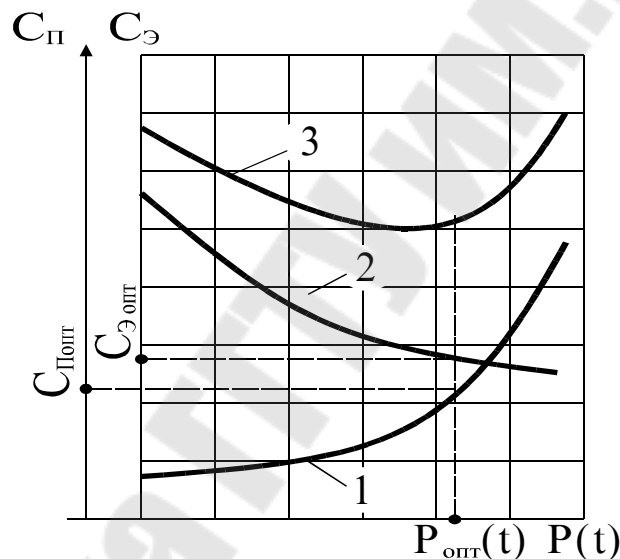


Рис. 4.2. Зависимость эксплуатационных и производственных затрат от условия надежности объекта:

1 – затраты на обеспечение уровня безотказности в производстве; 2 – затраты на поддержание уровня безотказности в эксплуатации; 3 – суммарные затраты

*Экономическими* критериями отказов могут служить прямые затраты по восстановлению работоспособности. Эти затраты выражаются через трудоемкость или стоимость, а также через косвенные потери производительности из-за вынужденных простоев, энергии, сырья, горючего, материалов или проявления недопустимых отклонений показателей качества продукции, производимой объектом, выраженных через экономический ущерб (от простоев техники) (рис. 4.2).

*Техническими* критериями отказов являются недопустимые изменения геометрических форм элементов объекта (предельный износ пар трения, предельное значение деформаций, появление усталостных трещин, появление вибраций, шума и тому подобного), которые можно обнаружить и измерить.

*Параметрическими* критериями отказов могут быть выходы параметров качества функционирования за установленные НТД пределы.

#### **4.2.1. Классификация отказов**

По *частоте отказов* различают единичные отказы и повторяющиеся  $n$  раз за определенный период наработки.

По *последствиям* отказы разделяются на отказы функционирования и параметрические. *Отказ функционирования* заключается в том, что объект не может выполнять своих функций. *Параметрический отказ* заключается в выходе параметров объекта за допустимые пределы.

По *сложности устранения* отказы объектов делятся на три группы:

I – устранимые в процессе технического обслуживания;

II – устранимые в процессе текущего ремонта;

III – устранимые в процессе капитального ремонта.

По *способности восстановления работоспособности* объекта отказы подразделяются на устранимые:

– в эксплуатационных условиях;

– в стационарных условиях.

По *внешним проявлениям* отказы делятся на явные и скрытые.

По *взаимосвязям между отказами* различают первичные отказы и вторичные (зависимые) отказы.

По *условиям возникновения* дифференцируют отказы при хранении, транспортировке, холостом пробеге, при выполнении основной работы.

По *уровню внешних воздействий* отказы делятся на возникающие при нормальных или при экстремальных условиях эксплуатации.

По *возможности прогнозирования* различают: прогнозируемые по сроку службы или ресурсу; прогнозируемые по параметрам объекта; непрогнозируемые.

По *характеру возникновения* разграничивают постепенные и внезапные отказы.

*Постепенные отказы* возникают в результате возрастающей потери работоспособности элементов объекта. Это обуславливается протеканием процессов старения, износа, коррозии и т. д. Основным признаком постепенного отказа является то, что вероятность его возникновения  $Q(t)$  в течение заданного периода времени от  $t_1$  до  $t_2$  зависит от длительности его предыдущей работы  $t_1$ . Чем больше эксплуатируется объект, тем выше вероятность возникновения отказа.

*Внезапные отказы* объекта проявляются в виде внезапной полной потери работоспособности. Они возникают в результате сочетания неблагоприятных факторов и случайных воздействий. Отказ возникает через некоторый промежуток времени  $t_1$ , который является случайной величиной. Основным признаком внезапного отказа является независимость вероятности его возникновения  $Q(t)$  в течение заданного периода времени от  $t_1$  до  $t_2$  от длительности предыдущей работы объекта  $t_1$ . К таким отказам относятся поломки от чрезмерной нагрузки, усталости, тепловые трещины и др. Отказ происходит внезапно, без предшествующих признаков.

По *системам и агрегатам машины* различают следующие отказы: несущей системы (конструкции); трансмиссии; ходовой части; рабочих органов; электрооборудования; гидросистемы; пневмосистемы; системы управления и т. д.

#### **4.2.2. Причины отказов технических систем**

Долговечность любой технической системы характеризуется в основном двумя факторами:

1) *ранними отказами* – выходом системы из строя в начале эксплуатации из-за дефектов, выявляющихся в этот период; они уменьшаются по мере приработки;

2) *отказами, вызванными длительной эксплуатацией*, количество которых возрастает по мере использования технической системы и ухудшения свойств ее деталей.

*Ранние отказы* – это отказы в начальный период работы механической системы, которые могут быть следствием: несовершенства конструкции; погрешностей изготовления; погрешностей монтажа; ошибок, допущенных при вводе в эксплуатацию; неправильной эксплуатации.

*Ошибки конструирования* в основном проявляются в течение короткого периода времени, поскольку длительная эксплуатация очень несовершенной конструкции невозможна. Менее значительные



дефекты конструкции приводят к большим значениям интенсивности потока отказов в течение длительного промежутка времени.

*Погрешности изготовления* носят более случайный характер и проявляются в длительный промежуток времени, который зависит от вида изделия и рода погрешности (дефектный материал, неквалифицированное исполнение), а также от значимости каждой из этих погрешностей.

*Погрешности монтажа* могут включать в себя монтаж не тех деталей, неправильное размещение деталей, отсутствие важных деталей (например, пружинных шайб и т. п.).

*Ошибки при вводе в эксплуатацию* дают малые значения интенсивности потока отказов, но сокращают ресурс машины (например, эксплуатация двигателя в период приработки и т. п.).

*Недостатки эксплуатации* зависят от степени обученности персонала, поэтому ордината  $\lambda_5$  снижается в начальный период, а затем остается постоянной.

*Отказы в период завершения эксплуатации* – этот период эксплуатации характеризуется тем, что система перестает функционировать. Характеристики деталей настолько ухудшаются, что они больше не в состоянии выполнять свои функции, необходимые для обеспечения работы системы. Такие отказы вызываются разрушением конструкции вследствие перегрузки; ослаблением креплений; уменьшением прочности материала.

*Перегрузка* может быть вызвана неправильной эксплуатацией машины. Наибольшая вероятность отказа возникает при больших перегрузках машины, даже если и не бывает внезапного отказа.

После больших перегрузок могут увеличиваться зазоры и деформации, что вызовет прогрессивное возрастание динамических нагрузок.

*Ослабление* крепежных деталей, таких, как гайки, связано с перегрузками. Но ослабление возможно и вследствие усталости в результате фреттинг-коррозии. После некоторого периода эксплуатации все крепления разбалтываются и происходит ослабление крепления.

*Ухудшение* свойств материала происходит непрерывно с момента приложения нагрузок и возникновения в материале под действием кристаллов.

Совокупное влияние этих факторов должно вызывать увеличение интенсивности потока отказов.

### **4.3. Повышение надежности на стадии разработки конструкции сельскохозяйственной машины и ее составных частей**

Стадия «*Технический проект*» является основным этапом проектирования изделий. На этом этапе должно обеспечиваться и подтверждаться соответствие достигнутого уровня надежности разрабатываемого или модернизируемого изделия нормативным требованиям; а также должны быть выявлены все основные «слабые» элементы конструкции, установлены ожидаемые причины отказов. Проводимые на этой стадии мероприятия по повышению надежности должны учитывать и быть взаимосвязаны как с технологией изготовления, так и со стратегиями ТО и ремонта техники. На стадии «*Технический проект*» выполняются следующие основные виды работ по обеспечению надежности [25]:

- 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 изделия 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 нор-

мативно-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. 4.3, 4.4.

В зависимости от вида техники этот состав работ может быть изменен в сторону уточнения, связанного с возможностями и квалификацией работников конструкторского бюро. Как правило, за основу отработки на надежность машин должна приниматься *требуемая* (назначенная, гарантируемая) *наработка*  $T_{тр}$ , *ресурс* или *срок службы*.

В зависимости от величины этой наработки или ресурса конструктор и разработчик выбирают материалы, проводят прочностные расчеты, выбирают конструктивное исполнение изделия, размеры, технологические процессы, системы технического обслуживания и ремонта так, чтобы обеспечить эти нормы для проектируемого объекта.

Приведем пример. Для машин сезонного использования требуемая наработка равна наработке за агросезон, для гибких производственных систем и автоматических линий – за сутки или за неделю.

По каждому принятому конструктивному решению определяется вероятность, с которой обеспечивается требуемый норматив по безотказности или долговечности, т. е. вероятность безотказной работы (ВБР) за требуемую наработку  $P(T_{тр})$ .

*Для изделий, отказы которых связаны с угрозой безопасности человека, окружающей среды или с большими экономическими потерями, в основу наработки принимается назначенный ресурс.*



Рис. 4.3. Отработка изделий на надежность на различных стадиях жизненного цикла

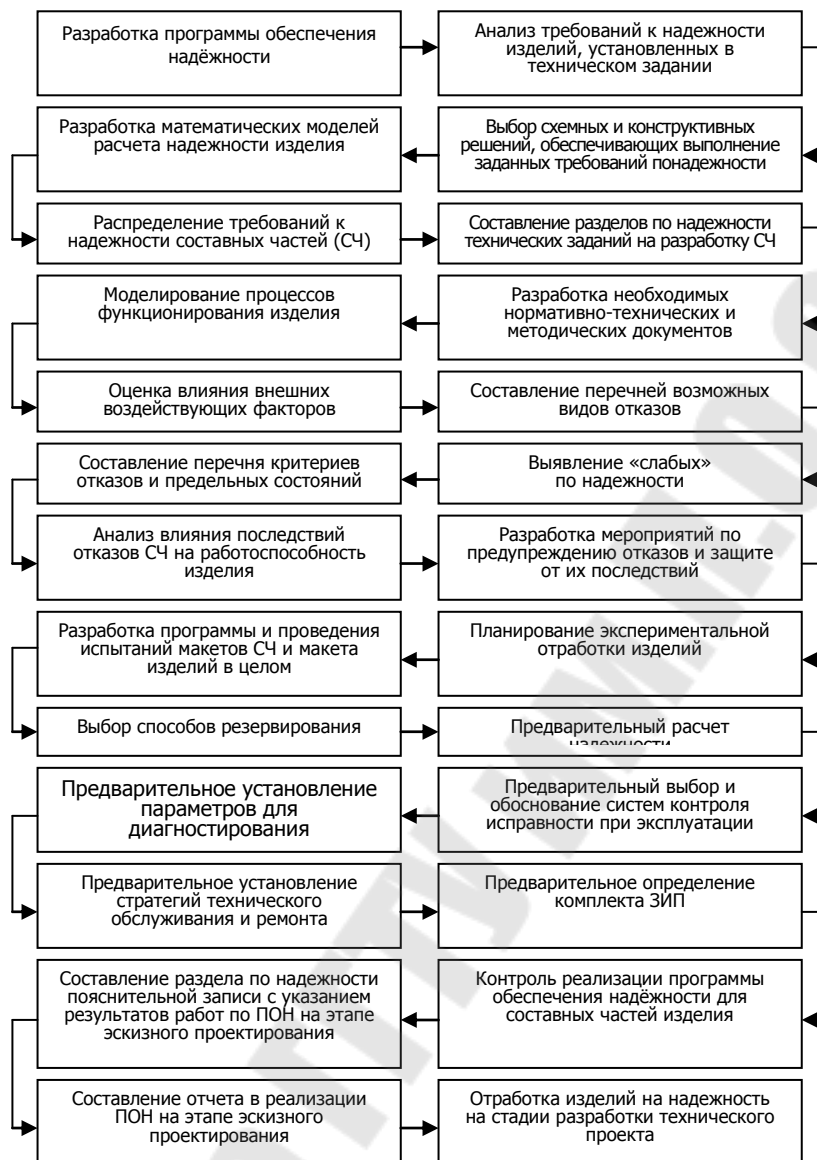


Рис. 4.4. Этапы отработки изделий на надёжность на стадии эскизного проекта

Основными способами и методами обеспечения надёжности 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 надёжности; установление требований к надёжности комплектующих изделий, а также 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.

#### 4.4. Повышение надежности за счет резервирования

Уровень надежности определяется в процессе проектирования. На последующих этапах изготовления, сборки, эксплуатации изделия, заложенный уровень схемной надежности повысить невозможно. Схемная надежность может быть изменена путем изменения структуры системы, физическая надежность – посредством изменения конструкции деталей. Так, при последовательном соединении элементов вероятность безотказной работы (ВБР) системы будет падать с увеличением числа элементов, входящих в эту систему (рис. 4.5). Повышения надежности системы можно добиться с увеличением числа элементов при параллельном их соединении (рис. 4.6).

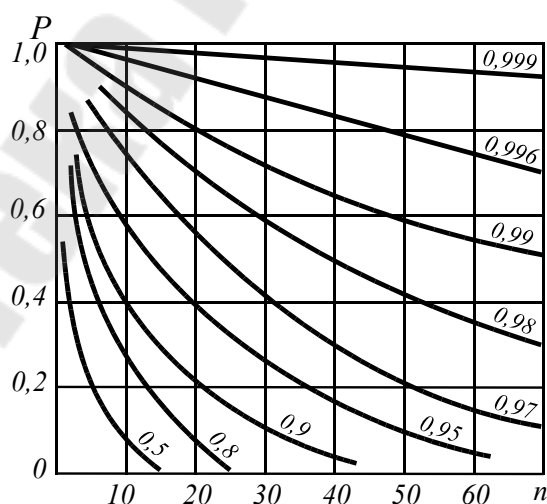


Рис. 4.5. Зависимость ВБР системы от количества последовательно соединенных элементов:  
 $P$  – вероятность безотказной работы системы;  $n$  – число элементов системы; цифры над кривой – ВБР каждого элемента, из которого составлена система

Но при этом следует заметить, что, как в том так и в другом случае, состояние системы во многом определяется ВБР самого элемента, входящего в системы.

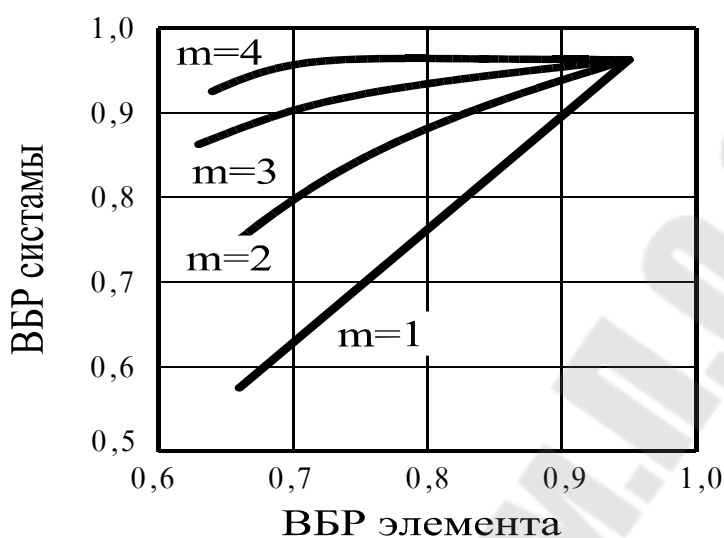


Рис. 4.6. Повышение надежности при параллельном соединении  $m$  элементов

Способ повышения надежности за счет увеличения параллельных элементов в сельскохозяйственном машиностроении не может быть реализован, так как механическую систему с большим числом параллельных элементов трудно спроектировать, да и к тому же подключение большого числа параллельных элементов дает все меньший эффект. Все же при необходимости в технике применяют введение избыточных элементов с целью повышения надежности системы. Такой метод повышения надежности называется резервированием.

*Резервирование* – метод обеспечения надежности, состоящий в применении дополнительных средств и возможностей с целью сохранения работоспособности объекта при отказе одного или нескольких его элементов или нарушении связей между ними. Резервирование целесообразно использовать в тех случаях, когда другие методы повышения надежности оказываются недостаточными или ими нельзя воспользоваться в полной мере из-за ограничений, возникающих при проектировании и эксплуатации систем.

Основой резервирования является введение избыточности дополнительных элементов. Резервирование может быть выполнено за счет поэлементного (*раздельного*) резервирования (рис. 4.7) или за счет *общего* резервирования (рис. 4.8).

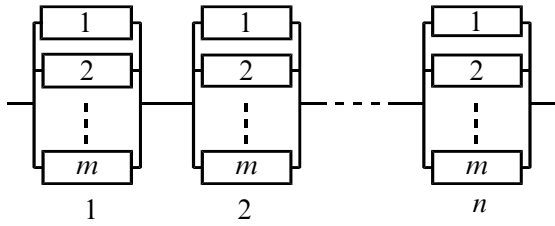


Рис. 4.7. Поэлементное или раздельное резервирование

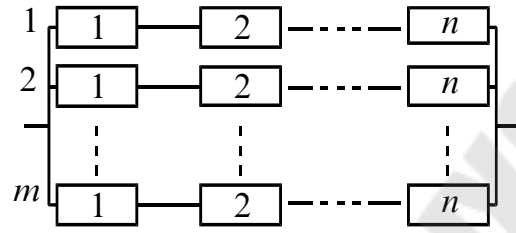


Рис. 4.8. Общее резервирование

При *раздельном резервировании* ВБР группы параллельно соединенных элементов определяется по выражению

$$P_{\text{пар}} = 1 - (1 - P_i)^m,$$

а ВБР всех этих последовательно соединенных эквивалентных элементов, т. е. для всей системы, определяется следующим образом:

$$P_{\text{сис}} = \prod_{i=1}^n [1 - (1 - P_i)^m],$$

где  $n$  – количество элементов в системе;  $P_i$  – ВБР  $i$ -го элемента;  $m$  – количество резервных элементов.

В системе с общим резервированием определяется сначала ВБР каждой из последовательных цепочек, а затем уже самой системы:

$$P_{\text{пос}} = \prod_{i=1}^n P_i; \quad P_{\text{сис.о}} = 1 - \left(1 - \prod_{i=1}^n P_i\right)^m,$$

где  $P_{\text{пос}}$  – ВБР системы с последовательным соединением элементов (т. е. каждой параллельной ветви);  $P_{\text{сис.о}}$  – ВБР системы с общим резервированием.

