



Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Сельскохозяйственные машины»

ПРОИЗВОДСТВО И ОСНОВЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

ПОСОБИЕ

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

Гомель 2021

УДК 631.372(075.8)
ББК 40.72я73
П58

*Рекомендовано научно-методическим советом
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 7 от 25.06.2020 г.)*

Составитель: *В. Б. Попов*

Рецензент: зав. каф. «Вагоны» УО «БелГУТ» канд. техн. наук, доц. *А. В. Пигунов*

Производство и основы функционального проектирования мобильных машин :
П58 пособие по одним дисциплинам 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, 2021. – 128 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.

Приведены теоретические сведения, 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 631.372(075.8)
ББК 40.72я73

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2021

1. Жизненный цикл мобильной машины. Основные понятия и определения.

Создание новой с/х машины — сложный и длительный процесс, в котором участвуют ученые, конструкторы, дизайнеры испытатели, специалисты в области производства и эксплуатации

Чем сложнее машина, тем труднее, дороже и длительнее процесс ее создания. Поэтому для разработки и рационального использования с/х машины важно знать во всех подробностях ее жизненный цикл и влияющие на него факторы.

Жизненный цикл с/х машины представляет собой совокупность взаимосвязанных процессов создания и последовательного изменения состояния с/х машины от формирования исходных требований к ней до окончания ее эксплуатации. Жизненный цикл, согласно Единой системе государственного управления качеством продукции, принято делить на стадии — части жизненного цикла, устанавливаемые в нормативно-технической документации и характеризующие определенным состоянием машины, видом предусмотренных работ и их результатом.

Жизненный цикл схм состоит из следующих стадий *создание, производство, обращение и эксплуатация*, каждая из которых содержит целый ряд этапов, операций и процедур.

Создание машины. Первая стадия начинается с предпроектных исследований и заканчивается созданием схм.

На этапе подготовки к разработке, проекта новой машины устанавливается принципиальная возможность и целесообразность ее создания. Необходимость в новой машине должна вытекать из общественных потребностей и поэтому нуждается в тщательном и глубоком обосновании с учетом технических и экономических возможностей, обусловленных прогрессом науки и техники и развитием экономики страны. Для этого проводятся поисковые исследования, которые должны базироваться на результатах фундаментальных исследований, практическом опыте применения аналогичных машин, ретроспективном анализе и прогнозах развития техники в данной области. Кроме того, необходима мотивация для побуждения к решению данной технической проблемы. Она может вытекать из безусловных потребностей общества, необходимости практической реализации достигнутого научного потенциала и повышения экономических показателей

деятельности данной отрасли народного хозяйства. Общество, наука, техника и экономика развиваются взаимосвязано.

Важными элементами поисковых исследований являются эксперименты на макетах машины—физических моделях машины (или отдельных ее частей), воспроизводящих или имитирующих конкретные ее свойства и изготовленных для проверки принципа ее действия и определения характеристик. Макет с известной степенью упрощения воспроизводит в определенном масштабе машину (или ее части) и позволяет исследовать отдельные ее характеристики, а также оценивать правильность принятых технических и художественных решений. Макеты изготавливают в процессе выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (ГОСТ 2.118—73*, ГОСТ 2.119—73*, ГОСТ 2.120—73*).

Результатом поисковых исследований, проводимых в предпроектный период, является постановка задачи проектирования, которая предусматривает разработку технических требований к машине и формирование технического задания (ТЗ) на ее создание.

Конструктор принимает участие во всех стадиях жизненного цикла машины. Однако основной процесс его творчества составляют работы, связанные с созданием машины и представляющие собой законченный цикл, состоящий из нескольких этапов: *научно-технический поиск, проектирование, изготовление образцов, испытания, доводка конструкции*. Эти этапы тесно взаимосвязаны в значительной мере совмещены во времени и могут многократно повторяться. К работам по созданию машины тесно примыкают работы по технологической подготовке производства, однако их следует отнести, ко второй стадии жизненного цикла аналогично тому, как предпроектные исследования, в процессе которых осуществляется научно-технический поиск, относятся к стадии создания машины.

Этап проектирования охватывает большой перечень проектных операций и процедур—от предварительных расчетов и эскизов до уточненных расчетов, детализированных чертежей, описании, инструкций, технических условий и т.п. Результатом проектирования является *комплект технической документации*, содержащей всю необходимую информацию для материализации создаваемой машины в процессе производства и организации ее использования.

На всех этапах процесса создания машины изготавливают макетные, экспериментальные и опытные образцы машины и проводят на них различные испытания: исследовательские, доводочные, предва-

нительные и др. (ГОСТ 16504—81). Исследовательские испытания предназначены для изучения свойств и характеристик машины. Для доводки конструкции и оценки влияния вносимых во время ее разработки изменений на показатели качества проводят доводочные испытания. После завершения разработки конструкция и изготовления опытных образцов возможность представления их на приемочные испытания проверяется на предварительных контрольных испытаниях, выполняемых в соответствии с ГОСТ 15.001—88.

Заключительным этапом стадии создания машины являются приемочные испытания, по результатам которых решается вопрос о целесообразности постановки ее на производство. Приемочные испытания могут быть государственными, межведомственными и ведомственными и проводятся они в порядке, установленном ГОСТ 15.001—88. Разработка машины считается выполненной в соответствии с техническим заданием при условии утверждения акта приемки опытного образца или опытной партии, содержащего рекомендации о постановке на производство, и выполнения указаний приемочной комиссии о необходимой доработке. По результатам приемочных испытаний может проводиться корректировка технической документации и доработка опытных образцов.

Производство машины. Эта стадия включает постановку на производство, установившееся производство и снятие с производства.

Постановка на производство, как правило, осуществляется в два этапа: подготовка производства и освоение. Работы по подготовке производства направлены на обеспечение технологического процесса изготовления машины и могут начинаться еще на стадии ее создания. Важнейшим этапом этих работ является технологическая подготовка производства, процессы организации и управления которой регламентируются комплексом государственных стандартов Единой системы технологической подготовки производства (ЕС ТПП). При этом осуществляется выбор технологии и оборудования, организация материально-технического снабжения, планирование процесса производства, во времени, распределение работ и т. д.

Освоение производства включает отработку и проверку подготовленных технологических процессов и овладение практическими приемами изготовления продукции со стабильными показателями и в заданном объеме выпуска.

Установившееся производство начинается после окончательной отработки конструкторской и технологической документации ГОСТ

14.004—83). Решение об освоении производства машины принимается по результатам квалификационных испытаний установочной серии или первой промышленной партии ГОСТ 16504—81). При несоответствии технического уровня машины современным требованиям, низких технологических показателей и показателей качества процессов функционирования, отрицательном воздействии машины на здоровье людей и окружающую среду, отсутствии заказов и спроса, а также при освоении в производстве аналогичной по назначению новой машины с более высокими характеристиками выпускаемая машина подлежит снятию с производства.

Обращение машины. Это часть жизненного цикла машины от отгрузки ее предприятием-изготовителем до получения потребителем. Типичными этапами этой стадии являются, хранение на складе готовой продукции, реклама, упаковка, транспортирование, монтаж. При обращении должно быть обеспечено максимальное сохранение объемов и качества готовой продукции, установленных плановыми заданиями, стандартами и техническими условиями.

Эксплуатация машины. На этой стадии реализуется, поддерживается и восстанавливается качество машины (ГОСТ 25866—83). Эксплуатация машин включает в общем случае ввод в эксплуатацию, использование по назначению, техническое обслуживание, ремонт, модернизацию и хранение. Каждый из названных этапов может содержать множество операций, направленных на достижение высоких технико-экономических показателей машины, обеспечение ее эффективной работы, повышение срока службы.

Наконец, вследствие морального или физического износа в процессе использования машина перестает отвечать предъявляемым требованиям, становится нецелесообразным дальнейшее ее использование по назначению и ремонт и поэтому машина подлежит снятию с эксплуатации и последующей утилизации. Снятие с эксплуатации машины оформляется документально в установленном порядке в соответствии с ГОСТ 25866—83.

Рассмотренные стадии можно представить в виде замкнутого цикла, в котором условия высокого качества и экономичности изготовления, сохраняемости, живучести и эффективного использования создаваемого трактора в народном хозяйстве страны являются исходными факторами для формирования технических требований к разработке конструкции. Таким образом, все четыре стадии жизненного цикла с/х машины тесно взаимосвязаны и взаимообусловлены. Степень

полноты учета этих взаимосвязей на этапах предпроектных исследований и проектирования определяет качество и технический уровень создаваемых тракторов и оказывает решающее влияние на показатели эффективности достижения конечных народнохозяйственных результатов.

2. Особенности технологии проектирования мобильной техники

Современный этап развития техники характеризуется применением систем автоматизированного проектирования (САПР). Автоматизация проектирования требует пересмотра сложившихся традиционных представлений и приемов выполнения проектных работ в сторону большей формализации, большей строгости определения понятий, однозначности толкования терминов, четкости классификаций. Выполнение этих условий, дает возможность, перейти к новой методологии проектирования, позволяющей разработать эффективную технологию выполнения проектно-конструкторских работ. Методология проектирования при этом должна базироваться на общей теории технических систем, динамике систем, системном анализе, исследовании операций, теории надежности, экономике, методах прикладной математики, теории принятия решений, теории информации и др.