Расчеты показывают, что при различных значениях  $m$  и  $n$  надежность при раздельном резервировании всегда выше. Иллюстрацией этого может служить семейство кривых вероятности безотказной работы конкретного изделия  $P = \varphi(n)$  при различных значениях  $m$  (рис. 4.9). Эти кривые дают наглядное представление о том, насколько эффективнее способ раздельного резервирования. Отметим, что постоянное включение резерва (*активное резервирование*) и включение резерва способом замещения (*пассивное резервирование*) в общем случае не являются равноценными. Если резервные элементы имеют в процессе дежурства облегченные условия работы, то активное резервирование принципиально более выгодно, чем пассивное, причем преимущество

активного резервирования тем заметнее, чем более облегчен дежурный режим резерва. В этом случае выигрыш в надежности благодаря включению способом замещения может быть значителен.

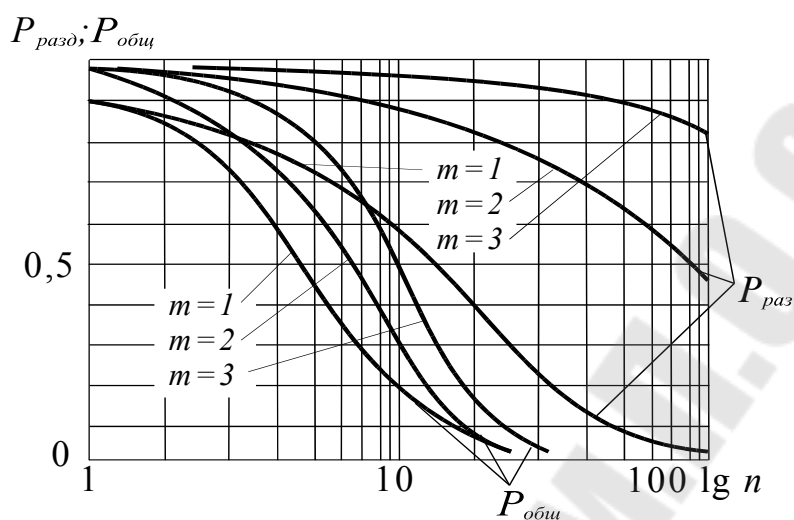


Рис. 4.9. Зависимость вероятности безотказной работы системы от  $n$  и  $t$  при различных способах резервирования

Применение отдельного резервирования совместно с включением резерва способом замещения – наиболее эффективный прием резервирования, позволяющий получить высокую надежность сложного изделия [9].

При предварительной оценке безотказности системы и выборе способов повышения безотказности рекомендуется учитывать: при последовательном соединении элементов ВБР системы ниже, чем у наименее «надежного элемента («хуже худшего»); при параллельном соединении элементов ВБР системы выше, чем у наиболее надежного элемента («лучше лучшего»); резервирование системы с последовательным соединением элементов целесообразно начинать с наиболее ненадежных элементов (в этом случае повышение ВБР системы наибольшее); отдельное резервирование каждого элемента повышает ВБР системы больше, чем общее резервирование.

#### 4.5. Достижение заданного уровня надежности элементов сельскохозяйственной машины расчетными методами

Вероятностные методы расчета на усталость элементов конструкции обладают рядом преимуществ перед методами, основанными на детерминистических представлениях (расчеты по запасам прочности,



по допускаемым напряжениям и т. п.), поскольку позволяют учитывать изменчивость параметров спектров действующих напряжений и рассеивание характеристик выносливости и дают возможность охарактеризовать их влияние на вероятность разрушения.

При вероятностной оценке долговечности элементов конструкции, испытывающих переменные нагрузки, необходимо знать не только средние значения пределов выносливости и долговечности, но и характеристики их рассеивания, в частности, коэффициенты вариации пределов выносливости натуральных деталей. Однако проведение испытаний на усталость весьма затруднительно из-за потребности большого количества натуральных деталей (обеспечение репрезентативности выборки). Поэтому важное значение имеет разработка рациональных методов оценки рассеивания характеристик выносливости натуральных деталей по результатам испытаний образцов и моделей [9], [42].

Рассеивание характеристик выносливости натуральных деталей серийных и массовых конструкций обусловлено: микроскопическими источниками рассеивания, связанными со структурой неоднородностью металла – размерами, формой и ориентацией зерен, наличием фаз, включений, искажений кристаллической решетки, случайными изменениями в микрогеометрии и структуре поверхностного слоя и так далее; разбросом механических свойств металла одной марки, но различных плавок, отклонениями в процессе обработки детали; отклонениями фактических размеров деталей от номинальных в пределах полей допусков. Особенно существенное влияние на выносливость деталей оказывают погрешности радиусов кривизны в зонах концентрации напряжений – галтели, канавки и тому подобное; технологическими факторами: сваркой, поверхностным упрочнением, покрытием и другими; эксплуатационными факторами: колебаниями температуры, коррозией, появлением поверхностных повреждений в процессе эксплуатации, изменением величины зазора в сочленяемых деталях и т. д.

Расчетный прогноз уровня физической надежности наиболее эффективен на ранних стадиях проектирования, до изготовления макетов и опытных образцов машин. Прогноз реализуется на базе информации о внешних воздействиях во всех предполагаемых режимах использования СХМ, математических моделях эксплуатационной нагруженности машин в целом и каждого рассматриваемого элемента, модели работоспособности детали при возможных характерах их повреждений.

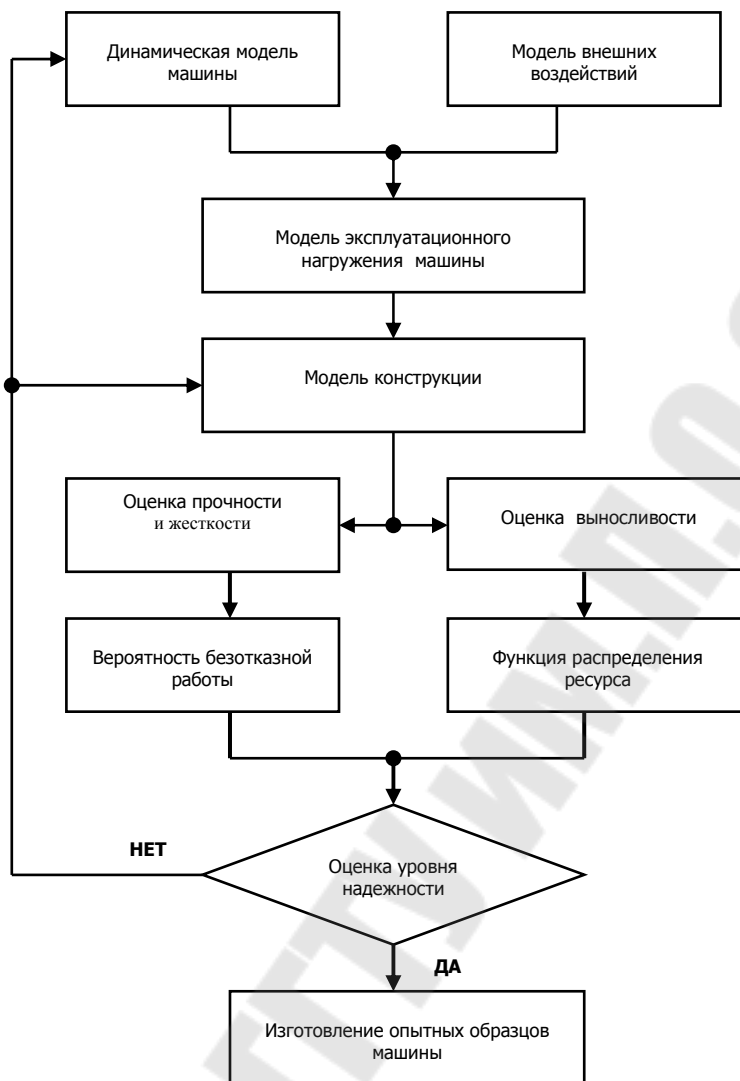


Рис. 4.10. Схема достижения заданного уровня надежности элементов машин расчетным методами

Прогнозирование уровня надежности элементов машин расчетными методами может быть осуществлено по схеме, представленной на рис. 4.10.

#### 4.6. Определение требуемой надежности. Прогнозирование уровня надежности экспериментально-расчетными методами

Проблема надежности – самая острая проблема в машиностроении, особенно в сельскохозяйственном машиностроении. Для достижения показателей лучших мировых образцов сельскохозяйственных машин необходимо повысить надежность в 1,8–2,0 раза и при этом снизить материалоемкость на 25–30 %.

Существующее положение обусловлено несоответствием показателей качества СХМ, определяемых не только современным техническим уровнем, но и данными задания на разработку новой машины, и реальными показателями, достигаемыми в проекте и в серийном производстве. Использование аналоговых методов проектирования, эвристического подхода к принятию решений и эмпирических способов их оценки не гарантирует устанавливаемого техническим заданием уровня надежности и материалоемкости, а предусматривает доработку конструкции в процессе серийного производства машин.

Достижение заданного уровня надежности машин минимальной материалоемкости возможно только при такой методологии проектирования, которая основана на непрерывном прогнозировании показателей надежности на всех стадиях жизненного цикла машины, ее идеальной части (проектирование) и материальной части (изготовление и эксплуатация).

#### *Установление достигнутого уровня надежности при конструировании элементов машин*

Фактически достигнутый уровень надежности может быть установлен одним из следующих способов: проведение ресурсных испытаний, в результате которых могут быть получены физические отказы элементов машин; экспериментальная оценка эксплуатационной машины и ее элементов, прогнозирование на базе этих данных достигнутого уровня надежности; расчетная оценка экспериментальной нагруженности машины и ее элементов, прогнозирование на базе расчетов достигнутого уровня надежности.

#### *Прогнозирование уровня надежности деталей машины расчетными методами*

Расчетный прогноз уровня надежности наиболее эффективен на ранних стадиях проектирования, так как не требует изготовления опытного образца машины или ее части, а также не требует проведения экспериментальных исследований.

Процесс эксплуатационного нагружения деталей СХМ носит, как правило, случайный характер и должен описываться вспомогательными характеристиками. При отсутствии возможности получить такие характеристики, в первом приближении можно рассчитывать параметры случайного распределения из условия его подчинения нормальному закону (рис. 4.11).

При этом необходимо знать минимальное значение  $X_{\min} = a$  и максимальное значение  $X_{\max} = b$  процесса. Тогда математическое ожидание процесса можно определить по выражению

$$\bar{X} = \frac{a+b}{2}.$$

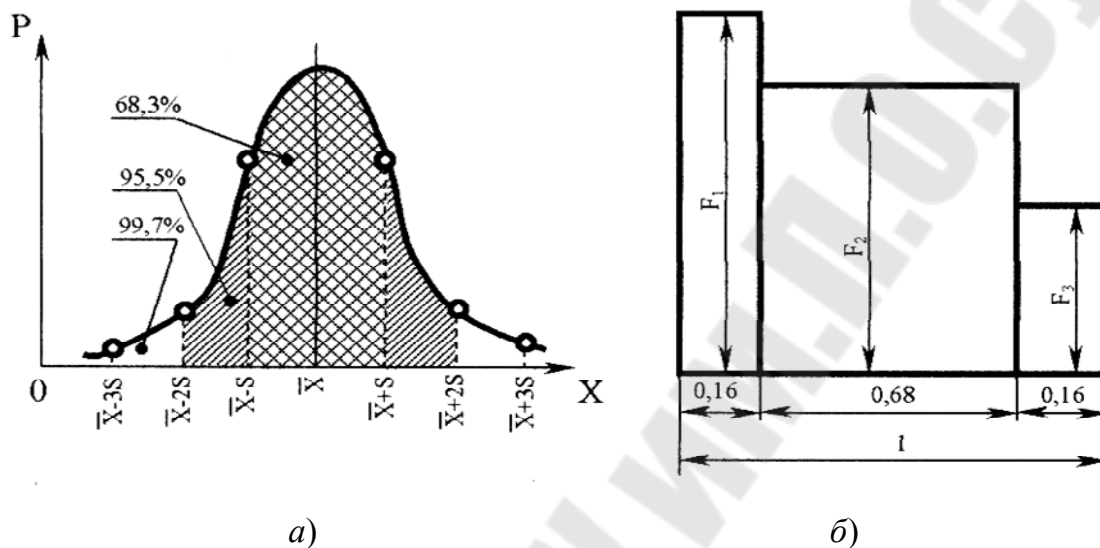


Рис. 4.11. Функция нормального распределения (а) и график нагруженности, отрабатывающий эту функцию (б)

Среднеквадратическое отклонение процесса и коэффициент вариации:

$$S = \frac{b-a}{6}; \quad V = \frac{S}{\bar{X}}.$$

При разбиении графика функции на три зоны с шагом квантования, равным  $S$ , площадь, ограничиваемая этими точками, будет равна:

$$(\bar{X} - S) \dots (\bar{X} + S) \rightarrow 68,3 \%;$$

$$(\bar{X} - 2S) \dots (\bar{X} + 2S) \rightarrow 95,5 \%;$$

$$(\bar{X} - 3S) \dots (\bar{X} + 3S) \rightarrow 99,7 \%.$$

Исходя из этого, величины блоков для графика нагруженности определяются из выражений:

$$F_1 = \bar{X} + 2S = \frac{a+b}{2} + 2 \frac{b-a}{6} = \frac{a+5b}{6};$$

$$F_2 = \bar{X} = \frac{a+b}{2};$$

$$F_3 = \bar{X} - 2S = \frac{a+b}{2} - 2 \frac{b-a}{6} = \frac{5a+b}{6}.$$

### *Расчет функции долговечности валов и осей*

Расчет функции долговечности необходимо вести для всех сечений, имеющих концентраторы напряжений, с целью оптимизации конструкции по металлоемкости.

Для расчета ресурса следует определить напряжения в сечении при действии гистограммы нагрузок:

– от действия изгибающего момента:

$$\sigma_{ni} = \frac{M_{ni}}{W_i},$$

где  $M_{ni}$  – изгибающие моменты, действующие в расчетном сечении вала согласно обрабатываемой гистограмме нагрузок;  $W = 0,1d^3$  –

момент сопротивления для круглого сечения;  $W = \frac{\pi d^3}{32} - \frac{bh(2d-h)^2}{16d}$  –

для вала со шпонкой;  $W = \frac{\pi D^4 - bz(D-b)(D+b)^2}{32D}$  – для вала с прямо-

бочными шлицами;

– от действия крутящего момента:

$$\tau_i = \frac{T_i}{W_\rho},$$

где  $T_i$  – крутящие моменты, действующие в расчетном сечении вала согласно обрабатываемой гистограмме нагрузок;  $W_\rho = 0,2d^3$  – полярный момент сопротивления для круглого сечения;

$W_\rho = \frac{\pi d^3}{16} - \frac{bh(2d-h)^2}{16d}$  – для вала со шпонкой;

$W_\rho = \frac{\pi D^4 - bz(D-b)(D+b)^2}{16D}$  – для вала с прямобочными шлицами.

#### 4.6.1. Проведение расчета характеристик сопротивления усталости при многоцикловом нагружении

Величины пределов выносливости в опасных сечениях определяются в соответствии с ГОСТ 25.504–82:

$$\sigma_{-1g} = \frac{\sigma_{-1}K_1}{K}; \quad \tau_{-1g} = \frac{\tau_{-1}K_1}{K},$$

где  $\sigma_{-1}$ ;  $\tau_{-1}$  – медианные значения пределов выносливости материала, определенные на лабораторных образцах;  $K_1$  – коэффициент, учитывающий снижение механических свойств с ростом размеров заготовок:

$$K_1 = 1 - 0,2 \cdot \lg \frac{d}{7,5} \quad \text{для } d \leq 150 \text{ мм};$$

$$K_1 = 0,74 \quad \text{для } d > 150 \text{ мм};$$

$K$  – коэффициент снижения предела выносливости:

$$K = \left( \frac{K_\sigma}{K_{d\sigma}} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1 \right) \frac{1}{K_V}; \quad K = \left( \frac{K_\tau}{K_{d\tau}} + \frac{1}{K_{F\tau}} - 1 \right) \frac{1}{K_V},$$

где  $K_\sigma$ ,  $K_\tau$  – коэффициенты концентрации напряжений при изгибе и при кручении;  $K_{d\sigma}$ ,  $K_{d\tau}$  – коэффициенты влияния абсолютных размеров поперечного сечения. С достаточной для инженерных расчетов точностью можно принять  $K_{d\sigma} = \varepsilon_\sigma$ ;  $K_{d\tau} = \varepsilon_\tau$ ;  $K_{F\sigma}$ ,  $K_{F\tau}$  – коэффициенты влияния качества обработки поверхности:

$$K_{F\sigma} = 1 - 0,22 \left( \lg \frac{\sigma_b}{20} - 1 \right) \lg R_z \quad \text{при } R_z > 1 \text{ мкм};$$

$$K_{F\sigma} = 1 \quad \text{при } R_z \leq 1 \text{ мкм};$$

$$K_{F\tau} = 0,575 K_{F\sigma} + 0,426,$$

где  $\sigma_b$  – предел прочности;  $R_z$  – шероховатость поверхности:  $R_z = 20$ – $30$  мкм – грубое точение;  $R_z = 4$ – $10$  мкм – тонкое точение;  $R_z = 1,5$ – $2$  мкм – шлифование;  $K_V$  – коэффициент влияния технологических методов поверхностного упрочнения. При отсутствии термообработки  $K_V = 1$ .

*Определение среднего ресурса детали в циклах:*

$$\bar{N}_\sigma = \frac{a_\tau \sigma_{-1g}^m N_G}{\sum \sigma_i^m p_i}; \quad \bar{N}_\tau = \frac{a_\sigma \tau_{-1g}^m N_G}{\sum \tau_i^m p_i},$$

где  $N_G$  – абсцисса точки перелома кривой усталости (базовое число циклов);  $\bar{N}_\sigma$ ,  $\bar{N}_\tau$  – средний ресурс детали в циклах при действии только нормальных или только касательных напряжений;  $a$  – величина, характеризующая условия накопления усталостного повреждения. Можно принять  $a = 1$ . Для более точного определения воспользуемся выражениями:

$$a_\sigma = \frac{\sum \sigma_{ii} p_i - 0,5\sigma_{-1g}}{\sigma_{\text{imax}} - 0,5\sigma_{-1g}} \quad \text{при } \sigma_{ii} \geq 0,5\sigma_{-1g};$$

$$a_\tau = \frac{\sum \tau_{ii} p_i - 0,5\tau_{-1g}}{\tau_{\text{imax}} - 0,5\tau_{-1g}} \quad \text{при } \tau_{ii} \geq 0,5\tau_{-1g};$$

$$\sum \sigma_{ii} p_i = \sigma_{i1} \cdot 0,16 + \sigma_{i2} \cdot 0,68 + \sigma_{i3} \cdot 0,16;$$

$$\sum \tau_{ii} p_i = \tau_{i1} \cdot 0,16 + \tau_{i2} \cdot 0,68 + \tau_{i3} \cdot 0,16;$$

$m_\sigma = m_\tau = \frac{C}{K}$  – показатель наклона кривой выносливости;

$$C = 6 + \frac{\sigma_B}{80};$$

$K$  – коэффициент снижения предела выносливости;  $N_G = 2 \cdot 10^6 - 5 \cdot 10^6$  – базовое число циклов;

$$\sum \sigma_{ii} p_i = \sigma_{i1}^m \cdot 0,16 + \sigma_{i2}^m \cdot 0,68 + \sigma_{i3}^m \cdot 0,16 \quad \text{при } \sigma_{ii} \geq 0,5\sigma_{-1g};$$

$$\sum \tau_{ii} p_i = \tau_{i1}^m \cdot 0,16 + \tau_{i2}^m \cdot 0,68 + \tau_{i3}^m \cdot 0,16 \quad \text{при } \tau_{ii} \geq 0,5\tau_{-1g}.$$

Для сечений валов, нагруженных изгибающими или крутящими моментами, необходимый ресурс детали проводится либо по изгибающим, либо по крутящим моментам.

Для сечений валов, нагруженных изгибающим и крутящим моментами, расчет проводится отдельно по каждому из факторов, а эквивалент ресурса определяется по выражению

$$\bar{N} = \frac{\bar{N}_\sigma \bar{N}_\tau}{\left( \bar{N}_\sigma^{\frac{2}{m}} + \bar{N}_\tau^{\frac{2}{m}} \right)^{\frac{m}{2}}},$$

где  $m = \frac{m_\sigma + m_\tau}{2}$ .

*Определение среднего ресурса в часах:*

$$\bar{T} = \frac{\bar{N}}{60n},$$

где  $n$  – частота приложения нагрузки к детали,  $\text{мин}^{-1}$ . Для вращающихся деталей эта частота вращения вала в об/мин.

Поскольку накопление усталостных повреждений происходит только при условии  $\sigma_{\text{пр}i} \geq 0,5\sigma_{-1g}$ , то необходимо исключить те блоки нагружения, напряжения от действия которых меньше  $0,5\sigma_{-1g}$ . При этом

$$\sigma_{\text{пр}i} = \sqrt{\sigma_{\text{и}i}^2 + 4\tau_i^2}.$$

*Определение функции распределения ресурса:*

$$\lg T_p = \lg \bar{T} + u_p S_{\lg \bar{T}},$$

где  $S_{\lg \bar{T}} = 0,434 \cdot m \sqrt{V_{\sigma-1g}^2 + V_{\sigma}^2}$  – среднее квадратическое отклонение значения логарифма долговечности;  $V_{\sigma-1g}$ ,  $V_{\sigma}$  – коэффициенты вариации предела выносливости и приведенных амплитуд.  $V_{\sigma-1g} = 0,05-0,2$  (рекомендуется принимать  $V_{\sigma-1g} = 0,08$ );  $u_p$  – квантиль нормального распределения.

Поскольку функция распределения ресурса в логарифмических координатах изображается прямой линией, то ее можно построить по двум точкам:  $T_{50} = \bar{T}$  (50%-я вероятность) и по  $T_{98}$  (98%-я вероятность). Тогда  $u_{98} = 2,054$ .

### ***Экспериментальные исследования сельскохозяйственных машин во всех типичных режимах работы***

На основе оценки загруженности СХМ 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 [30], [39].



Доля типового режима в общем объеме эксплуатации парка машин:

$$a_i = \frac{t_i}{\sum t_i}; \quad \sum a_i = 1,$$

где  $t_i$  – суммарное время эксплуатации машины в  $i$ -м режиме.

## 4.7. Экспериментальная оценка уровня надежности машин

### 4.7.1. Общие положения и классификация

Для создания конкурентоспособных и надежных машин необходимо проводить всестороннюю оценку деталей, сборочных единиц и машины в целом как на стадии изготовления опытных образцов, так и на стадии серийного изготовления [25], [39].

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.

*Приемочные* 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 в сроки, установленные НТД.

Особое место в общей оценке машин занимают испытания на надежность, которые подразделяются следующим образом: *определятельные* (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.

#### ***4.7.2. Состояние проблемы надежности тракторов и сельскохозяйственных машин***

Сельскохозяйственные машины работают в абразивной среде [37], поэтому *основным критерием их работоспособности является износостойкость*. 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 поверхностей стальных деталей в атмосферных условиях достигает при хранении на открытой площадке 0,44 мм/год против 0,03 мм/год при хранении в закрытом помещении. Для тракторов и зерноуборочных комбайнов сложилась практика нормирования и оценки ресурса агрегатов по 80%-му 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 доминируют 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 характеризовалось следующими цифрами, %:

– для *гусеничного трактора*: отказы двигателя (поломка шатунов, коленчатого вала, обрыв клапанов, повышенный износ гильз цилиндров и поршней, задиры шатунных вкладышей и поршней и т. д.) – 47; ходовая система – 19; электрооборудование – 11; гидросистема – 5; увеличитель крутящего момента – 5; коробка передач – 4; тормозная система – 4; задний мост – 3; остальные узлы – 2;

– для *зерноуборочного комбайна*: привод режущего аппарата жатвенной части – 16; цепные передачи молотилки – 14; гидросистема – 7; двигатель – 7; коробки передач – 4; остальные узлы – 52. Значительный процент отказов приходился на долю резинотехнических изделий (шланги высокого давления, резиновые чехлы, уплотняющие манжеты).

*Повышение ресурса* достигается путем совершенствования конструкций, улучшения уплотнений, введения более тонкой очистки масла, повышения качества материалов и технологических процессов.

## ГЛАВА 5. ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА МАШИН ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

### 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.

**Качество** продукции определяется как *совокупность свойств* продукции, обуславливающих ее способность удовлетворять *определенные потребности в соответствии с ее назначением* в конкретных условиях (ГОСТ 15467–79).

Поэтому при исследовании качества продукта труда рассматривается не вся совокупность свойств, присущих ему, а лишь та группа свойств, которые придаются изделию по воле человека, исходя из заданных условий производства и потребления этого изделия. Например, для потребителя (эксплуатационника) СХМ *не имеют значения* молекулярная структура и магнитные свойства рабочих органов зернокомбайна.

*Качество* любого предмета – категория *абсолютная*, поскольку оно присуще этому предмету независимо от того, подвергают его оценке или нет.

Относительной является количественная характеристика качества как мера качества, познающаяся в сравнении.

Качество продукции закладывается при проектировании и в производстве, а реализуется при ее 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.

Особую группу составляют *экономические показатели качества*, исключительная ценность которых в универсальности, т. е. применимости к любому виду продукции (услуги), а также в том, что они определяют (раскрывают) связь качества продукции (услуги), себестоимости (цены производства) и цены (рыночной цены). Качество продукции (услуги), ее потребительские свойства во многом определяют и как цену производства (и себестоимость), и как рыночную цену (цену). Повышение качества продукции (услуги) требует дополнительных затрат (издержек производства), что приводит к росту себестоимости (цены производства). Повышенный спрос на продукцию (услугу) высокого качества вызывает рост цен (рыночных цен). Однако увеличение себестоимости и цены с повышением качества происходит по-разному. Повышение качества продукции означает появление у нее (за счет внесения новшеств на всех этапах жизненного цикла) свойств, которые удовлетворяли бы все большее число потребностей, обеспечивали их интеграцию и дифференциацию. В этом процессе повышения качества продукции с позиции экономических показателей можно выделить характерный цикл. За исходную точку этого цикла выбрано такое состояние, когда цена и себестоимость равны (на рис. 5.2  $Q = Q_1$ ), и выпуск такой продукции экономически невыгоден, нерентабелен, так как не приносит прибыли.

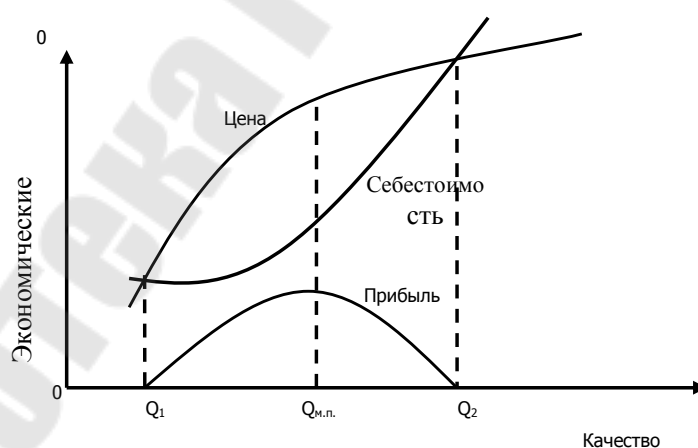


Рис. 5.1. Зависимость цены и себестоимости от качества продукции

К экономическим показателям качества относят затраты на разработку, изготовление и испытания опытных образцов, себестоимость изготовления продукции, затраты на расходные материалы при экс-

плуатации технических объектов. При оценке экономического эффекта (экономической эффективности) от повышения качества продукции производят всесторонний учет экономических показателей на всех этапах жизненного цикла изделия (продукции).

На рис. 5.1 качество продукции в относительных единицах откладывается по оси абсцисс, а цена и себестоимость в денежном выражении – по оси ординат. На участке  $Q_1-Q_{МП}$  повышение качества приводит к более быстрому росту цены, а не себестоимости, за счет этого прибыль растет и достигает максимального значения при  $Q = Q_{МП}$ . Дальнейший рост качества продукции (участок  $Q_{МП} = Q_2$ ) ведет к уменьшению прибыли за счет того, что себестоимость растет быстрее, чем цена.

## **5.2. Методы оценки уровня качества изделия. Стандарты ISO серии 9000**

Под уровнем качества изделия понимается относительная характеристика качества, основанная на сравнении совокупности показателей качества изделия с соответствующей совокупностью базовых показателей.

Выявление относительных показателей качества и оценки уровня качества изделия проводится путем сопоставления показателей качества этого изделия с базовыми показателями, в числе которых используются показатели перспективных образцов, аналогов и стандартов.

Под *перспективным образцом* понимают изделие, совокупность показателей которого соответствует *прогнозируемому экономически рациональному на определенный период уровню качества* изделий данного вида.

При определении базовых показателей качества перспективного образца следует учитывать перспективу научно-технического прогресса в данной отрасли производства (с учетом прогнозирования их величин), ожидаемое изменение потребностей, выполнение технико-экономических расчетов.

Экономически рациональный уровень качества перспективного образца определяется таким образом, чтобы этот образец «морально» не устарел к моменту освоения изделия в сфере потребления.

Под *аналогом* подразумевается изделие отечественного или зарубежного производства того же вида, конструктивного устройства,

принципа действия, функционального назначения, масштабов производства и условий применения, что и сравниваемое изделие.

В качестве аналога в общем случае рекомендуется выбирать объект серийного или массового производства в количестве, как правило, не менее одного отечественного и одного зарубежного образца. Аналоги должны отражать передовые достижения науки и техники.

В отдельных случаях, когда в качестве аналога нельзя выбрать готовое изделие, используют данные доступных источников информации, например, аналога, составных частей изделия и т. п.

Количественная оценка уровня качества изделия производится с целью определения эффективности выполняемой или выполненной разработки и наилучших способов воздействия на процессы разработки, производства и эксплуатации изделия при управлении качеством продукции.

Полученные качественные оценки изделия сопоставляют с базовыми, делают выводы о целесообразности их изменения.

Уровень качества изделия ( $\bar{K}$  – относительный показатель качества) должен рассматриваться в допустимых пределах:

$$\bar{K}_{\min} \leq \bar{K} \leq \bar{K}_{\text{ОПТ}},$$

где  $\bar{K}_{\min}$  – определяется в результате сопоставления требований потребителя с текущими технологическими и производственными возможностями реализации их производителем;  $\bar{K}_{\text{ОПТ}}$  – верхний уровень качества, соответствующий уровню качества перспективного образца.

### **5.2.1. Методы оценки уровня качества изделия**

Оценка уровня качества конкретного изделия в зависимости от цели оценки и условий использования результатов может проводиться дифференциальным, комплексным или смешанным методами.

Оценка дифференциальным методом производится для выявления отдельных показателей.

Относительные показатели качества  $\bar{K}$  определяются путем сопоставления частных показателей качества изделия  $q_i$  с единичными базовыми показателями качества  $q_i^\delta$  перспективного образца или аналога:

$$\bar{K}_i = \frac{q_i^\delta}{q_i}, \quad (5.1)$$

где  $i$  – порядковый номер показателя.

Например: производительность перспективного образца (базовый показатель) СХМ  $Q = 14$  кг/с; базовые показатели аналога  $Q = 8$  кг/с; производительность проектируемой СХМ  $Q = 10$  кг/с;  
 $\bar{K}_i = \frac{q_i^\delta}{q_i} = \frac{14}{10} = 1,4$  – относительный показатель  $i$ -го показателя качества.

По сравнению с перспективным образцом:  $\bar{K}_i = \frac{q_i^{\text{ан}}}{q_i} = \frac{8}{10} = 0,8$  – относительный показатель  $i$ -го показателя качества по сравнению с аналогом.

Оценка комплексным методом проводится тогда, когда уровень качества изделия необходимо охарактеризовать одним или несколькими обобщенными показателями.

Оценка смешанным методом проводится в случаях, когда расчеты не позволяют получить одновременно и обобщающие выводы, и выводы относительно отдельных групп показателей или отдельных показателей качества изделия.

Методы определения показателей качества изделия зависят от стадии его разработки, т. е. степени реализации технологических решений, при этом применяют приближенные, уточненные или окончательные методы определения показателей.

На исходных стадиях разработки проводят ориентировочные расчеты, показатели качества определяют укрупненно, с определенной степенью приближения.

На промежуточных стадиях разработки, на которых принимаются окончательные технические решения, производят оценку качества по уточненным методам.

На стадии внедрения в производство нового изделия определяют его фактические показатели по результатам его изготовления и испытаний, используя для этого методы окончательных расчетов.

В зависимости от используемых средств на той или иной стадии разработки различают следующие методы определения значений показателей качества изделий.

*Экспериментальный (измерительный метод)* базируется на информации, получаемой с использованием средств измерений и контроля. С помощью этого получают значения таких показателей качества, как масса изделия, сила, скорость, частота вращения и др.



*Регистрационный метод* осуществляется на основе наблюдений подсчета числа определенных событий, предметов или затрат, например, подсчета отказов изделия при испытаниях, числа дефектных изделий в партии.

*Расчетный метод* действует на основе использования теоретических и эмпирических зависимостей показателей качества машины от ее параметров. Применяется в основном при проектировании продукции. Позволяет установить зависимости между отдельными показателями качества. Служит для определения массы изделия, показателей его производительности и др.

*Органолептический метод* связан с анализом восприятия органов человека, например, при контроле окраски машины, проверке дефектов обработанной поверхности и т. п. *Экспертный метод* работает на основе решения, принимаемого экспертами, например, при оценке эстетической характеристики машины, ее основных показателей.

*Социологический метод* осуществляется на основе сбора и анализа мнений фактических или возможных потребителей продукции.

При оценке качества продукции применяют обычно сочетание нескольких методов, используемых также при техническом контроле продукции в производстве.

### **5.2.2. Стандарты ISO серии 9000**

В 1987 г. Техническим комитетом Международной организации по стандартизации ISO ТК–176 «Управление качеством и обеспечение качества» опубликована серия стандартов по Системам качества организаций (серии 9000) (далее – Система качества), включающая следующие стандарты [6]:

- 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 стал составной частью стандартов ISO серии 9000.

Основными целями выпуска стандартов ISO серии 9000 являлись:

- 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 ее 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.

Стандарт ISO 9004 является для организаций своеобразным методическим пособием по разработке и применению Систем качества. Стандарт содержит рекомендуемую структуру Системы качества, характеристики функциональных основных элементов Системы, определенные требования к организационной структуре, составу и содержанию данных, которые должны или могут применяться в Системе. Стандарт ISO 9004 применим, прежде всего, для решения задач в области внутреннего обеспечения качества и не должен использоваться в контрактных ситуациях или для целей сертификации.

Для контрактных ситуаций, а также для целей сертификации в стандартах ISO серии 9000 предусмотрено применение трех базовых моделей систем качества, требования, к которым регламентированы в стандартах ISO серии 9001, 9002 и 9003.

Стандарт ISO 9001 является наиболее полным из трех стандартов, регламентирующих базовые модели Систем качества, и охватывает всю деятельность компании, рассматривая процессы обеспечения качества продукции от ее разработки до эксплуатации. Важно отметить, что в стандарте нет специальных упоминаний о деятельности

компании по идентификации продукции, определенного продукта, удовлетворенности потребителя. ISO 9001 представляет базовую модель Системы для обеспечения качества при проектировании (или улучшении продукта), производстве, установке (монтаже) продукции, сервисном обслуживании при ее эксплуатации у потребителя. Поэтому этот стандарт применяют при проверках и сертификации той организации, которая имеет как производственные, так и разрабатывающие подразделения.

Стандарт ISO 9002 учитывает лишь процессы производства и испытания продукции и представляет Систему качества как модель для обеспечения качества при производстве продукции и последующей ее установке у потребителя.

Стандарт ISO 9003 рассматривает только испытания готовой продукции и представляет Систему качества как модель для обеспечения качества окончательного контроля и испытаний готовой продукции.

Таким образом, ISO 9001, как наиболее всеобъемлющий, включает в себя стандарт ISO 9002, который, в свою очередь, включает ISO 9003; регулирование взаимоотношений между потребителем и поставщиком с помощью пяти стандартов ISO 9000 демонстрируется на рис. 5.2.