Проектирование машин — творческий процесс, трудно поддающийся формализации, а следовательно, и автоматизации. Однако наряду с творческими задачами он содержит множество рутинных операций, автоматизация которых не встречает особых затруднений и дает значительный эффект в сокращении времени их выполнения при высоких показателях точности и качества проектных операций.

На рис. 5.2 показана схема, отражающая основные особенности процесса проектирования трактора. Этот процесс можно представить в виде разматывающейся спирали, каждый из витков которой включает процедуры и операции, сопровождающиеся умственной творческой деятельностью и рутинной работой конструкторов.

Решения творческих задач при проектировании технических объектов разделяют на эвристические и систематические. *Эвристическими* называют решения, при которых важная часть творческого процесса совершается в результате мыслительной деятельности человека и не может быть логически получена из предшествующего опыта. *Систематическими* называют решения, полученные в результате использования методов, стимулирующих творческую деятельность (например, метода мозгового штурма, мор-

фологического метода, инверсии, аналогии, алгоритмов решения изобретательских задач). Эти методы представляют собой отдельные систематизированные эвристические приемы.

Систематические решения базируются на осознанном процессе поиска и решения задачи в результате упорядочения мышления и применения методов активизации мышления. Различий между решениями, полученными эвристическими и систематическими методами, может и не быть. Однако подходы к достижению результата и способы его получения различны. Методы стимулирования творческой деятельности основываются на логике и используют заранее определенную последовательность действия и операций (*технология проектирования*).

Сокращение сроков создания машин, повышение их технико-экономических показателей и эффективности использования требуют комплексного подхода к проектированию с учетом взаимосвязи и взаимообусловленности различных элементов динамических систем машин и процессов взаимодействия с окружающей средой на основе соответствующей стратегии, нацеленной на достижение конечных народнохозяйственных результатов.

Такую стратегию может обеспечить *системный подход* — направление методологии научного познания, в основе которого лежит исследование объектов как систем. Особенностью этой методологии является то, что она ставит главной задачей не исследование причинно-следственных связей и, объяснение действий, а эффективное управление процессом функционирования системы.

Объектом проектирования при таком подходе является система, представляющая собой совокупность элементов (*подсистем*), причем эти элементы при определенных условиях могут рассматриваться как системы, а сама исследуемая система — как один из элементов более широкой системы (*подсистемы*). Проектирование системы предусматривает формулирование проблемы, выделение системы как целостного объекта из окружающей среды, синтез ее структуры, разработку математической модели системы, формирование целевой функции, введение ограничений, оптимизацию структуры и параметров системы, принятие решения. Применение системного подхода значительно повышает качество проектирования и позволяет создавать машины, агрегаты и комплексы машин с оптимальными параметрами.

Таким образом, характерными особенностями современной технологии проектирования тракторов являются методология системного подхода, базирующаяся на общей теории технических систем, динамике систем, системном анализе, исследовании операций, теории надежности, экономике, методах прикладной математики, теории принятия решений, теории информации; стратегия, нацеленная на достижение конечных народнохозяй-

ственных результатов высокая степень формализации и типизации проектных процедур и операций; автоматизация проектирования на всех стадиях и этапах с применением комплекса технических средств САПР; создание базы данных и базы знаний.

3. Составные части процесса проектирования мобильной техники.

Проектирование как процесс, развивающийся во времени, расчленяется на стадии, этапы, проектные процедуры и операции. Наиболее крупные этапы представляют собой внешнее и внутреннее проектирование (рис. 5.3).

Внешнее проектирование содержит ряд стадий. На стадии научно-технического поиска и прогнозирования (предпроектные исследования) на основе изучения потребностей общества, научно-технических достижений в области тракторостроения и в смежных отраслях промышленности, имеющихся ресурсов обосновывается необходимость создания и формируется замысел машины, определяются тенденции развития, проводится сбор информации и прогнозирование задач и условий ее функционирования, разрабатываются новые идеи и технические решения. Эта стадия характеризуется умственной творческой деятельностью конструкторов и завершается синтезом концепции создаваемой машины. На рис. 5.2 она соответствует, началу первого витка спирали.

Конечной целью внешнего проектирования является разработка технического задания (ТЗ) на проектирование машины. Для количественного обоснования критериев эффективности и технических требований к машине проводятся моделирование и исследование альтернативных вариантов структурного и принципиального построения машины с учетом характеристик и условий внешней среды.

Основа внешнего проектирования — правильный учет современного состояния техники, возможностей технологии, прогноз их развития на период времени, не меньший жизненного цикла машины. Наряду с техническими факторами необходимы учет экономических показателей, прогноз стоимости и сроков проектирования и изготовления. На основе изучения состояния и перспектив научно-технического прогресса группа экспертов формулирует первоначальный вариант ТЗ на машину. Оценку выполнимости сформулированного ТЗ и рекоменда-

ции по его корректировке получают с помощью проектных процедур внутреннего проектирования.

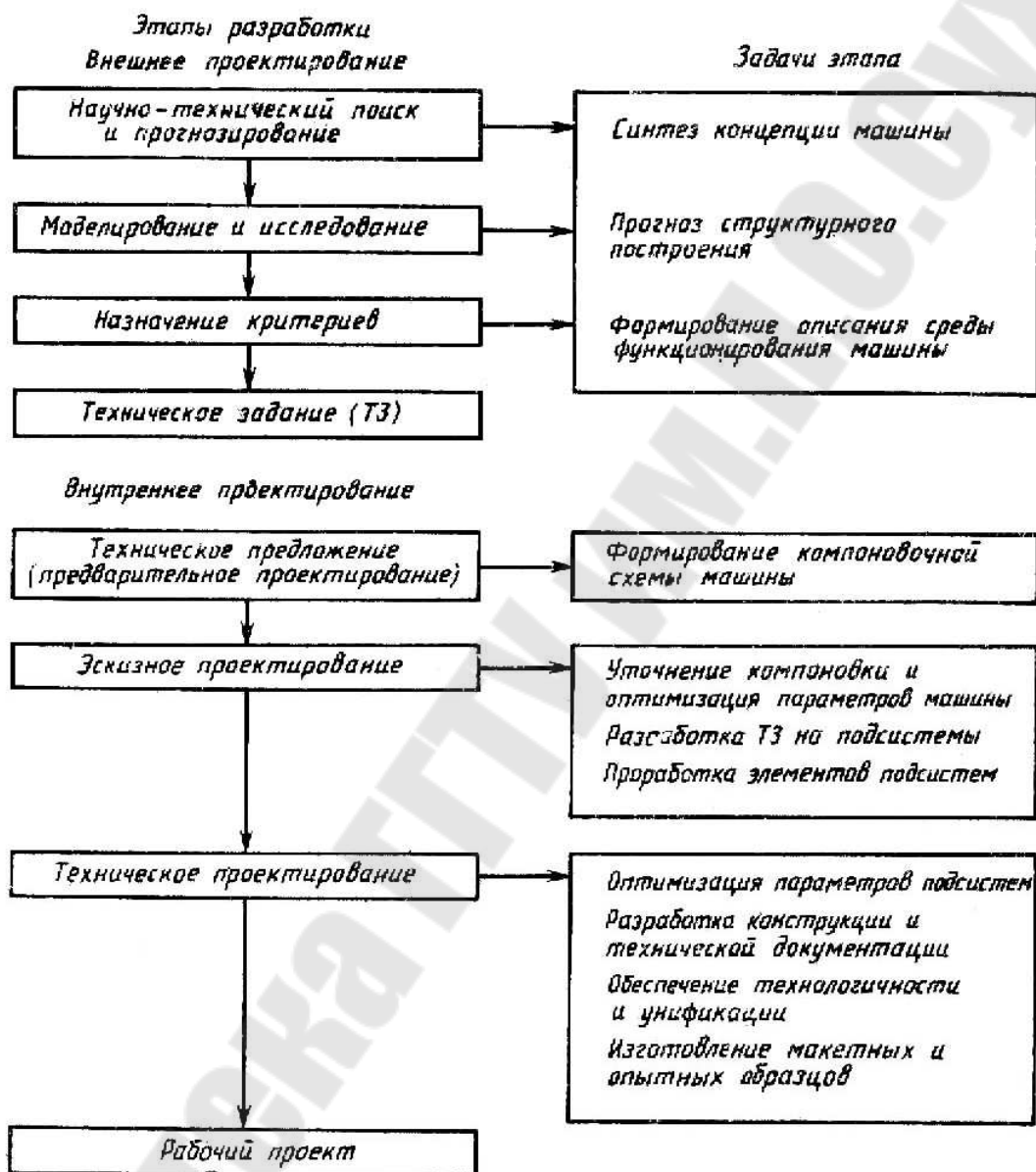


Рис. 5.3. Схема структурирования процесса проектирования трактора

Основа внешнего проектирования — правильный учет современного состояния техники, возможностей технологии, прогноз их развития на период времени, не меньший жизненного цикла машины. Наряду с техническими факторами необходимы учет экономических показателей, прогноз стоимости и сроков проектирования и изготовления. На основе изучения состояния и перспектив научно-технического прогресса группа экспертов

формулирует первоначальный вариант ТЗ на машину. Оценка выполнимости сформулированного ТЗ и рекомендации по его корректировке получают с помощью проектных процедур внутреннего проектирования.