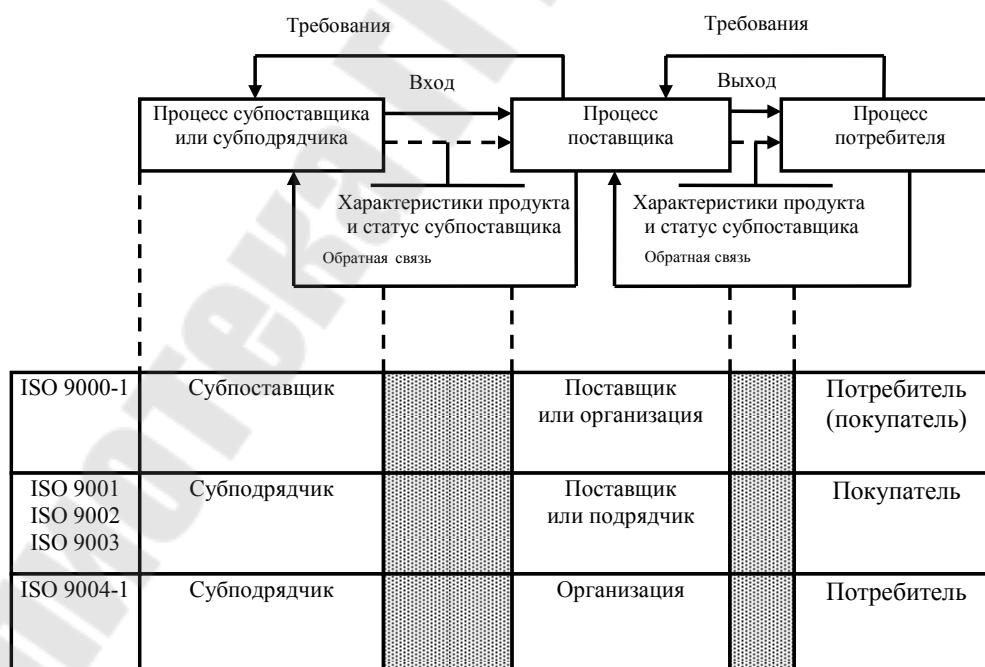


Рис. 5.2. Цепочка взаимосвязей потребителя и поставщика, предусмотренных стандартом ISO 9000

Процесс поставщика на рис. 5.2 – это процесс рассматриваемой нами компании, продукт которой выходит на конечного потребителя и она имеет с ним конкретные обязательства. Поэтому такая компания (в соответствии с названием, приведенным в стандартах ISO) именуется «поставщиком» или «подрядчиком».

В то же время под «организацией» понимается компания, которая пока не имеет контрактных отношений с потребителем. Аналогично поставщики подразделяются на субпоставщиков, не имеющих с компанией контрактных отношений, и субподрядчиков, имеющих с ней контрактные отношения на поставку необходимых компании субпродуктов. Стандарты серий 9001, 9002, 9003 применяются для уточнения контрактных взаимоотношений между потребителем и изготовителем на любом уровне (субподрядчик – поставщик, поставщик – потребитель).

Выполнение требований одного из стандартов ISO 9001, 9002 и 9003 является обязательным условием при сертификации Системы качества организации в зависимости от состава заявленной модели обеспечения качества (проектирование, производство, установка и сервисная поддержка, окончательный контроль и испытание готовой продукции).

Квалификация стандартов ISO серии 9000 может быть представлена в виде трех отдельных групп стандартов этой серии, каждая из которых имеет свое предназначение.

Первая (основная) группа стандартов ISO серии 9001, именуемая группой основных стандартов, включает четыре стандарта ISO (9001, 9002, 9003, 9004), регулирующих как контрактные, так и не контрактные ситуации.

*Внутренняя проверка качества.* Организация осуществляет всестороннюю проверку своей деятельности с целью определения эффективности Системы качества и ее соответствия требованиям выбранного стандарта из серии ISO 9000. Проверка должна носить форму запланированного аудита в различных областях в зависимости от состояния и степени важности операций и действий. Проверки проводятся обученным персоналом в соответствии с документально оформленными процедурами. Результаты проверок документально оформляются и доводятся до сведения руководства для осуществления своевременных корректирующих действий и устранения недостатков, выявленных в процессе проверки. Частота проверок определяется на основе опыта, а также важности производимой продукции.

В одной и той же области проверки проводятся не реже одного раза в год и выполняются согласно плану, в котором точно определены место и время, квалификация аудиторов, требования к готовой продукции, методы проведения проверок, порядок приемки результатов. Проверки должны проводиться независимым, специально обученным и подготовленным персоналом.

В случае необходимости поставщик должен разработать процедуры, обеспечивающие выбор статистических методов, применяемых для проверки возможности технологического процесса и приемлемости характеристик продукции. Область применения и планы статистических методов контроля устанавливает изготовитель. В необходимых случаях он согласовывает их с потребителем или заказчиком. Следует отметить, что в Беларуси основными документами для организации и применения статистических методов контроля являются:

а) для приемочного контроля: ГОСТ 18242–72; 20736–75; 18321–73; 24660–81; 16493–70; СТ СЭВ 293–76; РД50-605–86; Р60-110–89;

б) для статистического регулирования технологических процессов используют Рекомендации по статистическому регулированию технологических процессов (М. : ВНИИС, 1988).

В общем случае эффективность применения статистических методов следует рассчитывать в соответствии с Методикой оценки экономической эффективности внедрения статистических методов контроля качества продукции (М. : Изд-во стандартов, 1976).

### **5.2.3. Система качества**

Для сертификации на соответствие выбранному стандарту ISO серии 9000 в организации, подлежащей сертификации, должна быть спроектирована и функционировать Система качества, основным назначением которой является удовлетворение запросов потребителей. Соответствие функционирующей Системы качества требованиям выбранного стандарта ISO 9000 позволит организации достигать ожидаемого потребителем уровня качества (при оптимальных затратах) и поддерживать его.

Необходимым условием результативности функционирования Системы качества является эффективный контроль за всеми техническими, административными и человеческими факторами, влияющими на качество выпускаемой продукции: технические средства, программные средства, перерабатываемые материалы или услуги. Такой

контроль должен быть направлен на сокращение, устранение и, что наиболее важно, предотвращение несоответствий. Специфика требований к качеству продукции, производственным условиям, накопленным традициям и опыту решения задач объективно предопределяет различия в составе, структуре и содержании функций Систем качества различных организаций. Разработка и совершенствование Систем качества – творческая функция, требующая от организации иногда достаточно высоких затрат ресурсов, компетентных исполнителей, обязательного участия в этой работе высшего руководства предприятия.

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

Система качества промышленного предприятия дана на рис. 5.3.



Рис. 5.3. Система качества промышленного предприятия

#### *5.2.4. Управление качеством*

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 воздействия. Основное назначение подсистемы управления качеством на предприятии – выявлять каждое отклонение от установленных требований к качеству продукции и услуг, применять решения по дальнейшему использованию продукции, имеющей отклонения или дефекты, не допускать этого как у внешних потребителей, так и у самой организации. Удовлетворенность запросов и ожиданий потребителей обеспечивается достижением и постоянным поддержанием установленного потребителями уровня качества. Удовлетворенность интересов и запросов организации достигается эффективностью использования имеющихся у нее ресурсов.

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, выработку положений по улучшению качества, подготовку применения Системы качества, включающей составление календарных графиков ее ввода в действие и применение.

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.

Различают внутреннее обеспечение качества – деятельность по созданию уверенности в выполнении требований к качеству продукции и услуг у руководства предприятия-поставщика и внешнее обеспечение качества – деятельность по созданию уверенности у потреби-

теля или у других лиц (экспертов-аудиторов по сертификации Систем качества, государственных инспекторов по качеству и т. п.). В состав процедур обеспечения качества входят, прежде всего, процедуры внутренних проверок элементов Систем качества (внутреннего аудита качества), а также другие предупреждающие действия, предусмотренные в стандартах ISO серии 9000 или разработанные по инициативе поставщика, исходя из специфики своей продукции и (или) производственных процессов. Основное назначение процедур обеспечения качества – предупреждать все возможные отклонения от установленных требований.

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. В этом состоит один из основополагающих принципов стандартов ISO серии 9000.

### **5.3. Система управления качеством**

Для разработки этой системы необходимо определить факторы, обеспечивающие качество машин.

Процесс формирования качества машин включает следующие работы [20]: 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; доработку опытной технологии; изготовление опытной партии машин; проведение стендовых или эксплуатационных испытаний; доработку «слабых звеньев, разработку отраслевых руководящих материалов, направленных на обеспечение 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, а также проводить дополнительные исследования по повышению качества; осуществлять механизацию и автоматизацию обработки, сборки и контроля;



вводить конструктивные и технологические изменения по согласованию с проектными организациями; осуществлять стендовые испытания и конечный контроль; контролировать правильность эксплуатации машин.

*Управление качеством продукции* – это действия, осуществляемые при ее создании, эксплуатации или потреблении.

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.

В соответствии с ISO серии 9004 в жизненный цикл продукции («петля качества») входят следующие этапы [20]: 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. 5.4).

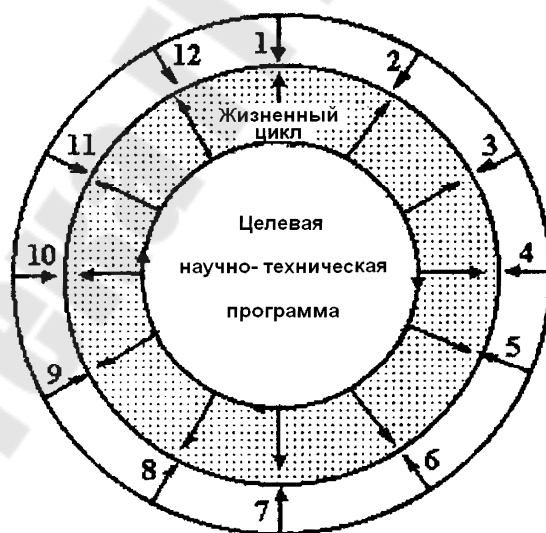


Рис. 5.4. Петля качества – систематически проводимые технологические мероприятия

Обеспечение качества машин представляет собой совокупность планируемых и систематически проводимых мероприятий, создающих необходимые условия для выполнения каждого этапа жизненно-

го цикла таким образом, чтобы качество продукции удовлетворяло определенным требованиям (см. рис. 5.4). Применительно к машинам это значит, что проектирование и изготовление обеспечивается так, чтобы все детали и соединения в целом изначально могли выполнять заданные функции.

Для планирования мероприятий по обеспечению качества целесообразно формировать целевые научно-технические программы повышения качества изделий. Программу разрабатывают на конкретную машину. Она должна содержать требования к техническому уровню и качеству создаваемой машины и к ресурсному обеспечению всех этапов жизненного цикла (например, требования к оборудованию, сырью, материалам, комплектующим изделиям, метрологическим средствам, необходимым для производства изделия нужного качества, производственному персоналу и т. д.). Кроме того, перечень мероприятий на всех этапах жизненного цикла должен обеспечивать реализацию этих требований.

Порядок, правила и методы выполнения мероприятий программы определены документами системы обеспечения качества.

К систематически проводимым мероприятиям по обеспечению качества относятся те, которые выполняются предприятием постоянно или с определенной периодичностью, например, работа по изучению рынка, постоянное обучение персонала и т. д.

Особое место занимают мероприятия, связанные с предупреждением появления дефектов.

В соответствии с ISO серии 9000 система управления качеством должна функционировать таким образом, чтобы предотвратить изготовление изделий низкого качества.

Мероприятиями по предупреждению несоответствий показателей качества требуемым могут быть: принудительная замена технологической оснастки и инструмента, планово-предупредительный ремонт оборудования, техническое обслуживание, обеспечение необходимой документацией всех рабочих мест, своевременное изъятие устаревшей документации и т. д.

Управлении качеством подразумевает собой управление процессами выявления различного рода несоответствий продукции в производстве или системе качества и устранение этих несоответствий, а также вызвавших их причин.

В методологии Системы качества, применяемой в Беларуси, меры по выявлению и устранению отклонений и их причин известны

как «замкнутый управленческий цикл», который включает контроль, учет, анализ (оценку) принятие и реализацию решения.

Решения могут применяться по результатам текущей информации, получаемой при контроле, учете и анализе, а также по результатам обработки анализа накапливаемой информации.

В общей Системе качества управление качеством предусматривается как необходимый принцип по отношению ко всем элементам системы качества во всех этапах жизненного цикла (рис. 5.5). Улучшение качества продукции должно осуществляться постоянно посредством деятельности, направленной на повышение технического уровня машин, качество их изготовления, совершенствование элементов производства и системы качества.

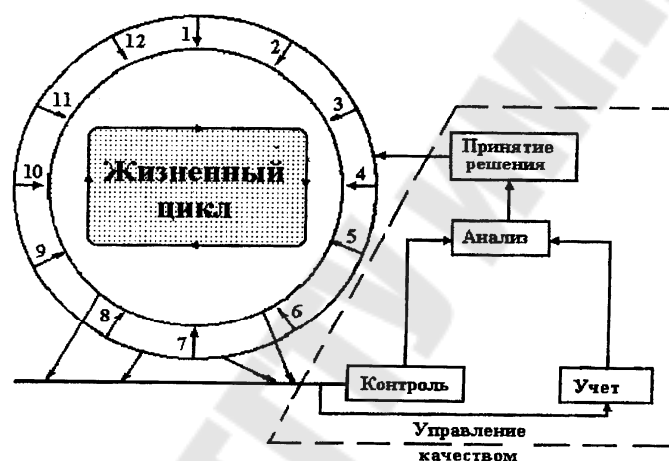


Рис. 5.5. Схема управления качеством

Объектом процесса улучшения качества может быть любой элемент производства или системы качества. Это направление деятельности связано с получением показателей выше, чем те, которые установлены нормами.

Постоянное улучшение качества прямо связано с тенденцией по повышению конкурентоспособности продукции. Такая продукция обладает высоким уровнем качества при более низкой цене. В связи с этим целью постоянного улучшения качества является либо улучшение параметров продукции, либо повышение стабильности качества изготовления, либо снижение издержек.

Развитие деятельности по улучшению качества требует специальной организации. Характерной организационной формой работы по улучшению качества являются группы качества (за рубежом – кружки качества).

Однако эта форма не является единственной. К ним можно отнести и организацию рационализаторской деятельности, и создание временных творческих коллективов (при этом в практике многих зарубежных фирм для решения определенных задач в такие коллективы входят и руководители фирм) для решения задач улучшения качества и т. д.

Соотношение трех направлений деятельности в системе управления качеством (обеспечение качества, управление качеством и улучшение качества) иллюстрирует рис. 5.6.

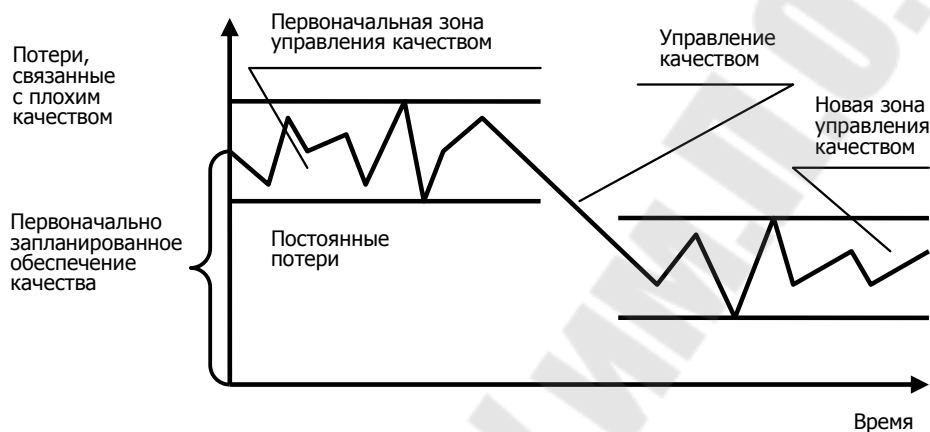


Рис. 5.6. Система мероприятий по обеспечению качества машин

Маркетинг должен обеспечивать предприятие подробным официальным отчетом или руководящими указаниями в соответствии с требованиями, предъявляемыми к изделию, например, кратким описанием машины. Краткое описание машины содержит требования и пожелания потребителя в виде предварительного перечня технических условий, которые послужат основой для выполнения последующих работ по проектированию. В числе элементов, включаемых в краткое описание машин, наряду с характеристиками самой машины могут быть: схемы установки и монтажа; приемлемые стандарты и законодательные регламенты; упаковка; обеспечение и (или) проверка качества.

Система управления качеством должна обеспечить создание проекта, отвечающего современным научно-техническим достижениям и требованиям потребителя. При наличии краткого описания машины, полученного в результате маркетинга, оно используется как исходные требования к проекту.

Система управления качеством должна предусматривать обеспечения функции материально-технического снабжения всеми необ-

ходимыми ресурсами и условиями, контроль и управление ресурсами и условиями и постоянное их улучшение.

Уровень подготовки производства должен быть таким, чтобы технологический процесс и состояние всех элементов производства оборудования, материалов и комплектующих, технологической оснастки и инструмента, производственного персонала, вспомогательных материалов, технической документации, производственной среды обеспечивали изготовление машин в соответствии с требованиями технической документации.

Необходимо предусмотреть и обеспечить постоянно действующие или периодические мероприятия, направленные на предотвращение возникновения дефектов.

Общее руководство качеством должно осуществляться руководством предприятия. Ответственность за деятельность, прямо или косвенно влияющую на качество, должна быть определена и документально зафиксирована. Ответственность за деятельность, влияющую на качество, может быть зафиксирована в документах двух видов:

- должностных инструкциях и положениях о подразделениях;
- документах, устанавливающих порядок выполнения функций и работ по качеству.

При этом первичными являются документы, устанавливающие порядок выполнения функций и работ по качеству. Только после разработки всего комплекса этих документов можно установить все обязанности должностных лиц и подразделений по повышению качества.

## ГЛАВА 6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АГРЕГАТОВ И УЗЛОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

### 6.1. Проектирование механических приводов сельскохозяйственных машин

#### 6.1.1. Строение машинного агрегата

Машины, в том числе мобильные СХМ, применяются как устройства, служащие для преобразования энергии, материалов и информации.

По назначению машины подразделяются на технологические (рабочие), энергетические, транспортные и грузоподъемные, информационные.

Сельскохозяйственная техника представляет собой симбиоз технологической и транспортной машин.

В качестве энергетических машин можно рассматривать насосы, компрессоры, электродвигатели.

Основное свойство технологических или рабочих машин состоит в потреблении ими энергии, как правило, механической.

Рабочий процесс преобразования энергии характеризуется определенными энергетическими показателями. Например, механическая характеристика уборочной машины представляет зависимость крутящего момента вала двигателя от угловой скорости его вращения.

В современных машинах в двигателях имеется орган управления, изменение положения которого изменяет расход энергии – соответствующее соотношение между выходными параметрами (крутящий момент, частота вращения вала). Это свойство изменения механических параметров, возникающее при изменении положения управляющего органа и внешних воздействий, характеризует устойчивость и управляемость машин и обеспечивает возможность приспособления машины к изменению внешних условий. В качестве внешнего воздействия можно рассматривать изменение момента сопротивления рабочей машины, который часто называют механической нагрузкой. На практике мы встречаем сложные схемы механизмов, получаемые как результат объединения двигателей и рабочих машин. Такая комбинация называется машинным агрегатом.