Таким образом, на этапе внешнего проектирования основная проблема состоит в конкретизации целей и задач, решаемых создаваемой машиной в процессе своего функционирования, синтезе ее концепции и формировании вектора критериев эффективности, определяющего основные ее характеристики и показатели качества и эффективности машины как элемента всей системы машин. Решением этих вопросов занимается группа ведущих конструкторов во главе с Генеральным конструктором (мозговой центр КБ) в тесном взаимодействии с научно-исследовательскими учреждениями, вузами и отдельными учеными — крупными специалистами в области тракторного и сельскохозяйственного машиностроения.

Внешнее проектирование принято называть этапом научно-исследовательских работ (НИР). Во многих случаях этот этап частично включает работы, выполняемые на стадии технического предложения. Этап ОКР объединяет стадии технического предложения (частично), эскизного и технического проектов, на которых отражаются вопросы детальной конструкторской проработки проекта. Внутреннее проектирование выполняется конструкторской организацией — исполнителем данного проекта (обычно ГСКБ или ОГК завода — изготовителя создаваемого трактора).

Следует отметить, что на начальных стадиях проектирования сложных систем имеет место итерационный процесс, свойственный всем стадиям и этапам и является важным принципом проектирования сложных объектов.

Перечень работ, осуществляемых в процессе разработки и постановки продукции на производство, регламентирован ГОСТ 15.001—88. Разработка проекта выполняется в соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) Стадии разработки установлены ГОСТ 2.103—68*.

Рассмотрим основное содержание работ, выполняемых на этапе внутреннего проектирования.

Техническое предложение содержит технико-экономическое обоснование целесообразности разработки машины, уточняет требования к ней, полученные на основании анализа технического задания и проработки вариантов возможных технических решений. Требования к

выполнению технического предложения установлены ГОСТ 2.118-73*.

Эскизный проект представляет собой проектную конструкторскую документацию, в которой изложены принципиальные конструктивные решения дающие, общее представление о конструкции и принципе работы машины, а также данные, определяющие ее соответствие назначению (ГОСТ 2.119—73).

Технический проект содержит окончательное техническое решение, дающее полное представление о конструкции разрабатываемой машины и включающее данные, необходимые для разработки рабочей конструкторской документации (ГОСТ 2.180—73). Конструкторская документация разрабатывается на стадии *рабочего проекта* и используется, для технологической подготовки производства, изготовления, контроля, приемки, поставки, эксплуатации и ремонта машин.

Рассмотренные стадии и этапы проектирования трактора иллюстрированы структурной схемой на рис. 5.4. На схеме процесса автоматизированного проектирования трактора, представленной на рис. 5.2, первый виток спирали соответствует стадии эскизного проекта, второй — технического проекта, а третий — рабочего проекта.

Подытоживая изложенное, отметим, что понятия иерархического уровня и аспекта относятся к структурированию представлений о проектируемом объекте, а понятие стадии и этапа — к структурированию процесса проектирования.

Если решение задач высоких иерархических уровней предшествует решению задач более низких иерархических уровней, то проектирование называют **нисходящим**. Если раньше выполняются этапы, связанные с низшими иерархическими уровнями, то проектирование называют **восходящим**.

У каждого из этих двух видов проектирования имеются преимущества и недостатки. При нисходящем проектировании система разрабатывается в условиях, когда ее элементы еще не определены и, следовательно сведения о их возможностях и свойствах носят предположительный характер. При восходящем проектировании, наоборот, элементы проектируются раньше системы и, следовательно, предположительный характер имеют требования к элементам.

В практике создания тракторов применяют оба вида проектирования, но преимущественно используют второй. Дело в том, что наиболее часто создаются различные модификации трактора, а при проектиро-

вании новых семейств тракторов широко практикуется конструктивная преемственность, когда многие узлы и агрегаты выпускаемых тракторов, находящиеся на высоком техническом уровне, отвечающие современным требованиям и хорошо зарекомендовавшие себя в эксплуатации, применяются на вновь создаваемых тракторах. Имея набор типоразмерных рядов отработанных конструкций различных агрегатов, завершенных в функциональном и монтажном отношениях, можно перейти к наиболее перспективному принципу проектирования — блочно-модульному, позволяющему значительно сократить сроки создания новой техники.

Нисходящее и восходящее проектирования имеют отличие и на стадии разработки ТЗ. При нисходящем проектировании формулировка ТЗ на разработку элементов k -го иерархического уровня относится к проектным процедурам этого же уровня. Иначе обстоит дело с разработкой ТЗ на систему высшего иерархического уровня или на унифицированную систему элементов, предназначенную для многих областей применения. Здесь разработка ТЗ является самостоятельной стадией, завершающей этап внешнего проектирования. В отличие от него стадии проектирования машины по сформулированным ТЗ входят в состав этапа внутреннего проектирования.

Техническую документацию, получаемую в процессе проектирования и используемую на различных стадиях жизненного цикла трактора, разделяют на исходную, проектную, рабочую, информационную.

К исходной документации относятся заявка на разработку и освоение продукции, исходные требования, рекомендации по разработке продукции, получаемые в процессе НИР, техническое задание, аванпроект. Последний содержит обоснование разработки и включает пояснительную записку, чертежи, схемы, расчеты и проект технического задания. Утверждение аванпроекта заказчиком или основным потребителем и разработчиком является необходимым условием для начала разработки машины.

Проектную документацию разделяют на конструкторскую и технологическую. Конструкторскую составляют материалы технического предложения, эскизного и технического проектов, а технологическую — предварительного проекта.

Рабочая документация состоит из конструкторской, технологической, эксплуатационной и ремонтной документации.

К *информационной* документации относятся карта технического уровня и качества продукции (ГОСТ 2.116—84), патентный формуляр, информаци-

онная карта расчета экономической эффективности и цен новой (модернизированной) продукции, каталоги, отчет о патентных исследованиях, экспертное заключение, акты и протоколы об испытаниях, решение о снятии продукции с производства и др.

4. Формализация описания технических объектов для их функционального проектирования

Применение принципов декомпозиции и иерархичности при проектировании МТА дает возможность структурировать представление о проектируемом объекте, выделяя при этом следующие его элементы: аспекты проектирования, иерархические уровни, блоки, базовые элементы — детали машин.

Каждый из этих элементов представляет собой объект проектирования, результатом которого является абстрактный образ — проект, имеющий определенное содержательное описание.

Описание проекта создаваемого объекта представляет собой полный комплект схемной, конструкторской и технологической документации, оформленной по ЕСКД и предназначенной для использования в процессе изготовления и эксплуатации объекта. Отметим, что создаваемыми объектами при блочно-модульном проектировании являются не только машины, комплексы или машинные агрегаты, но и отдельные сборочные единицы и агрегаты, отвечающие соответствующим требованиям, составляющие типоразмерные ряды и используемые для разработки семейств унифицированных машин. Аналогичные описания имеют результаты проектирования на уровне аспектов, блоков, деталей и т. д.

Процесс проектирования на любой стадии или этапе состоит из проектных процедур и операций и сопровождается проектными решениями, предназначенными для использования собственно при проектировании. Это в особенности относится к современной технологии проектирования, используемой в САПР. Процесс проектирования при этом основан на оперировании математическими моделями. Они являются основой описания проектных процедур, операций и проектных решений.

Математическая модель — это приближенное описание какого-либо класса явлений внешнего мира, выраженное с помощью математической символики. Математическая, модель технического объекта

представляет собой систему математических объектов (чисел, переменных, матриц, множеств и т. п.) и отношений между ними, отражающих существенные свойства технического объекта.

При системном подходе любой проектируемый объект рассматривается как система, состоящая из элементов-подсистем. В этой связи будем различать свойства систем, элементов систем и внешней среды, в которой должен функционировать объект. Количественно эти свойства выражаются с помощью параметров. Величины, характеризующие свойства системы, элементов системы и внешней среды, называют соответственно выходными, внутренними и внешними параметрами.

Среди параметров необходимо выделить показатели эффективности, которые являются количественной оценкой степени соответствия объекта его целевому назначению. Они позволяют оценить такие важные характеристики, как производительность, экономичность, надежность, стоимость, материалоемкость, энергоёмкость, габариты и др. Показатели эффективности являются выходными параметрами создаваемых машин и чаще всего используются на высших иерархических уровнях проектирования.

Выходными параметрами также являются показатели качества, по которым можно судить о правильности функционирования системы. Показатели качества используются для оценки систем на любой иерархическом уровне.

Если структура системы определена, то ее выходные параметры зависят только от внутренних и внешних параметров. Внутренние параметры — это параметры элементов системы, внешние — это параметры внешней по отношению к объекту среды, оказывающей влияние на его функционирование.

Выходные параметры характеризуют свойства системы и режимы ее работы, а внутренние — свойства элементов системы.

, габариты, конструктивная и эксплуатационная массы, координаты центра масс, нормальные нагрузки на ведущие колеса, удельная материалоемкость, энергонасыщенность, тяговый КПД и коэффициент буксования на заданном почвенном фоне, давление на грунт, коэффициент готовности, оперативная трудоемкость ежесменного технического обслуживания, ресурс до капитального ремонта;

внутренние параметры — номинальные мощность и частота вращения двигателя, удельный расход топлива двигателя, передаточные числа трансмиссии, КПД трансмиссии, коэффициенты жесткостей и

сопротивлений упругих и демпфирующих элементов трансмиссии, подвески и шин, передаточное число рулевого управления, коэффициент блокировки межколесного и межосевого дифференциалов, коэффициент кинематического рассогласования привода переднего моста;

внешние параметры — характеристики грунта (влажность, несущая способность, коэффициент объемного смятия, плотность и др.), агрегируемых машин (ширина захвата, удельное тяговое сопротивление, масса, сопротивление качению — при наличии опорных колес и др.), дорожно-полевых условий (статистические оценки микро- и макро-профилей, размеров обрабатываемых участков, коэффициентов сопротивления качению и сцепления колес с грунтом и др.), коэффициент использования рабочего времени.

В технических характеристиках тракторов обычно приводятся значения основных выходных и внутренних параметров. Однако в сложившейся практике паспортизации машин многие из упомянутых параметров, к сожалению, не приводятся. Это относится прежде всего к выходным параметрам, характеризующим надежность (показатели безотказности, долговечности, ремонтпригодности), а также к внутренним параметрам, характеризующим динамические свойства элементов машины (массо-геометрические параметры, параметры упругих и демпфирующих элементов). Отсутствие сведений об этих параметрах/приводит к большим трудностям в создании информационной базы данных, усложняет проведение ретроспективного анализа и прогнозирования развития техники. Возникают также сложности выбора аналогов и оценки технического уровня создаваемых машин.

Наличие базы данных и ее регулярное пополнение и развитие являются неперенными условиями эффективного применения современной технологии проектирования. В этой связи следует считать крайне важным и неперенным требованием к технической документации разрабатываемой машины - оформление технического паспорта машины с полной номенклатурой выходных и внутренних параметров. Аналогичное требование должно предъявляться ко всем разрабатываемым сборочным единицам и агрегатам, представляющим собой автономные модули (блоки), входящие в типоразмерные ряды.

5. Регламент разработки и постановки мобильной машины на производство

Обычно на каждом предприятии, производящем мобильные машины, существует свой стандарт разработки и постановки машины на производство, учитывающий особенности производства. Однако эти стандарты отдельных предприятий имеют общие положения, основанные на ряде нормативных документов: ТКП 424–2012 «Порядок разработки и постановки продукции на производство», ГОСТ 15.201–2000 «Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство».

Рассмотрим процесс разработки и постановки на производство машины на примере МТЗ. Этот процесс регламентирован стандартами предприятия (СТП 201-4.4-01–2000) и включает в себя следующие положения.

Все вновь создаваемые тракторы и составные части, разрабатываемые и производимые на МТЗ, должны удовлетворять требованиям заказчика и соответствовать действующей нормативной документации, устанавливающей соответствие законам Республики Беларусь:

- «О предприятиях в Республике Беларусь»;
- «О защите прав потребителя»;
- «О санитарно-эпидемическом благополучии населения».

Разработка и постановка мобильных машин включает следующие этапы:

- разработка проекта технического задания;
- разработка технического предложения и эскизного проекта;
- изготовление и испытания макетов или экспериментальных образцов изделия и его составных частей и утверждение технического задания;
- разработка технического проекта;
- разработка конструкторской документации опытного образца;
- изготовление опытного образца (опытной партии);
- доработка конструкторской документации опытного образца по результатам предварительных договоренных испытаний;
- принятие решения о постановке изделия на производство;
- утверждение технических условий;
- доработка конструкторской документации опытного образца (опытной партии) по результатам приемочных испытаний;

- проведение технологической подготовки производства;
- изготовление первой промышленной партии (установочной серии);
- проведение квалификационных испытаний;
- завершение освоения производства.

С целью ускорения организации производства изделия, а также в зависимости от степени новизны и сложности разрабатываемого изделия, отдельные этапы допускается совмещать или дополнять другими.

В процессе разработки проекта технического задания конструкторское бюро (КБ) проводит предварительную работу по поиску и анализу исходных данных, относящихся к сфере разработки.

При поиске и анализе исходных данных используются:

- исходные требования заказчика, изложенные в заявке маркетинг-центра (МКЦ) на разработку нового и модернизацию выпускаемого изделия в соответствии с требованиями СТП СК 213-4.3–01 и СТП СК 213-4.3–02;

- результаты изучения и анализа технического уровня изделий предыдущих собственных разработок и аналогичных фирм-конкурентов;

- результаты анализа тенденции развития технологических процессов в сельском хозяйстве, где предполагается использование проектируемого изделия, и изучения существующего парка сельскохозяйственных или других машин для определения возможностей агрегатирования;

- результаты изучения требований государственных, межгосударственных и международных стандартов к трактору и его узлам, в том числе требований по безопасности продукции, охране окружающей среды и электромагнитной совместимости;

- результаты патентных исследований;

- результаты проведенных проектных (функциональных и геометрических) расчетов параметров трактора, в том числе по прогнозированию условий и режимов работы проектируемого изделия. Работы по изучению технического уровня изделий фирм-конкурентов осуществляются на основе анализа соответствующей научно-технической и патентной информации, в том числе научно-технической литературы, отчетов о выставках, отчетов специалистов по заграничным командировкам, проспектов и др. Проведение патентных исследований осуществляет информационно-патентный отдел (ИПО)

МКЦ с привлечением специалистов КБ в соответствии с ГОСТ 15.011–96. Проведение необходимых предварительных функциональных и геометрических расчетов определяется планом НИОКР или распоряжением начальника КБ.

Результаты расчетов оформляются в соответствии с требованиями ГОСТ 2.106–96.

В итоге проведенных работ составляется проект пояснительной записки с изложением основных технических требований к проектируемому изделию. Документ оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.106–96.

Результаты вышеописанного этапа используются при составлении проекта технического задания, если решением научно-технического совета эти результаты были определены как достаточные и обоснованные для дальнейшего хода разработки. Если результаты были признаны несоответствующими поставленной задаче, научно-технический совет принимает решение о дальнейшем направлении работ.

Проект технического задания разрабатывает КБ при соответствующем решении научно-технического совета. На стадии проекта технического задания разработчик обеспечивает предварительное формирование комплекса функциональных, технологических, эксплуатационных и экономических требований к разрабатываемому изделию.

Работы на этапах *технического предложения и эскизного проекта* ведутся в случаях, когда эти этапы предусмотрены проектом технического задания и планом НИОКР и являются стадией, на которой прорабатываются различные концепции изделия.

Данный этап представляет собой совмещение двух стадий проектирования, предусмотренных ГОСТ 2.103–2013, а именно: эскизного проекта с объемом работ по ГОСТ 2.118–2013 с выпуском документации эскизного проекта, если иначе не предусмотрено планом НИОКР.

КБ на данном этапе разрабатывает следующие документы:

- варианты принципиальных компоновок изделия и его основных составных частей;
- варианты принципиальных кинематических схем изделия и его основных составных частей в соответствии с ГОСТ 2.703–2011;
- ведомость эскизного проекта в соответствии с ГОСТ 2.106–96;
- пояснительная записка к эскизному проекту с изложением технических требований к проектируемому изделию.

Определение разработчиков каждого документа, порядок согласования и утверждения производятся в соответствии с инструкцией системы качества ИСК 201-4.4-01-01.

Научно-технический совет принимает решение по дальнейшему ходу работ, в том числе о необходимости изготовления макетов или экспериментальных образцов. Решение оформляется протоколом в соответствии с ИСК 201-4.4-01-02.

После принятия решения о продолжении работы над изделием в определенном направлении начальник КБ утверждает принципиальную компоновку изделия.

С целью проверки эффективности предлагаемых решений и возможности достижения потребительских свойств, заложенных в документации, изготавливаются и подвергаются испытаниям действующие макеты, или экспериментальные образцы изделия, или его составные части.

Поисковые (исследовательские) испытания проводятся в зависимости от степени новизны и сложности разрабатываемого изделия на стендах, испытательных полигонах и в условиях рядовой эксплуатации, что определяется распоряжением начальника КБ.

Разработка конструкторской документации для изготовления макета или экспериментального образца осуществляется по плану-графику, который является приложением к распоряжению начальника КБ.

Изготавливает макет или экспериментальный образец цех опытного производства.

Испытания действующего макета или экспериментального образца проводятся испытательными цехами по разработанным программам и методикам, которые оформляются в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД, а их содержание соответствует требованиям нормативных документов.

Результаты испытаний представляют на рассмотрение научно-технического совета в соответствии с ИСК 201-4.4-01-02.

По результатам испытаний макета или экспериментальных образцов КБ уточняет эскизный проект и проект технического задания. Уточненный проект технического задания направляется на согласование внешнему заказчику.

Проект технического задания, согласованный маркетинг-директором и представителем внешнего заказчика (при наличии),

утверждается генеральным директором МТЗ, а при разработке по государственным каналам и программам — и руководителем министерства или ведомства, курирующего разработку.

Изменение в техническое задание разработчик вносит на любом этапе разработки изделия. Изменение вносится путем дополнения, которое подлежит согласованию и утверждению в том же порядке, что и само техническое задание. Действие технического задания заканчивается после утверждения акта приемочной комиссии.

Если техническое задание содержит требования к подготовке и освоению производства или к поставке изделия, то его действие заканчивается после выполнения этих работ.

Технический проект КБ подготавливает в сроки, установленные техническим заданием или документом, его заменяющим, и подтвержденные планом НИОКР в соответствии с требованиями ГОСТ 2.120–2013.

На стадии технического проекта разрабатывается конструкторская документация, содержащая полное представление об устройстве изделия и исходные данные для создания рабочей документации.