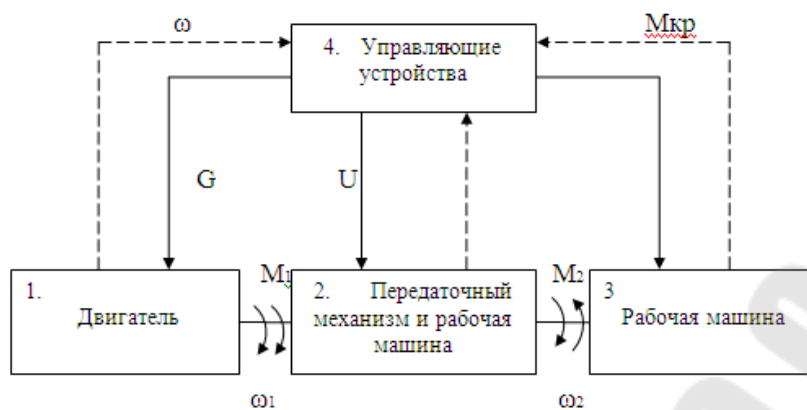


Рис. 6.1. Структурная схема машинного агрегата:

$M_{кр}$  – крутящий момент;  $G$  – подача топлива;

$U$  – изменение передаточного числа

Автоматическое управление машинным агрегатом выполняют управляющие устройства, называемые регуляторами, которые воздействуют на двигатель посредством применения расхода топлива с целью изменения крутящего момента  $M_1$  и регулирования, т. е. скорости вращения вала  $\omega_1$  (рис. 6.1).

Передаточный механизм 2, в первую очередь, необходим в случае скоростного вращения вала двигателя и работы машины.

Скорость вращения двигателей существенно увеличивается, а скорость рабочей машины увеличивается не столь значительно, поскольку органы рабочей машины контактируют с естественными материалами, свойства которых со временем мало изменились, поэтому необходимо применять передаточные механизмы (редукторы, коробки передач и т. д.)

«Роль» передаточных механизмов заключается в согласовании характеристик двигателя и рабочей машины с целью достижения оптимальных характеристик машинного агрегата по критериям экономичности, быстродействия, производительности.

Современные машины, как правило, оснащаются САУ (системами автоматического управления), режимами работы или скорости (рис. 6.2). Под режимом работы машины понимается сочетание основных выходных параметров, определяющих расход энергии и тепловое состояние деталей.

Из части этих механических параметров выделяется нагрузка, под которой обычно понимается крутящий момент вала машины и скорость его вращения. Комбинация двух этих параметров определяет другие параметры (направление мощности  $N = M_{кр} \omega$ ).

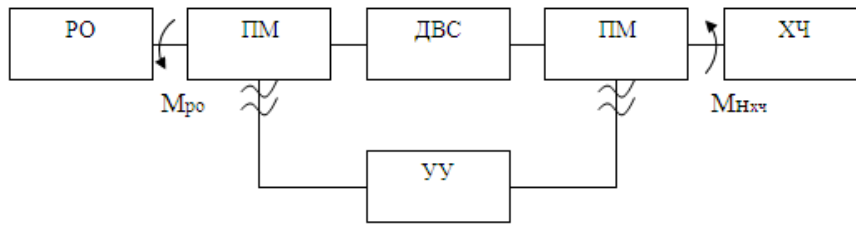


Рис. 6.2. Функциональная схема управляемого машинного агрегата

Режим работы машинного агрегата может быть рассчитан наложением механических характеристик (зависимостей крутящего момента двигателя и рабочего момента от  $\omega$ ). При этом обычно пренебрегают их колебаниями относительно среднего значения, т. е. рассматривается пересечение квазистатических характеристик при  $\omega = \text{const}$ . Среди режимов работы выделяют номинальный, ближайший к режиму максимальной мощности и экономичности, а также режим холостого хода.

Примем скорость вращения как принятую с максимальным и минимальным значениями. В основе принципа работы систем управления лежит осуществление прямого воздействия на орган управления машиной и определенной реакции на это воздействие – так называемой обратной связи. Обратная связь реализуется при помощи специального датчика, передающего информацию о текущей скорости вращения  $\omega_1$  вала  $I$  двигателя регулятору. Например, в дизельном ДВС в качестве устройства управления подачей топлива  $G$  используется топливный насос регулируемой производительности, оснащенный центробежным регулятором скорости  $\omega_1$ . Управляя скоростью вращения вала,  $\omega_1$  двигателя, тем самым управляют и скоростью движения машины. Например, управление  $\omega_1$  вала осуществляется с помощью механизма регулирования, воздействующего на подачу топлива  $G$  в цилиндр ДВС. Управление машинами по расходу энергии часто проектируют на основании предварительной информации о характеристиках машин, полученных в результате опытов или расчетным путем.

## 6.2. Проектирование гидропривода сельскохозяйственных машин

### 6.2.1. Важнейшие характеристики гидропривода

Важнейшими характеристиками гидропривода являются:

1. Передача больших сил (крутящих моментов) при относительно небольших габаритных размерах.



2. Работа на полную мощность возможна сразу после запуска.
3. Бесступенчатая настройка в системах без обратной связи или с обратной связью; легко достигается регулировка: скорости, крутящего момента, силы.

Кроме этого для применяемых в сельскохозяйственных машинах гидроприводов характерны: простота защиты от перегрузки; широкий диапазон регулирования: возможность контролируемых движений с большой или предельно малой скоростью; возможность аккумулирования энергии; простое централизованное управление; возможность децентрализованного преобразования гидравлической энергии в механическую.

### 6.2.2. Преобразование энергии в объемном гидроприводе

В гидроприводах механическая энергия преобразуется в гидравлическую, в этой форме перемещается, управляется или регулируется и затем снова преобразуется в механическую энергию (рис. 6.3).



Рис. 6.3. Передача энергии в гидроприводе

В первую очередь, для преобразования энергии служат насосы, а во вторую – гидроцилиндры и гидромоторы.

Гидравлическая энергия и сопровождающая ее передача мощности в гидроприводах характеризуется давлением и потоком (расходом). Их величина и направление действия определяются регулирующими насосами или гидроаппаратами, реализующими управление без обратной связи или с обратной связью.

Рабочая жидкость, которая проходит через трубопроводы, шланги, отверстия в блоках управления или гидроаппаратах, транспортирует энергию или только трансформирует давление.

Для пополнения запасов и ухода за рабочей жидкостью требуется целый ряд специальных устройств, таких, как резервуары, фильтры, охладители, нагреватели, измерительные и тестирующие приборы.

### **6.2.3. Проектирование объемного гидропривода**

На поршень ручного насоса воздействует сила (рис. 6.4). В результате давления этой силы на площадь поршня возникает давление  $p = F/A$ .

### **6.2.4. Связь между нагружающей поршень силой и давлением жидкости**

Чем сильнее давят на поршень, тем выше становится давление.

Однако давление повышается только до того уровня, при котором оно способно преодолеть сопротивление нагрузки с учетом рабочей площади гидроцилиндра:

$$F = p \cdot A.$$

После этого давление более не повышается при остающейся постоянной нагрузке. Оно становится равным, наконец, сопротивлению, которое противодействует течению жидкости.

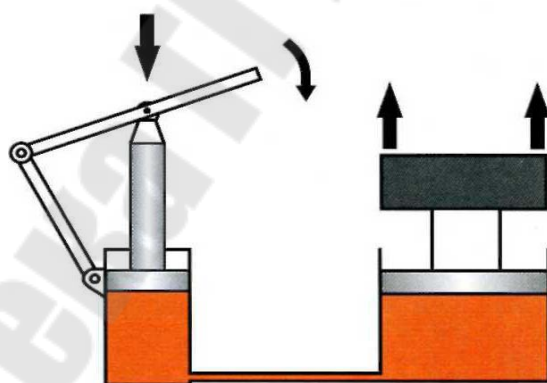


Рис. 6.4. Принцип работы гидропривода

Установленный на поршень груз начнет подниматься, если суметь подвести необходимое для этого давление. Скорость подъема при этом зависит от величины объемного потока, подводимого к гидроцилиндру. Возвращаясь к рис. 6.4, можно заметить, что чем быстрее поршень ручного насоса движется вниз, тем больше жидкости подводится к гидроцилиндру за единицу времени, и тем быстрее будет подниматься груз.

В качестве второго примера рассмотрим еще один простейший гидропривод. При этом шаг за шагом вводятся дополнительные устройства, которые: управляют изменением направления движения (гидро-распределитель); воздействуют на скорость движения гидроцилиндра (дроссель); ограничивают нагрузку на гидроцилиндре (предохранительный клапан); предотвращают движение нагруженного гидроцилиндра в обратном направлении при отключении насоса (обратный клапан).

Гидроцилиндр 5 нагружен силой  $F$  (рис. 6.5) и должен обеспечить движение в обе стороны. В отличие от рис. 6.4 насос 1 приводится здесь во вращение с помощью мотора (электродвигателя или двигателя внутреннего сгорания).

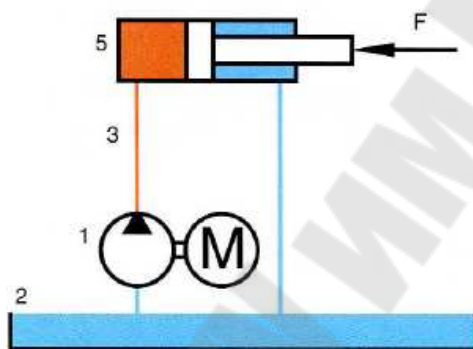


Рис. 6.5. Схема гидропривода, состоящего из основных компонентов

Гидравлический насос 1, приводимый во вращение мотором  $M$ , всасывает жидкость из бака 2 и подает ее в трубопроводы 3 гидропривода вплоть до гидроцилиндра 5. Пока жидкость не встречает сопротивления, она только проталкивается через трубопровод.

Нагруженный силой  $F$  гидроцилиндр 5, установленный на конце трубопровода, представляет для жидкости препятствие, которое оказывает сопротивление. В результате давление возрастает до тех пор, пока препятствие не будет преодолено, т. е. пока поршень гидроцилиндра не начнет двигаться. Однако, если выключить мотор, сила  $F$  будет вдвигать поршень гидроцилиндра в исходное положение (шток вытягивается), а насос 1 будет работать в режиме гидромотора.

Путем установки обратного клапана 3 в напорной линии насоса 1 исключается возможность слива жидкости из гидроцилиндра 5 и, следовательно, предотвращается обратное движение штока (рис. 6.6, а). После внесения дополнений в конструкцию гидропривода мы можем удерживать гидроцилиндр 5 в любом нужном положении за счет выключения мотора.

Если поршень полностью выдвигается, т. е. упирается в крышку гидроцилиндра, давление возрастает до тех пор, пока не произойдет разрушение гидропривода.

Эта опасность исключается предохранительным клапаном 4, показанным на рис. 6.6, б).

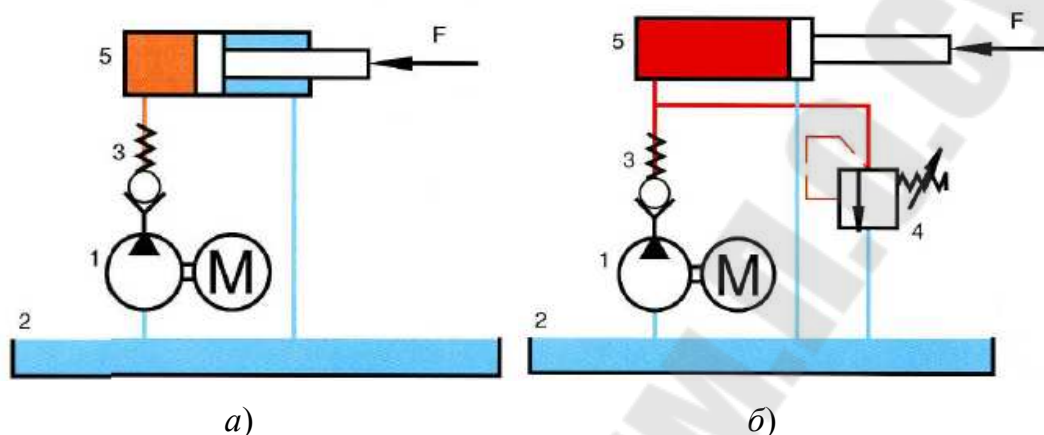


Рис. 6.6. Использование в схеме обратного клапана (а) и предохранительного клапана (б)

Чтобы защитить гидропривод от чрезмерного нарастания давления (от перегрузки), необходимо ограничить максимально допустимое давление с помощью предохранительного клапана.

В предохранительном клапане механическая сила пружины воздействует на конус, прижатый к седлу. Имеющееся в трубопроводе давление  $F = p/A$  действует на конус, стремясь оторвать его от седла. Если сила от давления превышает усилие пружины, конус отходит от поверхности седла.

Далее давление уже не возрастает, а объемный расход, подаваемый насосом 7, сливается в резервуар 2 через предохранительный клапан 4.

Таким образом, наш гидропривод уже способен полностью выдвигать шток гидроцилиндра. За счет установки гидрораспределителя б можно обеспечить реверс движения гидроцилиндра, т. е. возможность обратного втягивания штока.

На рис. 6.7, а показан гидрораспределитель б в позиции б. В этом положении не получилось нового качества по сравнению с рис. 6.6. Мысленно переключим гидрораспределитель б в каждое из его трех возможных положений (позиций). Для этого сместим вправо в зону гидролиний подвода квадратики 0 или а:

- позиция *a*: шток гидроцилиндра втягивается;
- позиция 0: все линии заперты и шток гидроцилиндра неподвижен;
- позиция *b*: шток гидроцилиндра выдвигается.

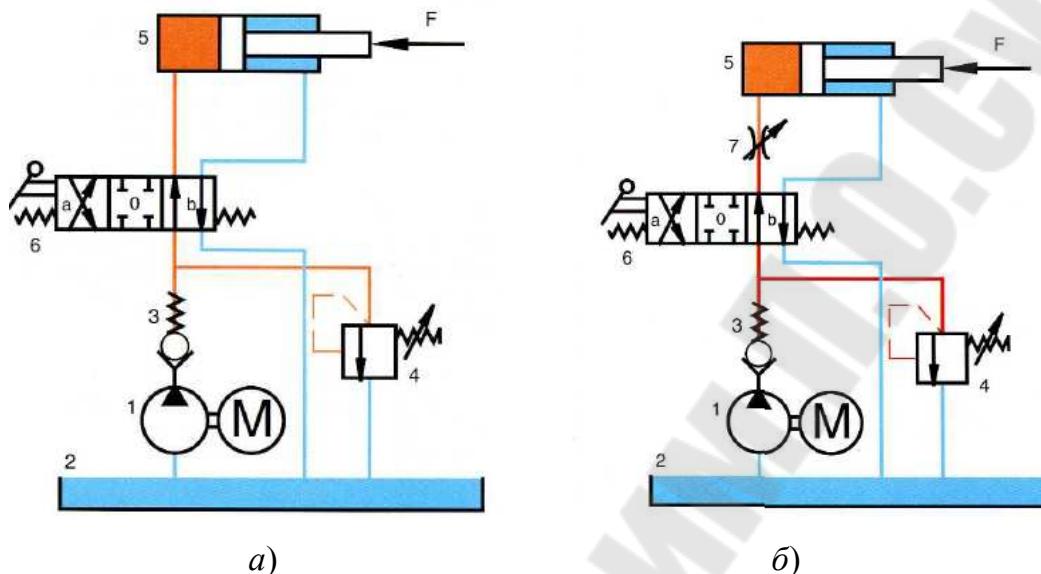


Рис. 6.7. Схема гидропривода дополнена управляющим устройством (*a*); использование в схеме дросселя (*б*)

Чтобы иметь возможность изменения скорости перемещения поршня в гидроцилиндре 5, необходимо изменять величину подаваемого в гидроцилиндр объемного потока (расхода) жидкости. Для этой цели устанавливается дроссель 7, как это показано на рис. 6.7, б.

С помощью дросселя 7 можно изменять проходное сечение трубопровода, через который рабочая жидкость подводится в гидроцилиндр. При уменьшении проходного сечения меньше жидкости поступает в гидроцилиндр 5 в единицу времени. В результате поршень гидроцилиндра начинает перемещаться медленнее. При этом оставшаяся часть подаваемой насосом жидкости сливается в бак 2 через предохранительный клапан 4.

При выдвигении штока гидроцилиндра в гидроприводе действуют следующие давления:

- между насосом 1 и дросселем 7 – давление, на которое настроен предохранительный клапан 4;
- между дросселем 7 и гидроцилиндром 5 – давление, соответствующее нагрузке  $F$ .

На гидравлической схеме гидропривода гидрораспределители всегда показываются в их исходном положении.



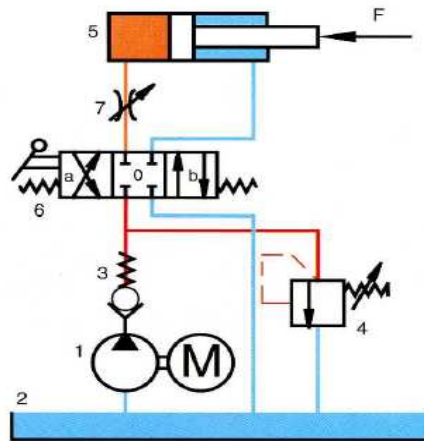


Рис. 6.8. Схематическое изображение гидропривода в соответствии со стандартом DIN ISO 1219

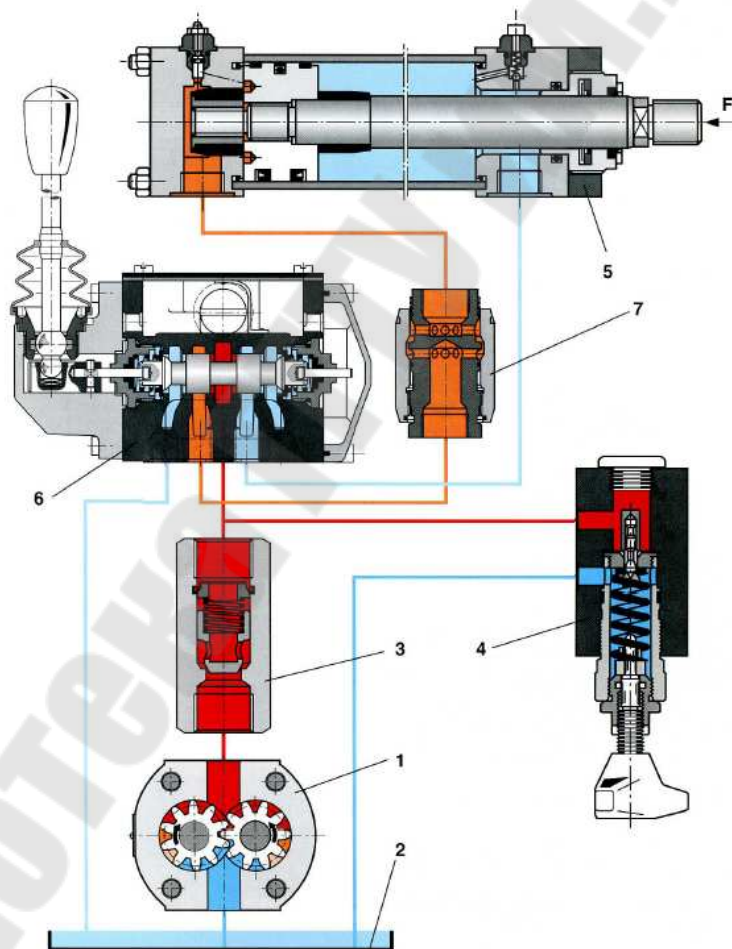


Рис. 6.9. Гидропривод с компонентами, показанными в разрезе

Законченная конструкция гидропривода, осуществляющего движение нагруженного силой  $F$  гидроцилиндра 5 в обе стороны, показана на рис. 6.8 схематически и на рис. 6.9 – с компонентами в разрезе.