Координация работ на стадии технического проекта осуществляется в соответствии с ИСК 201-4.4-01–01.

Формируются следующие документы:

- пояснительная записка технического проекта в соответствии с ГОСТ 2.106–96;
- рабочие компоновки изделия и его составных частей в соответствии с ГОСТ 2.120–2013;
- необходимые расчеты на прочность и усталость составных частей изделия, выполняемые для различных вариантов конструкции этих частей в соответствии с ГОСТ 2.106–96;
- необходимые расчеты, подтверждающие технико-экономические показатели, установленные техническим заданием, в соответствии с ГОСТ 23728–88;
- проект технических условий на изделие в соответствии с СТМ СК 212-4.4–04;
- проект патентного формуляра (разрабатывает ИПО МКЦ совместно с КБ) в соответствии с ГОСТ 15.012–84;
- отчет о патентных исследованиях в объеме экспертизы на патентную чистоту разрабатываемого изделия или его составных частей (совместно с отечественным исполнителем ИПО МКЦ) в соответствии с ГОСТ 15.011–96;

- проект заключения о конкурентоспособности (разрабатывает МКЦ совместно с КБ);
- проект карты технического уровня и качества изделия в соответствии с ГОСТ 2.601–2013;
- номенклатура и нормы расхода запасных частей в соответствии с ГОСТ 2.116–84;
- проект перечня материалов, деталей, сборочных единиц их параметров и характеристик, формирующих требования, проверяемые при сертификации изделия в соответствии с СТП СК 207-4.4–07. Конструкторскую документацию технического проекта подвергают метрологической экспертизе в соответствии с СТП СК 201-4.4–05 и нормоконтролю в соответствии с требованиями ГОСТ 2.111–2013.

На стадии технического проекта в случае создания новых охраноспособных технических решений разработчик обязан подать уведомление об этом в экспертно-техническую комиссию КБ. При принятии экспертно-технической комиссией решения о целесообразности получения патентов на имя МТЗ уведомление направляется в заводскую экспертно-техническую комиссию для принятия окончательного решения.

Результаты работы на стадии технического проекта рассматриваются на заседании научно-технического совета, где определяется степень готовности технического проекта и принимается решение о дальнейшем ходе работ в соответствии с ИСК 201-4.4-01–02.

На основании решения научно-технического совета начальник КБ издает распоряжение о дальнейшем ходе работ, в котором:

- определяет необходимость изготовления макетов или экспериментальных образцов для проверки основных конструктивных решений разрабатываемого изделия или предварительной проверки целесообразности изменения отдельных частей разрабатываемого или модернизируемого изделия до внесения этих изменений в рабочую конструкторскую документацию опытного образца (опытной партии);
- определяет необходимость и объем разработки рабочей конструкторской документации опытного образца (опытной партии) и возможность использования конструкторской документации макета или экспериментального образца и технического проекта в качестве рабочей конструкторской документации опытного образца;
- устанавливает количество макетов, экспериментальных или

опытных образцов, подлежащих изготовлению в соответствии с планом НИОКР и техническим заданием;

- назначает своего заместителя, ответственного за разработку и курирующего ее;

- назначает исполнителей отдельных работ и устанавливает сроки и порядок проведения этих работ.

Рабочая конструкторская документация опытного образца создается в том случае, если планом НИОКР и техническим заданием на разработку изделия предусмотрены изготовление и испытания опытного образца (опытной партии) изделия.

Комплектность и объем рабочей конструкторской документации опытного образца устанавливаются планом-графиком разработки и выдачи документации цеха опытного производства. Этот план-график формируется как приложение к распоряжению начальника КБ.

Координация работ на стадии разработки рабочей конструкторской документации опытного образца производится в соответствии с ИСК 201-4.4-01–01.

Проработку конструкторской документации опытного образца на технологичность осуществляет разработчик конструкторской документации совместно с технологическими службами МТЗ в процессе предварительной проработки рабочей конструкторской документации опытного образца на технологичность. Методы и содержание работ соответствуют требованиям ГОСТ 14.206–73. Порядок и организация работ определяются СТП СК 202-4.9–01. В процессе предварительной проработки конструкторской документации на технологичность разработчик вносит в нее изменения с учетом согласованных предложений технологических служб. Для **изготовления опытного образца (опытной партии)** КБ выдает задание технологическому бюро цеха опытного производства с приложением спецификаций и чертежей сборочных единиц и деталей изделия в трех экземплярах, а также перечень деталей, получаемых из литья и поковок.

Начальник КБ своим распоряжением устанавливает количество опытных образцов, подлежащих изготовлению. Внесение изменений в конструкторскую документацию опытного образца после ее выдачи производится только с разрешения начальника КБ или его заместителя, назначенного ответственным за разработку. Изменение производит разработчик в оригинале конструкторской документации без выпуска извещения об изменении.

Проведение технологической подготовки к изготовлению опытного образца, материальное и техническое обеспечение процесса изготовления, привлечение к нему производственных, снабженческих и экономических служб осуществляет технологическое бюро цеха опытного производства в

соответствии с СТП СК 202-4.9–01. После изготовления опытного образца (опытной партии) составляется акт о готовности изделия к проведению испытаний в соответствии с СТП СК 201-4.4–01.

Необходимость проведения предварительных и доводочных испытаний опытного образца (опытной партии) устанавливается планом НИОКР и техническим заданием на изделие на основе решения научно-технического совета в соответствии с ИСК 201-4.4-01–02. Предварительные испытания проводят с целью проверки опытного образца изделия на соответствие требованиям технического задания, в том числе требованиям надежности и требованиям, проверяемым при сертификации изделия, а также с целью оценки функциональных качеств изделия и определения возможности предъявления опытного образца на приемочные испытания.

Доводочные испытания проводят с целью оценки влияния изменений конструкторских решений, проведенных по результатам изготовления и предварительных испытаний, на функциональные и качественные показатели изделия.

Предварительные и доводочные испытания изделий проводят испытательный центр и входящее в его состав конструкторско-исследовательское бюро по закрепленным видам испытаний на основании задания, выданного соответствующими разработчиками по форме, установленной в СТП СК 201-4.4–06.

Предварительные и доводочные испытания проводятся на стендах и в условиях эксплуатации (полевые испытания). При отсутствии условий для проведения испытаний КБ может заключать договоры на проведение испытаний со сторонними организациями. Программы и методики испытаний соответствуют нормативной документации на методы испытаний машин. При отсутствии такой документации разрабатываются типовые методики проведения испытаний и рабочие программы-методики испытаний, которые затем согласовываются с разработчиками, выдавшими задание на испытания. Рабочие программы и методики стендовых испытаний отдельных агрегатов, систем и деталей машин разрабатываются с учетом требований технических условий на эти изделия и задания на испытания в соответствии с СТП СК 201-4.4–06. Программы и методики испытаний машин разрабатываются в соответствии с требованиями ГОСТ 25836–83.

Количество образцов машин, представляемых на предварительные испытания, оговаривается в техническом задании в соответствии с требованиями ГОСТ 25836–83, а представляемых на доводочные испытания — в плане НИОКР.

Результаты предварительных и доводочных испытаний опытного образца и готовность его для проведения приемочных испытаний рассматриваются

на заседании научно-технического совета, решения которого оформляются в соответствии с ИСК 201-4.4-01–02.

В случае готовности изделия КБ готовит проект приказа генерального директора о проведении приемочных испытаний опытного образца. Если изделие не признано готовым к приемочным испытаниям, то дальнейшее направление работ определяется решением научно-технического совета и оформляется протоколом совета, распоряжением технического директора с соответствующей поправкой к плану НИОКР.

Приемочные испытания изделия проводятся с целью определения соответствия его техническому заданию или документу, его заменяющему, целесообразности постановки изделия на производство и использования по назначению.

Приемочные испытания изделия, подлежащего обязательной сертификации, совмещаются с проверкой соответствия его требованиям нормативной документации в части безопасности изделия, охраны окружающей среды и электромагнитной совместимости.

Проведение приемочных испытаний является обязательным этапом разработки и постановки изделия на производство.

Порядок и организация проведения приемочных испытаний оформляются приказом генерального директора МТЗ. Приказом определяется:

- состав и председатель приемочной комиссии
- вид и количество испытываемых образцов изделия;
- сроки и место проведения испытаний;
- службы завода, ответственные за подготовку изделия к испытаниям, материальное обеспечение и проведение испытаний;
- порядок передачи образцов и документации для проведения испытаний.

Приемочные испытания машин проводятся в определяемых заказчиком испытательных центрах, специализирующихся на испытаниях машин, а также на основе договора в опорных хозяйствах при наличии в них соответствующих условий. При согласии заказчика или его отсутствии приемочные испытания проводят в аккредитованном испытательном центре МТЗ.

Приемочные испытания проводит приемочная комиссия или разработчик изделия (при соответствующем решении приемочной комиссии). Если изделие подлежит обязательной сертификации в Республике Беларусь, то для проведения приемочных испытаний приглашаются представители государственных органов, осуществляющих надзор за безопасностью продукции, охраной окружающей среды и электромагнитной совместимостью.

Приемочные испытания проводятся по программам и методикам, разработанным КБ на основании программ и методик, регламентированных государственными, международными и национальными нормативными документами на программы и методики испытаний для данной продукции, а также на методы испытаний для проверки определенных свойств изделия.

На приемочные испытания представляются следующие документы:

- программа и методика приемочных испытаний;
- утвержденное техническое задание или документ, его заменяющий;
- проект технических условий;
- проекты эксплуатационных документов, разработанных в со-ответствии с требованиями ГОСТ 2.106–96;
- комплект рабочей конструкторской документации, разработанной в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД и СТП СК 201-4.4–05;
- протокол предварительных испытаний по СТП СК 201-4.4–08. Результаты приемочных испытаний приводятся в акте приемочных испытаний, который конструкторское подразделение направляет всем членам приемочной комиссии в сроки, оговоренные приказом генерального директора (не более 10 дней после утверждения).

Для **проверки проекта и принятия решения о постановке изделия на производство** генеральным директором назначается приемочная комиссия, в состав которой в обязательном порядке включаются представители МКЦ как заказчика, КБ, технологических служб завода-изготовителя и отдела технического контроля. В приемочную комиссию приглашаются представители Госстандарта Республики Беларусь и других органов, осуществляющих надзор за безопасностью продукции, охраной здоровья людей и охраной природы.

Председатель приемочной комиссии назначается заказчиком или приказом генерального директора с согласия заказчика или при его отсутствии.

Проверка проекта состоит из проверки комплектности разработанной конструкторской документации и проведения приемочных испытаний.

По результатам приемочных испытаний и изучения представленных документов приемочная комиссия составляет акт, содержащий:

- результаты проверки соответствия опытного образца требованиям представленной конструкторской и технологической документации;
- результаты приемочных испытаний опытного образца изделия;
- оценку показателей качества, полученных в результате испытаний, и их соответствия требованиям технического задания и стандартов, распространяющихся на данную продукцию;
- рекомендации по постановке изделия на производство;
- другие данные, выявленные в результате испытаний и изучения представленной документации;
- рекомендации об утверждении технических условий на изделие.

Акт приемочной комиссии, подписанный всеми членами комиссии, утверждается председателем комиссии. Утвержденный акт приемочной комиссии с положительной оценкой изделия и наличие утвержденных технических условий следует считать решением о постановке изделия на производство.

6. Основные направления ускорения научно-технического прогресса

В странах с развитой экономикой ведущие позиции в ускорении научно-технического прогресса (НТП) занимают фундаментальные и прикладные науки. В соответствии с анализом информационных технологий в области проектирования и создания ММ к приоритетным направлениям развития научных исследований относятся:

- разработка и освоение прогрессивных технологий, обеспечивающих резкое повышение производительности труда при одновременном сбережении трудовых, материальных и энергетических ресурсов;
- разработка новой перспективной техники, основанной, прежде всего, на широком использовании компьютерных моделей и систем;
- создание и внедрение в производство новых конструкционных

материалов, в том числе синтеза материалов с заранее заданными свойствами;

- ▣ разработка перспективных методов и средств испытаний технических средств и конструкционных материалов, рассчитанных на применение техники в различных ситуациях и условиях, и ускоренное получение точных и полных результатов;

- ▣ комплексная механизация и автоматизация производства, основанная на использовании перспективных и гибких производственных систем, автоматизированного проектирования и управления производственными процессами;

- ▣ создание и освоение новых источников энергии, в том числе нетрадиционных (альтернативных) экологически чистых;

- ▣ разработка и реализация биотехнологий, в том числе для получения экологически чистого топлива, промышленного производства ряда продуктов;

- ▣ развитие новых форм дизайна и средств эргономики, обеспечивающих комфорт и безопасность водителя и пассажиров.

7. Экстенсивный и интенсивный пути развития машиностроения

Повышение качества и эффективности новой техники следует рассматривать в общем контексте основных направлений НТП, который представляет собой процесс получения и материализации новых научных знаний, связанных с разработкой и совершенствованием прогрессивных технологий и созданием новой техники, автоматизацией и комплексной механизацией производственных процессов, созданием новых конструкционных материалов, освоением нетрадиционных (альтернативных) источников энергии, направленных на решение социально-экономических задач общества.

Как и любой процесс, НТП является объектом управления, в основе теории которого лежат принципы системного подхода к его исследованию, предполагающего: иерархию целей и выделение приоритетных научно-технических задач, подлежащих решению; комплексное изучение технологических, экономических, организационных, экологических и социальных аспектов управления; динамичность и замкнутость (наличие «обратной связи») системы управления.

Выделяются два основных пути роста и развития экономики: экстенсивный и интенсивный. В основе первого лежит действие ко-

личественных факторов (увеличение количества средств труда, капитальных вложений, численности работающих), в основе второго — качественные факторы, обуславливающие повышение производительности и эффективности труда, интенсификацию процессов производства, основанные на современных достижениях науки и техники в различных областях.

На практике оба пути развития экономики, как правило, взаимодействуют между собой, однако их соотношение с течением времени меняется в пользу действия интенсивных факторов. Так, американские экономисты попытались количественно оценить долю влияния экстенсивных и интенсивных факторов на рост промышленного производства в США в различные периоды

Таблица 7.1

Влияние различных факторов на рост производства

Годы	Доля экстенсивных факторов, %	Доля интенсивных факторов, %
1889–1909	74,4	25,6
1909–1919	60,5	39,5
1919–1929	54,8	45,2
1929–1939	48,9	51,1
1939–1949	31,8	68,2
1949–1959	29,3	70,7
1959–1970	27,6	72,4
1970–1980	26,2	73,8
1980–1990	25,8	74,2
1990–2000	25,1	74,9

Как видно из табл. 7.1, рост производства на определенном этапе развития экономики, связанного в большей мере с рыночной системой хозяйствования, все больше зависит от интенсивных факторов. Если до 1929 г. наблюдалось явное преобладание доли экстенсивных факторов, то в период 1929–1939 гг. доли влияния обоих факторов оказались примерно равными, а уже в следующие годы интенсивные факторы более чем в два раза превосходили экстенсивные. Аналогичное положение имело место и в промышленно развитых странах Западной Европы, где доля интенсивных факторов в развитии экономики в 1949–1959 гг. составляла: в ФРГ — 60 %, Франции — 75 %, Италии — 69 %. В настоящее время в связи с чрезвычайно высокими темпами ускорения НТП доля интенсивных факторов в странах с развитой ры-

ночной экономикой в 3–4 раза превышает долю экстенсивных. Характер изменения отдельных факторов при интенсивном развитии производства показан на рис. 7.1.

Выражением экстенсивного развития производства является неравенство

$$J_{\text{п}} / J_{\text{р}},$$

где $J_{\text{п}}$ — индекс динамики объема производства; $J_{\text{р}}$ — индекс динамики используемых ресурсов.

Интенсивное развитие производства определяется соотношением

$$J_{\text{п}} / J_{\text{р}},$$

что означает опережение получаемых результатов по сравнению с ростом затрат ресурсов, необходимых для реализации этих результатов.

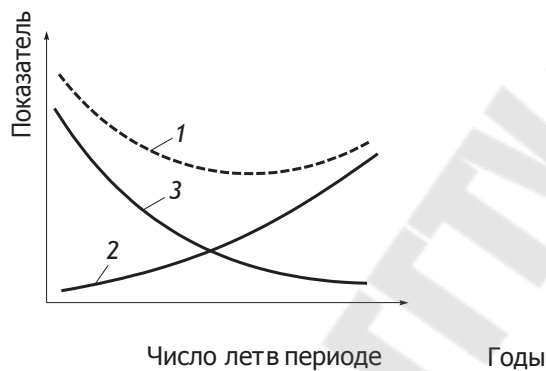


Рис. 1.1. Характер изменения отдельных показателей при интенсивном развитии производства:

- 1 — прирост объема производства; 2 — прирост производительности труда;
- 3 — прирост численности работающих

Удельный вес влияния интенсивных факторов в общей сумме национального дохода составляет

$$y = \frac{\Delta D_{\text{инт}}}{\Delta D_{\text{н.д}}},$$

где $\Delta D_{\text{инт}}$ — прирост национального дохода за счет интенсивных факторов; $\Delta D_{\text{н.д}}$ — общий прирост национального дохода.

Длительность оборота конкретного ресурса соответствует длительности кругооборота хозяйственного цикла ($D_{\text{х.ц}}$). Этот цикл можно представить так:

Запасы → Производство → Продукция → Обращение → Запасы.

Затраты на производство $C_{пр}$ прямо пропорциональны величине затрат на ресурсы Z_p в течение одного хозяйственного цикла и числу оборотов n_p этих ресурсов за рассматриваемый период времени D :

$$C_{пр} \propto Z_p n_p, \text{ где } n_p \propto \frac{D}{T}.$$

Период времени D соответствует длительности полного расходования данного ресурса.

Темпы развития НТП в большой мере определяются соотношением темпов развития науки, техники и производства. Если условно представить приращение во времени t темпов развития науки H , техники T и производства Π , то в прошлом столетии наиболее характерным соотношением динамики развития этих трех составляющих компонентов было (рис. 7.2, а)

$$\frac{d\Pi}{dt} \propto \frac{dT}{dt} \propto \frac{dH}{dt},$$

т.е. наиболее быстрыми темпами развивалось производство, которое обуславливало ускорение темпов развития техники, а последняя определяла возможность и необходимость увеличения объема научных исследований. На современном этапе оптимальным признается соотношение (рис. 7.2, б)

$$\frac{dH}{dt} \propto \frac{dT}{dt} \propto \frac{d\Pi}{dt}.$$

Таким образом, на современном этапе наиболее высокими темпами развивается наука, которая является основой для ускорения темпов развития новой техники, а она, в свою очередь, создает техническую базу для дальнейшего развития производства. Очевидно, что между этими тремя компонентами существуют обратные связи — каждый из них взаимодействует друг с другом и обуславливает их развитие.