## **6.3. Автоматизированное проектирование несущих конструкций (рам) сельскохозяйственных машин**

### ***6.3.1 Концепция алгоритма метода конечных элементов***

Анализ и концепция проблемы механики сплошной среды по методу конечных элементов всегда сводится к называемому «шаг за шагом» вычислительному процессу (Step by step process), который имеет огромное практическое значение для использования ЭВМ в целях эффективного расчета. В этом процессе, который можно представить как простой алгоритм, выделяют следующие шесть важнейших шагов [9], [22]: дискретизацию сплошной среды; выбор интерполяционных функций; вычисление характеристик элементов; формирование уравнений для сетки конечных элементов; решение системы уравнений; расчет нужных воздействий.

Особенно важны первые три шага. Способ дискретизации, выбор вида элементов из общего числа элементов зависит как от природы решаемой проблемы, так и от необходимой точности требуемого решения. Наряду с числом и видом элементов важен и выбор узлов, основных неизвестных в них и интерполяционных функций. С помощью последних определяют поле переменных каждого элемента. От их выбора непосредственно зависит точность аппроксимации. Переменные в элементе могут быть скалярной, векторной или тензорной величиной.

Характеристики отдельных элементов определяются независимо от сетки элементов как единого целого. Так, например, в напряженно-деформационном анализе конструкций основные зависимости между статическими и деформированными величинами устанавливаются для каждого элемента, матрица жесткости формируется автономно для отдельных элементов, а потом на их базе – матрица для всей системы в целом. Поскольку геометрия элементов достаточно проста, то практически это означает, что комплексная проблема разбивается на несколько простых. Характеристики элементов, матрицы жесткости, векторы нагружения и другое вычисляют чаще всего с помощью вариационных принципов на основе принятой геометрии элементов и соответствующих интерполяционных функций. Эти расчеты в основном производятся с применением способа численной интеграции.

Последние три шага, имеющие большое значение для практических расчетов, приспособливают к автоматическому режиму ЭВМ.

В этой области ведутся исследования, поиск более экономичных решений с меньшим расходом счетного времени ЭВМ. Это, прежде всего, относится к действиям, связанным с решением больших систем алгебраических уравнений, особенно в области нелинейного анализа, который сводится к решению ряда линейных систем алгебраических уравнений.

### ***6.3.2. Общая архитектура системы автоматизированного проектирования, базирующаяся на методе конечных элементов***

Практически расчет характеристик некоторого устройства в процессе проектирования проходит стадию представления задачи уравнениями в частных производных и включает в себя три этапа: описание геометрии, физических характеристик, генерацию сети конечных элементов; расчет с помощью метода конечных элементов; визуализацию и интерпретацию результатов моделирования.

Эти три этапа хорошо разделены и в действительности соответствуют на уровне программного обеспечения трем функциям, выполненным отдельными модулями: модулем ввода данных; модулем вычислений; модулем вывода результатов.

### ***6.3.3. Состав и требования к информационному обеспечению***

Модуль ввода предназначен для ввода и подготовки всей информации, необходимой для решения задачи методом конечных элементов. Следует сообщить данные о дискретизации области и представить ее физические характеристики. Модуль ввода должен также осуществлять следующие три функции: описание геометрии объекта; генерацию сети конечных элементов; указание областей и границ.

Генерация сети в области заключается в формировании совокупности узлов и совокупности конечных элементов, обеспечивающих приемлемую дискретизацию области. Такая дискретизация должна соответствовать границам области и внутренним границам между различными ее участками. Кроме того, конечные элементы не должны иметь форму, слишком отличающуюся от симметричных форм стандартных элементов (равносторонних треугольников или тетраэдров, квадратов или кубов). Узлы определяются их координатами, тогда как элементы характеризуются их типом и перечнем их узлов.



Операция указания областей и границ позволяет уточнить физическое поведение: описание физических характеристик материалов (например, модуль упругости, проводимость, теплопроводность); описание источников (например, источники тепла, нагрузок); характеристика граничных условий (закрепление конструкций); описание начальных условий для времяпеременных задач (состояние системы перед приложением импульса нагрузки).

Обычно эта информация вводится последовательно участок за участком, граница за границей. Связи между участками области и узлами позволяют отразить эту информацию в виде дискретизации области.

#### **6.3.4. Функции модуля вычислений**

Модуль вычислений решает одиночное уравнение для вариационной постановки или систему линейных уравнений для проекционной постановки.

Этот модуль получает на входе описание сети, физические характеристики и граничные условия. На выходе он выдает значения искомых величин в каждом узле сети.

Для решения систем уравнений используются два семейства методов: методы точечные или блочные, действующие путем релаксаций, и глобальные матричные методы.

Решение линейных систем осуществляется несколькими возможными способами: прямыми методами (Гаусса, Холецкого); полупрямыми методами; итерационными блочными методами (Гаусса, Зейделя).

#### **6.3.5. Функции модуля вывода**

Модуль вывода позволяет описать задачу, которая затем решается модулем вычислений. Однако полученное решение не может непосредственно использоваться по следующим причинам: значения переменных в узлах конечно-элементной сети не всегда имеют четкий физический смысл; масса необработанной численной информации, получаемой при вычислении, слишком велика для восприятия пользователем.

Модуль вывода играет двойную роль: извлекает значащую информацию. Эта информация может быть связана с локальными величинами или глобальными величинами; представляет численную информацию в графической форме для облегчения ее восприятия и интерпретации.

### **6.3.6. Структура вычислительных комплексов для использования метода конечных элементов**

Программа системы автоматизированного проектирования (САПР), базирующаяся на методе конечных элементов, должна включать в той или иной степени разнообразные функции, которые объединены в три модуля.

В программном обеспечении систем автоматизированного проектирования функции ввода и вывода особенно развиты, так как они сокращают время получения данных и оценки результатов в ходе моделирования.

В структуру модуля ввода данных входят устройства подготовки и ввода данных: клавиатура и контроль на экране; сканер; сколка (работа с чертежами на специальном планшете для автоматизированного ввода топологии моделей).

Модуль вычислений реализуется с помощью процессора ЭВМ, обладающего достаточным быстродействием и объемом оперативной памяти, соответствующей порядку систем уравнений, решаемых в процессе выполнения задачи. Порядок систем при решении задач прочности конструкции может достигать  $10^4$ – $10^5$ , вследствие чего реализация модуля вычислений требует значительных ресурсов оперативной памяти для размещения временных наборов данных, формируемых процессором.

Модуль вывода реализуется в виде кодированной печати результатов (принтер), графического вывода на графопостроитель, плоттер и визуальный вывод на экран как графической, так и текстовой информации.

### **6.3.7. Программное обеспечение для анализа прочности конструкций по методу конечных элементов**

В настоящее время существует ряд пакетов прикладных программ, в которых сопряжены метод конечных элементов и некоторые методы САПР.

Общими их разделами являются документы ввода, библиотеки конечных элементов и документы вывода. Один из самых важных документов – это ввод модели, так как создание модели не программируется. Изыскание оптимальной модели является предметом научного поиска (рис. 6.10). Вычислительные комплексы, содержащие пакет прикладных программ расчета динамики и прочности механических систем, обеспечивают расчет напряжений и деформаций в пространст-

венных конструкциях и деталях, представляемых в виде систем, состоящих из стержней, пластин, объемных элементов, элементов, рассматриваемых как твердое тело, гибких нитей и различных связей при статическом и динамическом характере приложения внешних нагрузок.

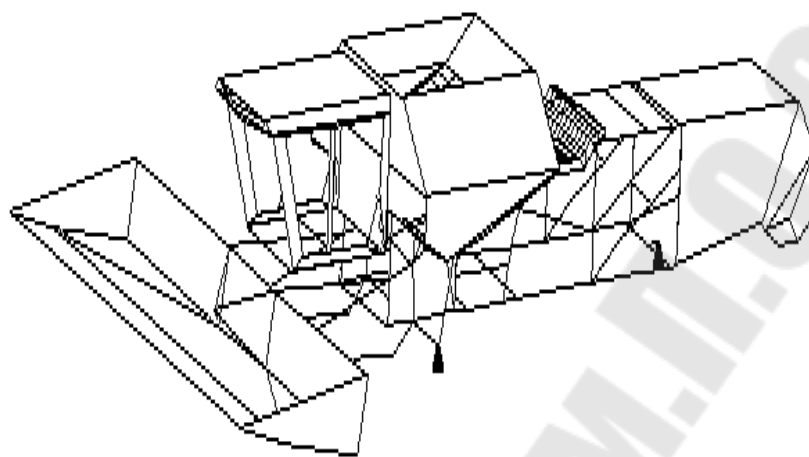


Рис. 6.10. Конечно-элементная модель несущей конструкции зерноуборочного комбайна

Комплексы обеспечивают решение следующих задач: расчет деформационных перемещений в конструкциях; расчет усилий и напряжений в стержнях, пластинах, оболочках и объемных элементах (при этом обеспечивается расчет как компонент, так и эквивалентных напряжений) и коэффициентов запаса по напряжениям; просмотр и вывод на печать отредактированных исходных данных и результатов счета; графическое изображение расчетных схем конструкции; автоматизированное определение геометрических характеристик сечений; визуальный контроль данных и диагностику ошибок формирования набора данных; создание архива решаемых задач и проведение операций с архивными файлами.

Работа организована в режиме диалога «пользователь – ПЭВМ».

Комплексы представляют собой совокупность автономных программ, объединенных единой внутренней формой данных, предназначенной для обмена информацией между программами.

Обмен данными осуществляется через внешние запоминающие устройства (накопители на магнитных дисках) с использованием специальной внутренней формы данных.

АИМ *WinStructure 3D* представляет собой универсальную систему для расчета рамных, пластинчатых, оболочечных, а также смешанных конструкций конечных элементов.

С помощью программы Вы можете рассчитать произвольную трехмерную конструкцию, состоящую из стержней произвольного поперечного сечения, пластин и оболочек при произвольном нагружении и закреплении. При этом соединение элементов в узлах может быть как жестким, так и шарнирным.

В результате выполненных системой АПМ WinStructure 3D расчетов Вы можете получить следующую информацию: нагрузки на концах элементов конструкции; карту напряжений и деформаций по длине стержней и по поверхности пластин и оболочек конструкции; перемещения произвольной точки; карту распределения напряжений в произвольном сечении стержня; для отдельного стержня конструкции – эпюры изгибающих и крутящих моментов, поперечных и осевых сил и т. д.

Расчет с помощью МКЭ в форме метода перемещений включает в себя следующие этапы: разбиение конструкций на конечные элементы и подготовку топологической, геометрической и физической информации; установление факторов взаимодействия с окружающей средой; построение для выделенных конечных элементов соответствующих матриц (жесткости, масс, др.) и векторов, определяющих зависимости между реакциями, перемещениями в узлах элемента; формирование разрешающей системы линейных алгебраических или дифференциально-алгебраических уравнений; решение полученной системы уравнений и установление полей перемещений, внутренних силовых факторов, температуры и так далее; обработку результирующей информации и ее анализ.

Перечисленные этапы поддаются четкой универсальной алгоритмизации и их программная реализация не вызывает принципиальных затруднений при наличии библиотеки стандартных подпрограмм.

Основные этапы расчета напряженно-деформированного состояния конструкции рамы:

1. Реальная конструкция представляется в виде идеализированной системы, состоящей из конечных элементов (рис. 6.11). Вид конечного элемента (прямоугольный стержень, тонкая пластина, шестигранный объемный элемент и т. д.) выбирается из библиотеки конечных элементов, применяемых для данных расчетов программного комплекса (рис. 6.12).

2. Для описания всей системы принимается глобальная система координат. Местоположение каждого узла конечно-элементной модели (КЭМ) фиксируется тремя координатами:  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ .

3. Определяются типы опор (кинематические граничные условия). Необходимо задать кинематические граничные условия (заранее известные перемещения) таким образом, чтобы исключить возможность перемещения КЭМ рассматриваемой конструкции как твердого тела во всех направлениях.

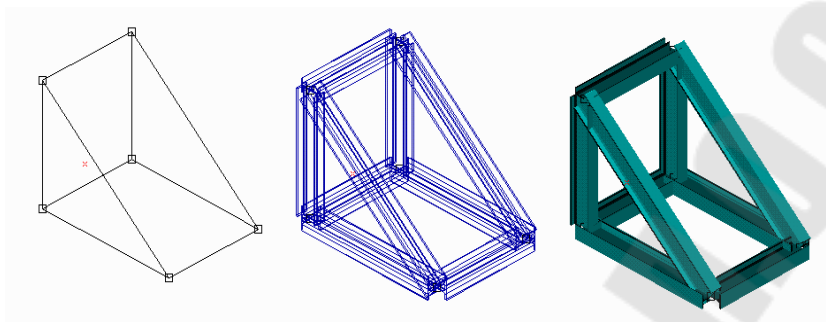


Рис. 6.11. Проволочная, каркасная, твердотельная модели конструкций рам

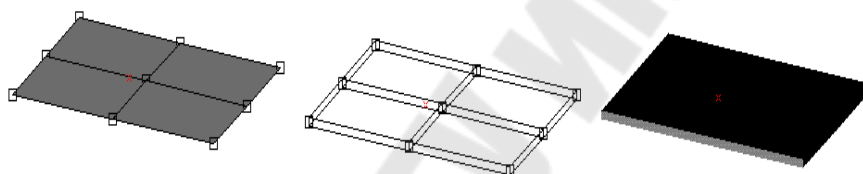


Рис. 6.12. Конечные элементы модуля АПМ WinStructure 3D

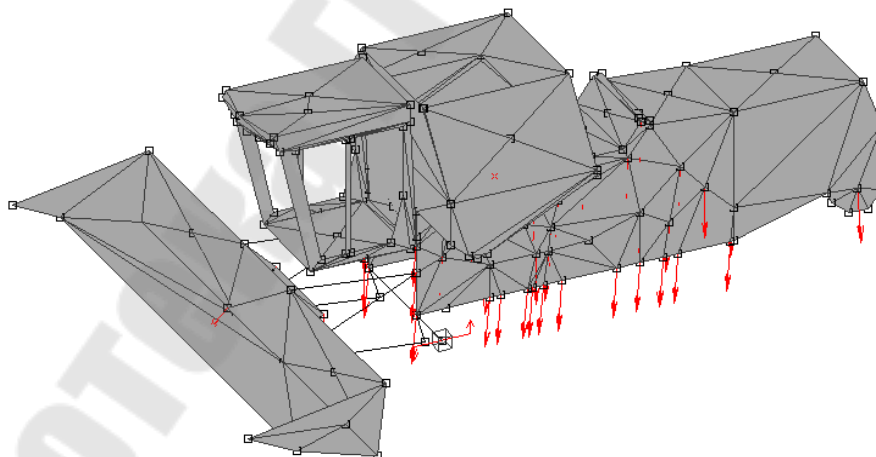


Рис. 6.13. Картина деформированного состояния конструкции

Задание внешних нагрузок, действующих на КЭМ, производится приложением сосредоточенных сил и моментов (по плоскостям) в узлах, при этом нумерация узлов начинается с единицы. Ее порядок определяется только удобствами пользователя; задаются механические

свойства материала (модуль упругости, модель сдвига конструкции, коэффициент Пуассона, плотность); геометрические характеристики самих конечных элементов задаются в локальной (местной) системе координат  $U, V, W$ , начало которой для каждого конечного элемента расположено в одном из его узлов; связь конечной или бесконечной жесткости определяет соединение двух соседних узлов; результатом расчета является напряженно-деформированное (рис. 6.13) состояние конструкции, представленное в графическом виде или в виде таблиц.

#### **6.4. Функциональные схемы 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 видом и типом. Наименование схемы комбинированной идентифицируют комбинированными видами схем и типов схем. Наименование схемы объединенной характеризуется 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 для рационального выполнения заданного технологического процесса при известных ограничениях его показателей (агропоказатели).

Разъясняет ФС технологические операции, процессы в проектируемой СХМ или агрегате, определяет вид (или вариант) техниче-

го средства, выполняющего частную операцию (например, пневмосепарация), или их подсистему, и их основные параметры (размеры, кинематические параметры), определяет изменение технологических свойств обрабатываемого материала после выполнения каждой операции и всей СХМ или агрегата.

В результате ее разработки получают данные о вариантах рабочих органов, с помощью которых целесообразно осуществлять технологический процесс проектируемой СХМ, об их параметрах и режимах работы, взаимном их расположении и последовательности выполнения 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.

Этот 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 разные методы и принципы воздействия на материал, различная степень концентрации обработки, дает некоторое количество вариантов функциональной схемы проектируемой машины.

Для ориентировочного подхода к созданию вариантов на практике в качестве базы 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 зоопоказателями, 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 зоопоказателей.

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.

## **6.5. Проектирование и конструирование в среде «КОМПАС»**

Программные продукты для КТПП, разработанные компанией АСКОН, стали стандартом для тысяч промышленных предприятий. Их популярность объясняется отличными функциональными возможностями, удобством и надежностью, уникальной быстротой освоения и внедрения у заказчиков, большим набором стандартных библиотек и специализированных приложений.

### **6.5.1. Разработка чертежей в КОМПАС-ГРАФИК**

Двухмерная параметрическая чертежно-конструкторская система КОМПАС-ГРАФИК обеспечивает базовую графику, проектирование на плоскости и формирование чертежей. КОМПАС-ГРАФИК позволяет создавать различные виды КД как на основании разработанной в КОМПАС-3D трехмерной модели объекта, так и путем проектирования объектов на плоскости, с использованием специальных приложений, которые ускоряют процессы проектирования и разработки документации. Оформленная в среде КОМПАС-ГРАФИК документация *полностью соответствует требованиям ЕСКД* к оформлению и изготовлению документов и пригодна для хранения в технических архивах на бумажных носителях или в электронном виде на ПЭВМ.



КОМПАС-ГРАФИК предназначен для скоростного создания качественных чертежей, схем, расчетно-пояснительных записок, технических условий, инструкций и других документов.

Средства импорта (экспорта) (программы-конверторы) графических документов поддерживает форматы DXF, DWG, IGES и позволяют организовывать обмен данными со смежниками и заказчиками, использующими любые чертежно-графические системы.

КОМПАС-ГРАФИК предлагает: разнообразные способы и режимы построения графических примитивов (в том числе ортогональное черчение, привязка к сетке и т. д.), мощные средства создания параметрических моделей для часто применяемых типовых деталей или сборочных единиц, создание библиотек типовых фрагментов без какого-либо программирования, любые стили линий, штриховок, текстов, многочисленные способы простановки размеров и технологических обозначений с автоматическим подбором допусков и отклонений, быстрый доступ к типовым текстам и обозначениям, встроенные текстовый и табличный редакторы.

КОМПАС-ГРАФИК автоматически генерирует ассоциативные виды трехмерных моделей (в том числе разрезы, сечения, местные виды, виды по стрелке). Все они ассоциированы с моделью: изменения в модели приводят к изменению изображения на чертеже. При обращении к КОМПАС-3D и системе проектирования спецификаций может формировать ассоциированные чертежи (см. рис. 6.14 и 6.15). Последние версии КОМПАС-ГРАФИК способны создавать конструкторские проработки общих видов сложных технических объектов.

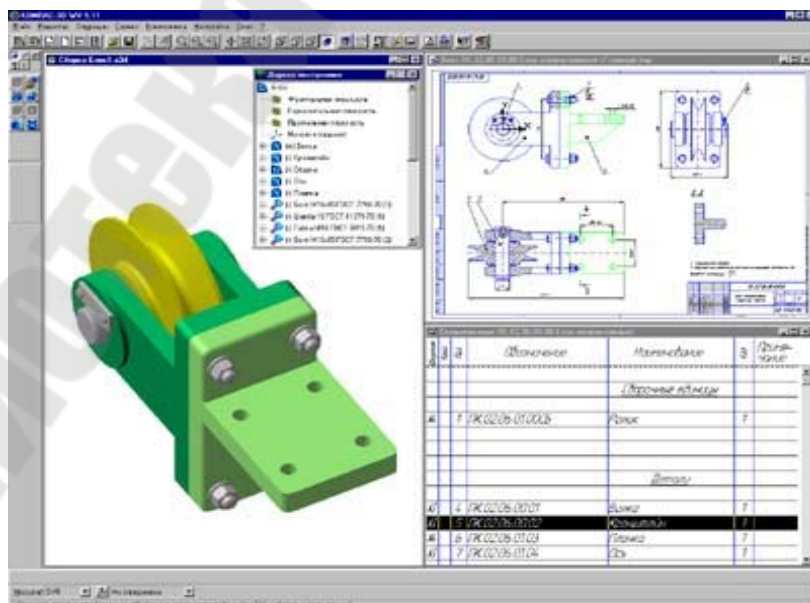


Рис. 6.14. Ассоциированный чертеж упора роликового

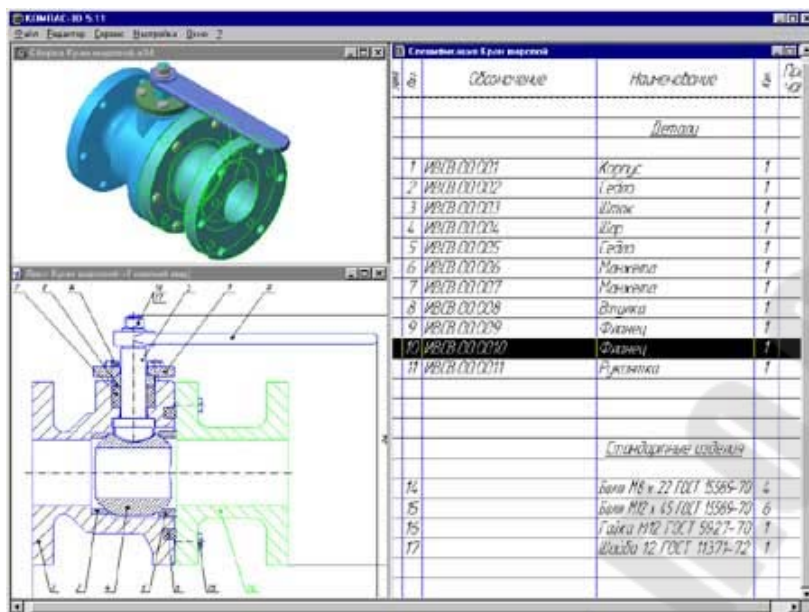


Рис. 6.15. Ассоциированный чертеж крана прифланцованного

Одновременно КОМПАС-ГРАФИК и КОМПАС-3D являются прекрасным выбором для автоматизации рабочих мест на малых и средних предприятиях, поскольку предлагают лучшие показатели системы «стоимость–функциональность».

### 6.5.2. Геометрическое моделирование в КОМПАС-3D

Система КОМПАС-3D предназначена для создания трехмерных ассоциативных моделей отдельных деталей и сборочных единиц, содержащих как оригинальные, так и стандартизованные конструктивные элементы. Параметрическая технология позволяет быстро получать модели типовых изделий на основе однажды спроектированного прототипа. Многочисленные сервисные функции облегчают решение вспомогательных задач проектирования и обслуживания производства.

Система КОМПАС-3D позволяет реализовать классический процесс трехмерного параметрического проектирования: от идеи – к ассоциативной объемной модели и от модели – к КД.

Основные компоненты КОМПАС-3D – собственно система трехмерного твердотельного моделирования, чертежно-графический редактор и модуль проектирования спецификаций. Все они легки в освоении, имеют русскоязычные интерфейс и разветвленную справочную систему.

Ключевой особенностью КОМПАС-3D является использование собственного математического ядра и параметрических технологий, разработанных специалистами АСКОН. Так, при создании новой версии КОМПАС-3D V8 удалось примерно вдвое повысить производительность работы системы.

Основная задача, решаемая системой, – моделирование изделий с целью существенного сокращения периода проектирования и скорейшего их запуска в производство. Эти цели достигаются благодаря возможностям: быстрого получения конструкторской и технологической документации, необходимой для выпуска изделий (сборочных чертежей, спецификаций, детализовок и т. д.); передачи геометрии деталей и конструкций в расчетные пакеты – ANSYS (см. рис. 6.13), ИСПА, ADAMS и другие; передачи геометрии в пакеты разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ (ГеММа); создания дополнительных изображений изделий (например, для составления каталогов, создания иллюстраций к технической документации и т. д.).

Моделирование машиностроительных конструкций в КОМПАС-3D можно вести различными способами: «снизу вверх» (используя готовые компоненты), «сверху вниз» (проектируя компоненты в контексте конструкции), опираясь на компоновочный эскиз (например, кинематическую схему), либо смешанным способом. Такая идеология обеспечивает получение легко модифицируемых ассоциативных моделей. Примеры геометрического моделирования в среде КОМПАС-3D приведены на рис. 6.16 и 6.17.

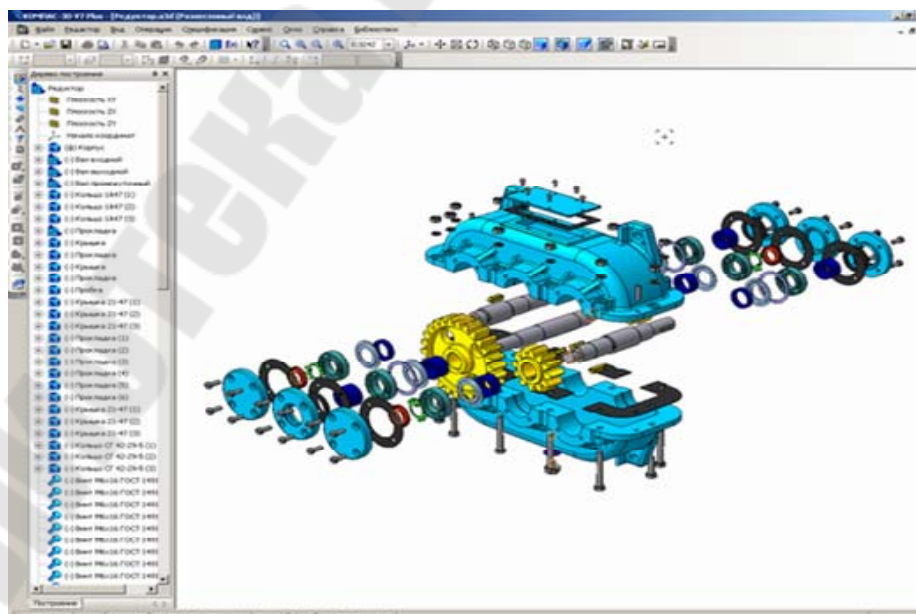


Рис. 6.16. Развернутое моделирование редуктора

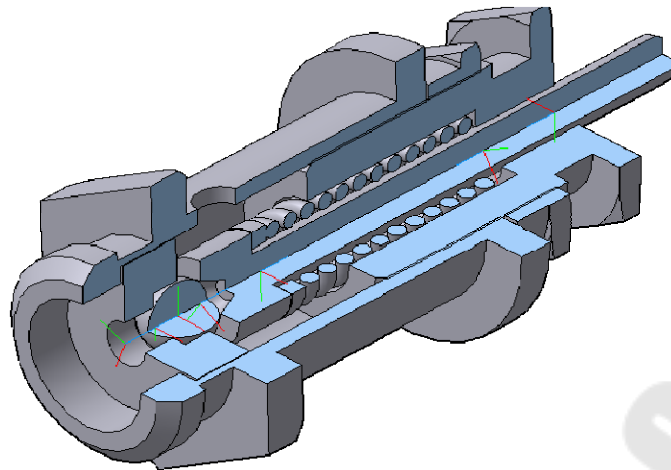


Рис. 6.17. Твёрдотельная модель клапана пневмогидравлического

Функционируя в составе корпоративных комплексов CAD/CAM/CAE/PDM, решающих задачи оптимизации КТПП, КОМПАС-3D взаимодействует с системой ведения электронного архива и управления данными ЛОЦМАН:PLM (или с другими PDM/PLM-системами, применяемыми заказчиком) и едиными базами данных (корпоративными справочниками).

### **6.5.3. Системы проектирования: КОМПАС-SHAFT Plus и КОМПАС-SPRING**

Прикладное ПО в большинстве проектно-конструкторских организаций и машиностроительных предприятий, сформированное за годы из собственных и заимствованных программ с учетом специфики задач, как правило, морально устарело и практически не поддается модификации [6].

Автоматизированные системы проектирования тел вращения и пружин, разработанные компанией АСКОН, предназначены для конструкторов соответствующих изделий и обеспечивают не только ускоренное формирование чертежей, но и выполнение расчетов, подбор рациональных параметров проектируемых объектов [9].

Большому количеству инженеров-конструкторов и по сей день приходится заниматься подобными расчетами с помощью калькулятора, даже если они и используют в работе графические пакеты. Пользователи КОМПАС могут забыть об этом раз и навсегда, если в их распоряжении находится система КОМПАС-SHAFT Plus. Она позволяет не только выполнять геометрические и прочностные расче-



ты цилиндрических и конических зубчатых, цепных, червячных и ременных передач, но и строить их параметрические модели, из которых очень легко получить как обычный плоский чертеж с таблицами параметров зубчатых колес и изображением профилей зубьев, так и трехмерную модель (см. рис. 6.18). КОМПАС-SHAFT Plus предназначена также для параметрического проектирования деталей типа «тела вращения» – валов и втулок. Она обеспечивает построение шлицевых, резьбовых и шпоночных участков на ступенях валов. При этом сложность моделей валов и количество ступеней не ограничиваются.

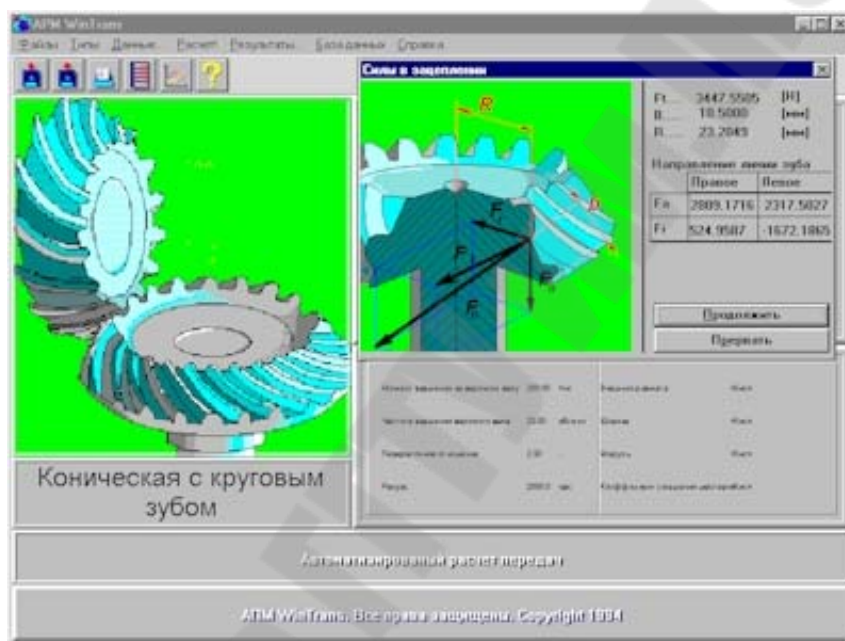


Рис. 6.18. Проектирование конической передачи с круговым зубом

Система КОМПАС-SPRING – предназначена для выполнения проектного и проверочного расчетов цилиндрических винтовых пружин сжатия и растяжения (см. рис. 6.19), а также для построения их чертежей (вид, технические требования и заполнение основной надписи) в среде системы КОМПАС. В основу программы положены методики ГОСТ 13764–86, ГОСТ 13765–86 и методики, разработанные в расчетно-вычислительном центре Специального конструкторского бюро машиностроения (г. Курган). Подключение КОМПАС-SPRING осуществляется вызовом из главного меню графического редактора соответствующей команды, а работа не требует от пользователя, знакомого с КОМПАС-ГРАФИК, дополнительных навыков (рис. 6.19).

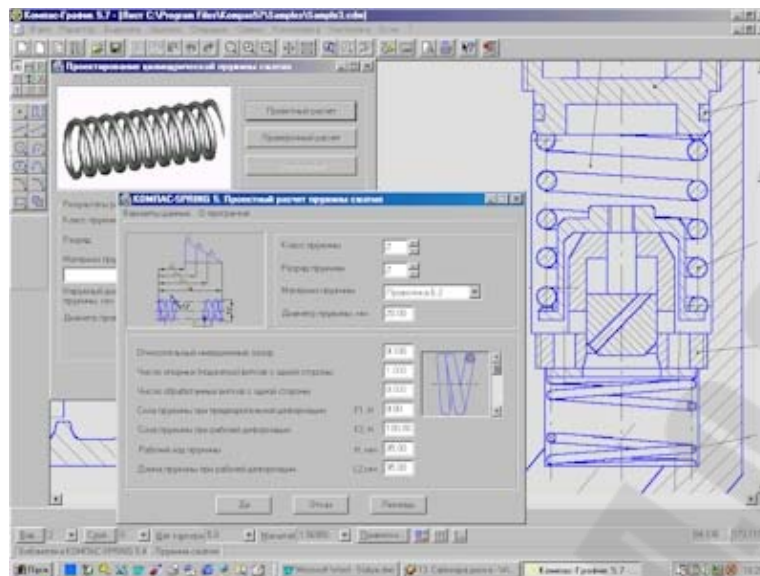


Рис. 6.19. Проектирование пружин сжатия и растяжения

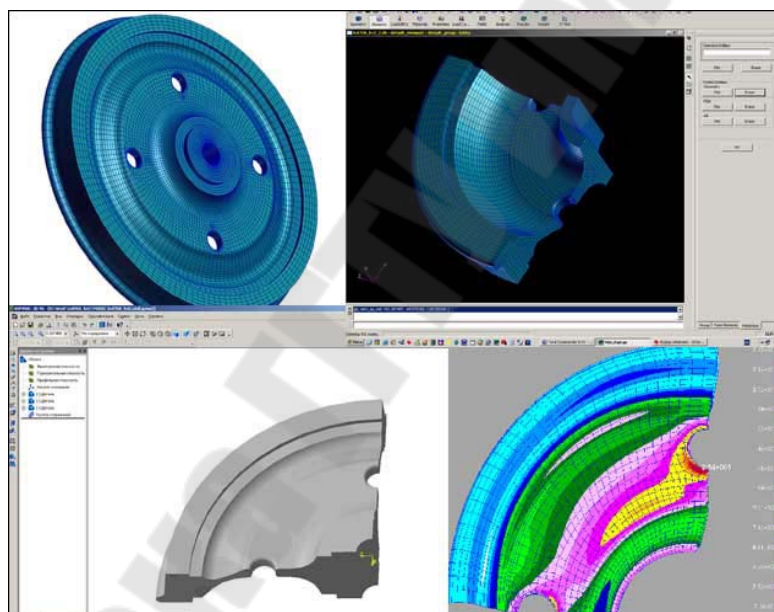


Рис. 6.20. Иллюстрация поля напряжений в 3D-модели детали, переданной из КОМПАС-3D в программный комплекс ANSYS

Иллюстрация поля напряжений в 3D-модели детали, переданной из КОМПАС-3D в программный комплекс ANSYS, дана на рис. 6.20.

#### 6.5.4. Формирование спецификаций

Система проектирования спецификаций позволяет выпускать разнообразные спецификации, ведомости и прочие табличные документы. Спецификация может быть ассоциативно связана со сборочным

чертежом (одним или несколькими его листами) и трехмерной моделью сборки. Возможна автоматическая передача данных из чертежа или модели в спецификацию или из спецификации в подключенные к ней документы. Из спецификации в чертеж передаются номера позиций компонентов сборки (стандартных изделий, деталей и т. д.), а из сборочного чертежа в спецификацию – номера зон, в которых расположено изображение соответствующих компонентов сборки. Из моделей деталей и сборочных единиц в спецификацию передаются наименование, обозначение, масса и другие данные.

Если в сборочный чертеж вставлены изображения стандартных элементов из прикладных библиотек, то информация о них передается в спецификацию.

Система проектирования спецификаций поддерживает заполнение разделов и подразделов и стандартную сортировку строк внутри них (рис. 6.21). Правила сортировки строк по умолчанию соответствуют стандарту; при необходимости они могут быть изменены пользователем.