Следует отметить, что в отдельных странах или в отдельных отраслях народного хозяйства данной страны соотношение между указанными компонентами может не соответствовать оптимальному. Например, в Республике Беларусь в отраслях автомобильного и тракторного машиностроения темпы развития техники и производства примерно одинаковы, хотя научные исследования в этой области близки к мировым стандартам.

8. Тенденции развития мобильной техники. Определение концепции и назначения мобильной машины

Основные направления ускорения НТП обуславливают некоторые тенденции развития ММ. Так, углубление научных исследований и технический прогресс, связанный с ростом энергонасыщенности тракторов и автомобилей, привели к разработке и широкому освоению в производстве таких конструкций и систем мобильных машин, как коробки передач с переключением на ходу и гидропривод; к улучшению эргономических свойств машин (кондиционер в кабинах, герметичность кабины, вентиляция; гидроусиление на рычагах управления, уменьшение шума и др.); к повышению плавности хода и необходимости увеличения тягово-сцепных свойств (увеличение массы тракторов, установка широкопрофильных и сдвоенных шин, регулирование давления воздуха в шинах и др.).

Поиск новых технических решений по указанным направлениям продолжается. Однако их развитие привело к ухудшению агротехнических и экологических качеств тракторов и автомобилей: возросло давление колес и гусениц на почву, увеличилось буксование движителей. Ухудшились такие свойства, как устойчивость, управляемость и топливная экономичность тракторов. Несколько снизились динамические характеристики машин (разгонно-тормозные качества).

В результате роста энергонасыщенности, а следовательно, и рабочих скоростей тракторов и автомобилей возникает необходимость автоматизации управления ими. Это обусловлено также несоответствием общего числа тракторов, сельскохозяйственных машин, автомобилей в сельском хозяйстве численности механизаторских кадров.

В связи с этим необходимо создавать автоматы на тракторах и автомобилях, которые управляли бы положением рабочих орудий, скоростью движения, режимом работы двигателя, курсовой устойчивостью, торможением и разгоном трактора и автомобиля.

Итак, *первая тенденция* в современной теории и практике автотракторостроения — это автоматизация управления отдельными показателями свойств машин и машиной в целом, т.е. создание своеобразных роботов на тракторе и автомобиле, а также тракторов-роботов и автомобилей-роботов на базе самонастраивающихся микропроцессоров и мини-ЭВМ, работающих по заданной программе.

Вторая тенденция — уменьшение вредного воздействия тракторов и автомобилей на плодородие почвы и урожай сельскохозяй-

ственных культур, т.е. уменьшение уплотнения почвы, числа следов колес и гусениц на поле, механического повреждения растений и гумусобразующих существ. Существует несколько способов решения второй проблемы:

- создание многоосных агрегатов;
- обеспечение привода колес навесных и прицепных орудий от вала отбора мощности трактора и автомобиля (привод на колеса прицепов);
- создание машин с одинаковой колеей ходовых систем и работающих по принципу мостовых энергетических средств. Это требует планировки и окультуривания полей, ликвидации их мелкоконтурности, набора соответствующих орудий, разработки модульных энергетических и технологических блоков и решения других проблем;
- создание специальных опорно-двигательных устройств, позволяющих резко уменьшить давление машин на почву (пневмогусеницы, воздушная подушка с гусеницей, применение сдвоенных колес, широкопрофильных пневматических шин с регулируемым давлением воздуха и другие меры).

Третья тенденция — повышение надежности тракторов и автомобилей. Возрастающая сложность сборочных единиц машин, оснащение их приборами контроля и сигнализации, бортовыми ЭВМ с управляющими исполнительными механизмами и необходимость безотказной работы, особенно в периоды сева и уборки, — все это ставит проблему надежности как одну из первоочередных, обеспечивающих высокую производительность тракторов и автомобилей.

Проблема надежности не может быть решена также без квалифицированных кадров, обслуживающих и эксплуатирующих тракторы и автомобили, как правило, в сжатые календарные сроки. Поэтому третья тенденция тесно связана не только с техническим уровнем тракторов и автомобилей, но и с уровнем обучения механизаторов и водителей автомобилей правилам эксплуатации, ремонта конструкций, обработки почвы и растений.

Можно выделить и отдельные *основные тенденции, присущие развитию тракторостроения*:

- расширение мощностного диапазона;
- применение в двигателях нетрадиционных видов топлива;

□ снижение вредного воздействия на почву движителей (расширение сферы применения гусеничных и трехосных колесных тракторов);

□ использование электронной системы для управления подачей топлива, положением ходовой системы тракторов при независимой подвеске, выравниванием кабины при работе на склонах, переключением передач под нагрузкой, системой гашения колебаний сидения тракториста, регулированием навесной системы.

Тракторы мощностью более 400 кВт предлагается делать с шарнирной рамой, а также на резинотросовом ходу. Инновацией является управление трактором без механического или гидравлического соединения между его рулем и колесами, так называемая система Steer by Wire. Она призвана предотвращать неконтролируемые колебания трактора и имеет то же действие, что и система ESP (Electronic Stability Programme) у легковых автомобилей. Кроме того, имеется ряд конструктивных решений по управлению трактором и навесными орудиями по системе ISOBUS, которая позволяет с помощью одного терминала управлять прицепными и навесными машинами.

Например, тракторы Fendt Vario доказали свою успешность: низкий удельный расход топлива, бесступенчатая коробка передач Vario, высокий уровень комфорта езды и управления. Компания Fendt представила всю линейку тракторов: от 200 Vario до 900 Vario. Серия Fendt 700 Vario является самой продаваемой серией тракторов с бесступенчатым приводом. Имеет систему управления трактором TMS, систему управления на разворотной полосе Variotronic TI и встроенный фронтальный подъемник. Максимальная мощность энергосредства — 151 кВт/205 л.с. Серия 900 Vario является перспективной инновацией в тракторостроении по классу больших тракторов, ее представители — самые популярные мощные тракторы в Европе. Fendt 936 Vario — самый быстрый серийный трактор в мире. Максимальная скорость — 60 км/ч. Оптимальную безопасность вождения и комфорт гарантирует система стабилизации FSC, которая самоактивизируется при прохождении наклонов и стабилизирует положение энергосредства.

Особый интерес представляет рулевое управление Active Command — абсолютно новая концепция, основанная на принципе электронного управления и не требующая применения традиционной рулевой коло-

нки. Вместо этого есть гироскоп в комбинации с сенсорами, установленными на небольшом рулевом колесе, и комплект электрогидравлических приводов, так что и ручное управление, и необходимое число оборотов рулевого колеса автоматически подстраиваются под фактическую скорость трактора. Инновационным решением является автоматизация рабочего оборудования трактора — система, позволяющая обмениваться данными в двустороннем порядке, — между трактором и более сложным оборудованием через шину стандарта ISO. Во время работы система позволяет оборудованию принимать команды по заранее заданным параметрам трактора, что значительно облегчает работу оператора.

Трансмиссия, переключаемая под нагрузкой, применяется как основная комплектация для машин мощностью выше 120 л.с. Модели 7400 и 8400 серийно комплектуются бесступенчатой двухпоточной трансмиссией. Кабины соответствуют категории «люкс» и обеспечивают низкий уровень шума. На выставке фирма представила новую серию MF 8600 (мощностью до 370 л.с.). Тракторы этой серии экономичные и экологичные, поскольку уменьшение загрязнения окружающей среды — главенствующая тенденция в тракторостроении.

Известная фирма New Holland использует автоматические тормозные системы (ABS) на стандартных тракторах, что не только позволяет осуществлять уверенную и безопасную остановку, но и увеличивает маневренность тракторов и повышает безопасность при подъеме на крутые холмы. Кроме того, в отдельных моделях реализованы такие современные тенденции, как низкий уровень шума (комфорт для оператора) и чистота выхлопа (экологичность). Некоторые модели, например T6000, оборудованы электродвигателями.

9. Направления развития технологии проектирования мобильных машин

В последнее время в машиностроении стала применяться так называемая CALS-технология (англ. Continuous Acquisition and Life cycle Support — непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла) — современный подход к проектированию и производству высокотехнологичной и наукоемкой продукции (в том числе и ММ), заключающийся в использовании современных инфо-

рмационных и компьютерных технологий на всех стадиях жизненного цикла машины. Под жизненным циклом машины подразумевается совокупность взаимосвязанных процессов создания и последовательность изменения состояния машины от формулирования исходных требований к ней до окончания ее эксплуатации. ИПИ (информационная поддержка процессов жизненного цикла изделий) — русскоязычный аналог понятия CALS. С точки зрения рассмотрения любой продукции в рамках полного жизненного цикла очевидна необходимость сквозного информационного сопровождения продукта на всех стадиях его существования. Эту задачу и решают CALS-технологии, в основу которых положено единообразное представление информации

В последнее время в машиностроении стала применяться так называемая CALS-технология (англ. Continuous Acquisition and Life cycle Support — непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла) — современный подход к проектированию и производству высокотехнологичной и наукоемкой продукции (в том числе и ММ), заключающийся в использовании современных информационных и компьютерных технологий на всех стадиях жизненного цикла машины. Под жизненным циклом машины подразумевается совокупность взаимосвязанных процессов создания и последовательность изменения состояния машины от формулирования исходных требований к ней до окончания ее эксплуатации. ИПИ (информационная поддержка процессов жизненного цикла изделий) — русскоязычный аналог понятия CALS. С точки зрения рассмотрения любой продукции в рамках полного жизненного цикла очевидна необходимость сквозного информационного сопровождения продукта на всех стадиях его существования. Эту задачу и решают CALS-технологии, в основу которых положено единообразное представление информации о конструкции изделий, их характеристиках, технологической оснастке, технологии производства, технологии обслуживания, ремонта и утилизации.