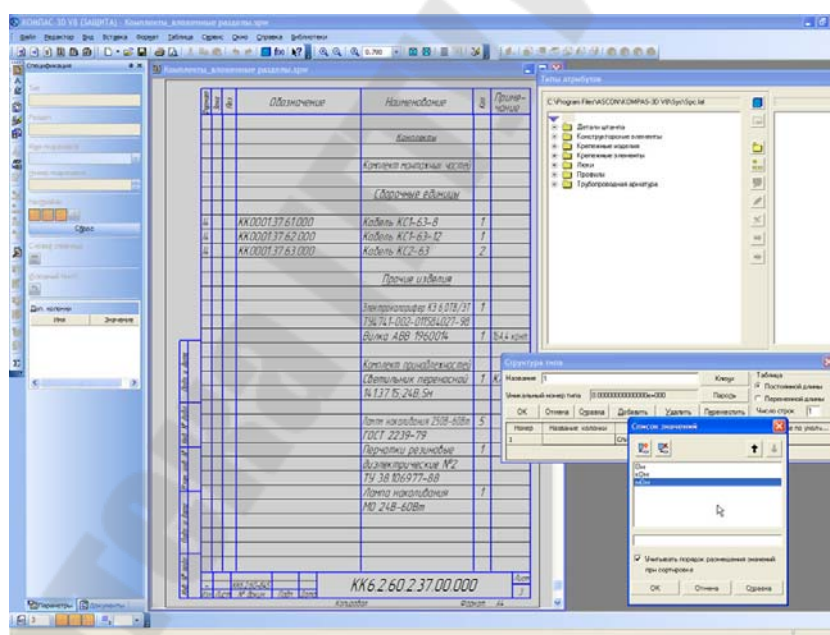


Рис. 6.21. Работа со спецификацией

Разнообразие параметров и настроек, в особенности применение пользовательских бланков, позволяет создавать не только спецификации в соответствии с ГОСТами. Механизмы модуля разработки спецификаций отлично подходят для работы с различными ведомостями, перечнями, каталогами и списками: их строки можно нумеровать, сортировать, связывать с документами и графическими объектами и т. д. Комбинируя

различные настройки спецификации, можно создавать ведомости спецификаций, ведомости ссылочных документов, ведомости покупных изделий, таблицы соединений, листы регистрации изменений и прочие документы.

### **6.6. Доводка сборочных единиц и агрегатов сельскохозяйственной машины на испытательных стендах**

Испытания машин, а следовательно, их узлов и деталей – мощное средство технического прогресса в машиностроении.

Знания в области физики твердого тела не позволяют теоретически рассчитывать прочность, не пользуясь экспериментальными характеристиками материалов. Современные детали машин, как правило, сложны по форме и не всегда подходят под определения бруса, пластинки или оболочки, расчеты для которых достаточно точно можно выполнить, применяя методы сопротивления материалов. Детали подвергаются сложным переменным и, как правило, нестационарным напряженным состояниям, работают в коррозионной среде и т. д.

Точные решения температурных задач для деталей машин имеют еще ограниченное применение, так как эти задачи описываются сложными уравнениями, аналогичными уравнениям теории упругости.

Для обеспечения длительной износостойкости трущиеся поверхности деталей машин должны быть разделены слоем смазки. Недостаточно изучены гидродинамика смазки реальных поверхностей с неровностями, работа тонких слоев смазки во взаимодействии с материалом трущихся деталей и т. д. Теория износа еще не позволяет оценивать долговечность деталей с необходимой точностью с учетом реальных условий эксплуатации.

Поэтому теоретические расчеты деталей машин являются недостаточными, и все большее значение получают испытания деталей в реальной обстановке.

Испытания особенно важны для обеспечения надежности машин. Эксплуатационные наблюдения надежности и долговечности машин оказываются статистически достоверными только через длительные сроки эксплуатации. Считается, что решение важнейшей для народного хозяйства проблемы надежности машин в значительной степени тормозится из-за невозможности быстрых испытаний по этому критерию.



Полный комплекс испытания машин предусматривает следующую последовательность и состав испытаний: от деталей – к узлам, агрегатам и машине в целом и от лабораторных испытаний – к испытанию на полигоне, опытной эксплуатации и серийной эксплуатации. Объем испытаний зависит от ответственности и назначения машины, ее напряженности, новизны и от объема выпуска. При всех испытаниях должна оцениваться их точность и обеспечиваться необходимая достоверность результатов.

В соответствии с основными критериями работоспособности и надежности деталей машин их испытывают на точность, потери на трение, прочность, жесткость, теплостойкость, износостойкость и виброустойчивость.

Испытания деталей проводят: на экспериментальных установках, позволяющих испытывать относительно дешевые образцы, форсировать режимы и проводить точные измерения; в натуральных узлах и машинах, выполняющих испытания в условиях, близких к эксплуатационным.

Основное распространение и значение имеют испытания на экспериментальных установках. В натуральных машинах удобно проводить испытания без разрушения по критериям точности, жесткости, виброустойчивости (рис. 6.22).

Испытания делятся на кратковременные, когда фиксируется состояние объекта в данный момент, и длительные, в процессе которых контролируется изменение состояния во времени. Кратковременные испытания требуют времени для достижения установившегося температурного состояния и собственно для проведения измерений. К этим испытаниям относят испытания по следующим критериям: начальной точности, прочности при единичных нагружениях, жесткости, виброустойчивости. Длительными испытаниями являются испытания на усталость, изнашивание, коррозию, проводимые до разрушения или исчерпания значительной части ресурса.

Для испытания деталей машин по показателям, имеющим существенное рассеяние, в частности, на ресурс, необходимо пользоваться статистическими методами. Выборка, т. е. количество изделий, подлежащих испытанию, должна быть достаточно представительной. Она зависит от масштаба выпуска, стоимостей изделия и его испытания, рассеяния показателя и др.

Испытания на надежность и испытания по всем критериям, связанным с накоплением повреждений, требуют длительного времени.

Считается, что решение первоочередной задачи техники – обеспечение необходимой надежности оборудования затрудняется невозможностью достаточно быстрой оценки надежности. Поэтому проблема ускоренных испытаний является весьма актуальной. Ускорение испытаний достигается следующими основными путями (или их сочетаниями): обеспечением непрерывности испытаний; повышением частоты нагрузений или скорости скольжения; увеличением нагрузок или исключением из их спектра нагрузок, не влияющих или слабо влияющих на долговечность; форсированием воздействия окружающей среды (загрязнений, коррозии и т. д.); повышением точности измерений; применением статистических методов обработки результатов с использованием исследованных ранее закономерностей; научным планированием экспериментов.

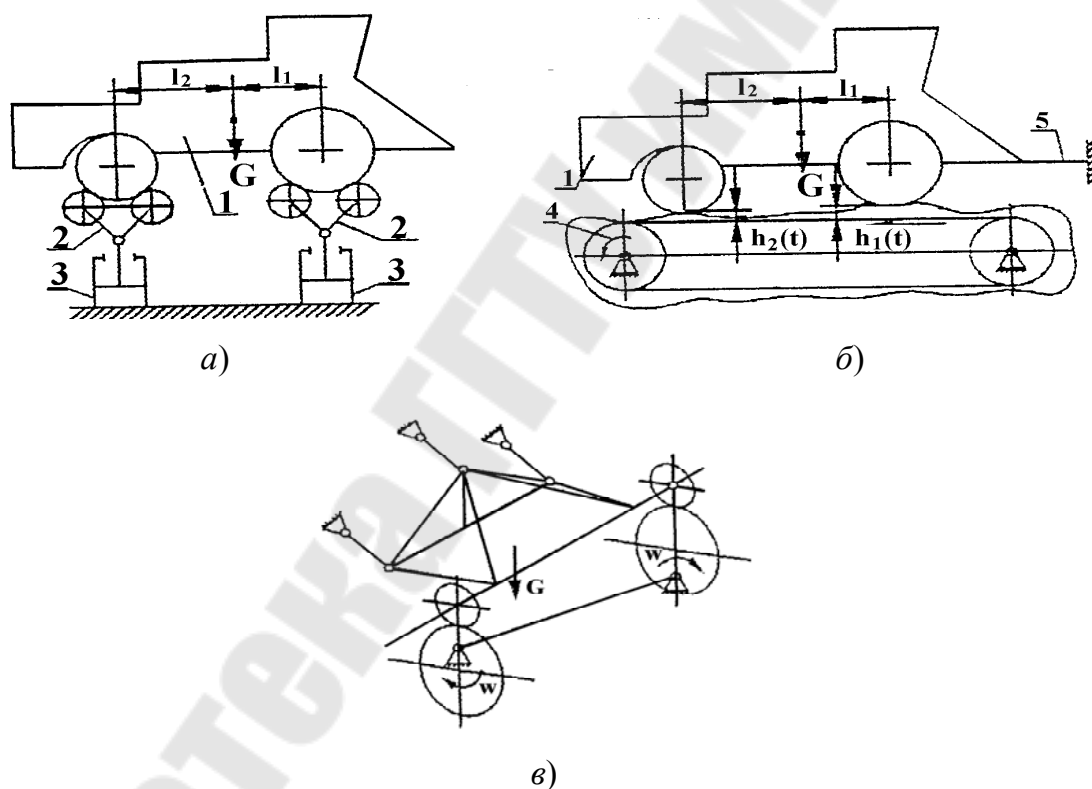


Рис. 6.22. Схемы стендов, имитирующих дорожные условия:  
 1 – испытуемый зерноуборочный комбайн; 2 – роликовая опора;  
 3 – гидроцилиндры; 4 – опорный транспортер;  
 5 – растяжки; а–в – виды стендов

При ускорении испытаний характер выхода деталей из строя должен обязательно сохраняться таким же, как и в эксплуатации. Это условие является обязательным при установлении возможного фор-

сирования режимов. Ускоренные испытания особенно удобны как сравнительные и для проверки стабильности качества продукции. При использовании их для оценки ресурса необходимо установление коэффициента перехода на основе сопоставления с результатами эксплуатационных наблюдений или хотя бы длительных испытаний.

При полных испытаниях на долговечность доводят до отказа все изделия партии и получают кривую распределения ресурса. Применяют также сокращенные испытания до отказа  $(100 - y) \%$  изделий партии, где  $y$  – % изделий, для которых гарантирован ресурс, или до отказа числа изделий, достаточного, чтобы сделать заключение о качестве партии или вычислить средний ресурс.

Испытания на крупных деталях оказываются дорогими, требующими больших мощностей и больших лабораторных площадей. Поэтому значительную часть испытаний проводят на образцах уменьшенных размеров. Для перехода к натурным деталям используют теорию подобия, а также проводят специальные исследования для установления влияния масштабного фактора. Экспериментально определять параметры объекта исследования можно непосредственным измерением (например, размеров) и приведением системы в равновесное состояние (например, взвешиванием на обычных весах, электрическим измерением с помощью мостика Уитстона). Экспериментальное определение воздействий на объект исследования может также проводиться по результатам воздействий на объект (например, определение сил по упругим деформациям объекта).

Машины и стенды для испытания общемашиностроительных деталей (зубчатых, червячных, цепных и ременных передач, подшипников, муфт, крепежных изделий, пружин и рессор, уплотнений и др.) должны изготавливаться централизованно, а стенды для испытания специфических для отдельных отраслей узлов – централизованно в масштабе отраслей.

При изменении постоянных или медленно меняющихся параметров преимущественно используют более простые методы – механические или оптические. Пневматические методы применяют как бесконтактные. При измерении быстроменяющихся параметров, а также при автоматическом контроле размеров преимущественно применяют электрические методы, достоинствами которых являются малая инерционность, малое влияние на объект измерения, благодаря малым массам и размерам датчиков, дистанционность, удобная регистрация результатов с помощью осциллографов и других приборов, легкость автоматизации и т. п. Невозможность полного воспроизведения при испытаниях

действительных условий эксплуатации машин, а также высокая стоимость испытания дорогостоящих изделий заставляют обращать серьезное внимание на эксплуатационные наблюдения. Наблюдения должны проводиться потребителями и изготовителями совместно и фиксировать серьезные отказы, сроки службы деталей, снижение показателей работы. Целесообразна разработка эксплуатационных паспортов машин, подлежащих обязательному заполнению потребителями. Эксплуатационные наблюдения требуют достаточных объемов, сроков и статистической обработки результатов.

Среди испытаний деталей машин особое место занимают учебные лабораторные испытания. К ним предъявляются следующие требования: иллюстративность основных положений теории; наглядность результатов; кратковременность, определяемая необходимостью уложить каждое испытание в одно занятие; малые габариты экспериментальных установок, дешевые образцы.

Сельскохозяйственная техника, подлежащая разработке и постановке на производство, должна удовлетворять требованиям заказчика, изложенным в техническом задании и другой нормативной документации, и обеспечивать возможность эффективного применения потребителем.

В связи с тем, что условия применения сельскохозяйственной техники многообразны и недостаточно изучены, значения параметров сельскохозяйственных сред (особенно почвенных условий) изменяются в больших пределах, аналитические методы расчетов многих типов рабочих органов еще далеки от совершенства, испытания вновь изготовленных образцов сельскохозяйственной техники в настоящее время являются составной частью (стадией) процесса отработки новых конструкций.

Основной формой контроля соответствия нового изделия предъявляемым требованиям являются испытания, в процессе которых экспериментально определяются количественные и качественные характеристики новых образцов техники.

Необходимость приемочных испытаний сельскохозяйственной техники подтверждает, например, такой факт, что ежегодно положительную рекомендацию (решение о постановке изделия на производство) по результатам испытаний на Белорусской машиноиспытательной станции получают только до 30 % испытанных образцов машин, а у остальных 70 % образцов изделий выявляются недостатки конструкции, из-за которых машины нельзя эффективно применять в сельскохозяйственном производстве.

## Литература

1. Андросов, А. А. Надежность технических систем : учеб. пособие / А. А. Андросов. – Ростов н/Д : Издат. центр ДГТУ, 2000. – 168 с.
2. Вальтер, А. И. Управление качеством машин и технологий / А. И. Вальтер, А. А. Баранов. – Тула : Тул. гос. ун-т, 2003. – 230 с.
3. Основы проектирования сельскохозяйственных машин : учебник / Ю. И. Ермольев [и др.]. – Ростов н/Д : Издат. центр ДГТУ, 2006. – 638 с.
4. Волков, Д. П. Надежность строительных машин и оборудования : учеб. пособие для студентов вузов / Д. П. Волков, С. Н. Николаев. – М. : Высш. шк., 1979. – 400 с.
5. Всеобщее управление качеством : учеб. для вузов / О. П. Глудкин [и др.] ; под ред. О. П. Глудкина. – М. : Радио и связь, 1999. – 600 с.
6. ГОСТ 22851–77. Выбор номенклатуры показателей качества промышленной продукции. Основные положения. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 11 с.
7. Грошев, Л. М. Методы оценки конструктивной прочности машин : учеб. пособие / Л. М. Грошев, В. В. Спиченков, А. А. Андросов. – Ростов н/Д : Издат. центр ДГТУ, 1997. – 162 с.
8. Динамика системы «дорога–шина–автомобиль–водитель» / под ред. А. А. Хачатурова. – М. : Машиностроение, 1976. – 535 с.
9. Дружинин, И. В. Введение в проектирование конкурентоспособных технических объектов : учеб. пособие для вузов / И. В. Дружинин. – Ростов н/Д : ВНИИ «Градиент», 2003. – 79 с.
10. Ермольев, Ю. И. Интенсификация технологических операций в воздушно-решетных зерноочистительных машинах / Ю. И. Ермольев. – Ростов н/Д : Издат. центр ДГТУ, 1998. – 494 с.
11. Ермольев, Ю. И. Основы научных исследований в сельскохозяйственном машиностроении : учеб. пособие / Ю. И. Ермольев. – Ростов н/Д : Издат. центр ДГТУ, 2003. – 246 с.
12. Иофинов, С. А. Эксплуатация машинно-тракторного парка / С. А. Иофинов. – М. : Колос, 1974. – 480 с.
13. Качество машин : справочник : в 2 т. / А. Г. Суслов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1985. – 256 с.
14. Липкович, Э. И. Аналитические структуры сельскохозяйственных машин / Э. И. Липкович. – Ростов н/Д : Изд-во РГУ, 1983. – 112 с.

15. Надежность машиностроительной продукции: Практическое руководство по нормированию, подтверждению и обеспечению. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 328 с.
16. Орлов, П. И. Основы конструирования / П. И. Орлов. – М. : Машиностроение, 1988. – Т. 1. – 559 с.
17. Погорелый, Л. В. Инженерные методы испытаний сельскохозяйственных машин / Л. В. Погорелый. – Киев : Техника, 2001. – 157 с.
18. Ремонтпригодность машин / под ред. Н. Н. Волкова. – М. : Машиностроение, 1975. – 368 с.
19. Ротенберг, Р. В. Основы надежности системы: «водитель–автомобиль–дорога–среда» / Р. В. Ротенберг. – М. : Машиностроение, 1986. – 215 с.
20. Русанов, А. И. Инженерная методика прогнозирования развития зерноуборочных комбайнов / А. И. Русанов, Г. М. Журавлева // Тракторы и с.-х. машины. – 1977. – № 1. – С. 15–20.
21. Современные методы повышения конструктивной надежности сельскохозяйственной техники / Т. И. Рыбак [и др.]. – Киев : Техника, 1991. – 120 с.
22. Спиченков, В. В. Обеспечение надежности машин при проектировании : учеб. пособие / В. В. Спиченков, А. А. Андросов. – Ростов н/Д : Издат. центр ДГТУ, 1996. – 96 с.
23. Долгов, И. А. Уборочные сельскохозяйственные машины (конструкция, теория, расчет) : учебник / И. А. Долгов. – Ростов н/Д : Издат. центр ДГТУ, 2008. – 706 с.
24. Теория прогнозирования и принятия решений / под ред. С. А. Саркисяна. – М. : Высш. шк., 1977. – 351 с.
25. Хенли, Э. Дж. Надежность технических систем и оценка риска : пер. с англ. / Э. Дж. Хенли, Х. Куматото. – М. : Машиностроение, 1984. – 528 с.
26. Четыркин, Е. М. Статистические методы прогнозирования / Е. М. Четыркин. – М. : Статистика, 1977. – 150 с.
27. Чистяков, А. Д. Организация эксплуатации сельскохозяйственной техники : учеб. пособие / А. Д. Чистяков, Н. И. Пройдак. – Ростов н/Д : Изд. центр ДГТУ, 2001. – 72 с.
28. Чистяков, А. Д. Прогнозирование структуры сельскохозяйственных машин / А. Д. Чистяков. – Ростов н/Д : Издат. центр ДГТУ, 2003. – 195 с.

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

# **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

**Пособие**

**по одноименной дисциплине для студентов  
специальности 1-36 12 01 «Проектирование  
и производство сельскохозяйственной техники»  
дневной и заочной форм обучения**

**Составитель Попов Виктор Борисович**

**Электронный аналог печатного издания**

Редактор *Т. Н. Мисюрова*  
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 30.01.20.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Цифровая печать. Усл. печ. л. 9,76. Уч.-изд. л. 10,69.

Изд. № 2.

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение  
Гомельский государственный  
технический университет имени П. О. Сухого.  
Свидетельство о гос. регистрации в качестве издателя  
печатных изданий за № 1/273 от 04.04.2014 г.  
пр. Октября, 48, 246746, г. Гомель