CALS представляет собой концепцию создания единой информационной среды для всех этапов жизненного цикла, обеспечивая при этом интеграцию не только информационных технологий, но и различных электронных технологий описания изделий на одном и том же этапе жизненного цикла, применяемых на разных предприятиях. CALS-технологии — это этап использования компьютерных технологий, на котором интегрированные автоматизированные системы управления (ИАСУ) технологическими процессами, проектными работами, предприятиями (АСУП), системы передачи данных на основе телекоммуникаций объединяются в единое целое (рис. 9.1).

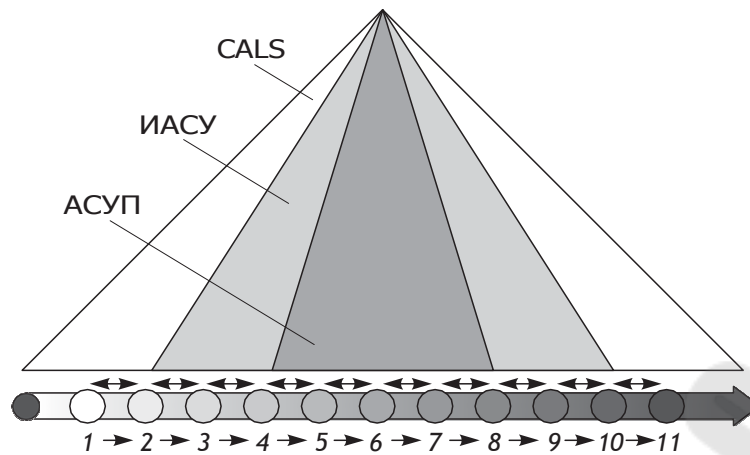


Рис. 9.1. Компьютерные технологии и полный жизненный цикл продукции: 1 — маркетинг и изучение рынка; 2 — проектирование и разработка продукции; 3 — планирование и разработка процессов; 4 — закупка; 5 — производство; 6 — упаковка и хранение; 7 — реализация; 8 — установка и ввод в эксплуатацию; 9 — техническая помощь и обслуживание; 10 — эксплуатация или потребление; 11 — утилизация

Разрабатываемые и действующие компьютерные технологии, как правило, не соответствуют принятым международным CALS-стандартам, и в лучшем случае в них используется какой-либо отдельный элемент CALS. Кроме того, объем проектных работ, выполняемых с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР), незначителен, а полученные результаты в конечном счете все равно дублируются бумажными носителями. В процессе производства промышленной продукции также в основном используется документация традиционного типа, которую можно заменить небольшим количеством дисков или других электронных носителей информации.

За счет непрерывной информационной поддержки обеспечиваются единообразные способы управления проектированием, процессами взаимодействия всех участников этого цикла: заказчиков продукции, поставщиков/производителей продукции, эксплуатационного и ремонтного персонала. Информационная поддержка реализуется в соответствии с требованиями системы международных стандартов, регламентирующими правила указанного взаимодействия преимущественно посредством электронного обмена данными.

Построение открытых CAD (Computer Aided Design — система автоматизированного проектирования), CAM (Computer Aided

Manufacturing — автоматизированная система технологической подготовки производства), CAE (Computer Aided Engineering — программы для решения инженерных задач) составляет основу современных CALS-технологий. Главная проблема их построения — обеспечение единообразного описания и интерпретации данных независимо от места и времени их получения в общей системе, имеющей масштабы вплоть до глобальных. Структура проектной, технологической и эксплуатационной документации, языки ее представления должны быть стандартизированными, чтобы достичь успешной работы над общим проектом разных коллективов, разделенных во времени и пространстве и использующих CAD, CAM, CAE-системы. Одна и та же конструкторская документация может быть использована многократно в разных проектах, а одна и та же технологическая документация — адаптирована к разным производственным условиям, что позволяет существенно сократить и удешевить общий цикл проектирования и производства. Кроме того, упрощается эксплуатация систем.

Для обеспечения информационной интеграции CALS использует стандарты IGES и STEP (IGES — цифровое представление для коммуникации данных определения продукта; STEP — стандарт обмена данными модели изделия) — совокупность стандартов ISO 10303, используемая в САПР. В CALS входят также стандарты электронного обмена данными, электронной технической документации и руководства для усовершенствования процессов.

Применение CALS-технологий дает значительный эффект:

- 1) повышается качество изделий за счет более полного учета имеющейся информации при проектировании и принятии управленческих решений. Так, например, технологические подсистемы должны с необходимостью воспринимать и правильно интерпретировать данные, поступающие от подсистем автоматизированного конструирования. Этого не так легко добиться, если основное предприятие и организации-смежники работают с разными автоматизированными системами;

- 2) сокращаются материальные и временные затраты на проектирование и изготовление продукции, так как описания ранее выполненных удачных разработок компонентов и устройств, многих составных частей оборудования, машин и систем, проектировавшихся ранее, хранятся в базах данных сетевых серверов, доступных любому пользователю CALS-технологии. Доступность опять же

обеспечивается согласованностью форматов, способов, руководств в разных частях общей интегрированной системы. Кроме того, имеются более широкие возможности для специализации предприятий вплоть до создания виртуальных предприятий, что также способствует снижению затрат;

3) существенно снижаются затраты на эксплуатацию благодаря реализации функций интегрированной логистической поддержки. Существенно облегчается решение проблем ремонтпригодности, интеграции продукции в различного рода системы и среды, адаптации к меняющимся условиям эксплуатации и т.п.

Промышленные автоматизированные системы могут работать автономно, и в настоящее время так обычно и происходит. Однако эффективность автоматизации будет заметно выше, если данные, генерируемые в одной из систем, будут доступны в других системах, поскольку принимаемые в них решения станут более обоснованными.

Для должного уровня взаимодействия промышленных автоматизированных систем требуется создание единого информационного пространства в рамках как отдельных предприятий, так и, что более важно, в рамках объединения предприятий. Единое информационное пространство обеспечивается благодаря унификации как формы, так и содержания информации о конкретных изделиях на различных этапах их жизненного цикла.

Унификация формы достигается использованием стандартных форматов и языков представления информации в межпрограммных обменах и при документировании.

Унификация содержания, понимаемая как однозначная правильная интерпретация данных о конкретном изделии на всех этапах его жизненного цикла, обеспечивается разработкой онтологий (метаописаний) приложений, закрепляемых в прикладных протоколах CALS.

Унификация перечней и наименований сущностей, атрибутов и отношений в определенных предметных областях является основой для единого электронного описания изделия в CALS-пространстве.

10. База для функционального проектирования мобильной техники

Технология автоматизированного проектирования ТО базируется на системном подходе, использующем принципы декомпозиции, иерархичности, итеративности, локальной оптимизации и комплексного осуществления процесса проектирования, включающего функциональный, конструкторский и технологический аспекты. Схема типового маршрута проектирования ТО в среде автоматизированного проектирования представлена на рис. 10. Основные компоненты маршрута предусматривают выполнение процедур анализа и синтеза, выступающих в диалектическом единстве.

Анализ технического объекта – это изучение его физических свойств, характеризующихся выходными параметрами. При анализе не создаются новые объекты, а исследуются заданные на основе изучения процессов их функционирования. Для этого проводятся вычислительные эксперименты с использованием математических моделей объектов.

Синтез технического объекта – это создание новых вариантов, обеспечивающих заданный алгоритм функционирования и выполнение технических требований к объекту.

Если определяют наилучшие в некотором смысле структуру и параметры, то синтез называют *оптимизацией*. При определении оптимальных значений параметров говорят о *параметрической оптимизации*. Задачу выбора оптимальной структуры называют *структурной оптимизацией*.

Иерархичность и декомпозиция процесса проектирования ТО обуславливают многообразие решаемых задач, их целей и используемых ММ на различных стадиях и этапах.

В общем случае задачей синтеза является определение структуры и параметров ТО. В связи с различием ММ непрерывных и дискретных объектов методы решения задач их синтеза различны.

Рассмотрим подробнее проектирование ТО на основе маршрута, приведенного на рис. 2.1. Объектом проектирования может быть любой элемент ТО, выделенный в результате декомпозиции.

Формализовать и автоматизировать процедуру синтеза структуры сложно, поэтому синтез структуры объекта обычно осуществляется перебором возможных вариантов, генерируемых эвристическими методами. Для каждого варианта структуры формируется своя ММ и выбираются исходные значения внутренних параметров. Сравнивать альтернативные варианты структур можно лишь после определения оптимальных параметров элементов объекта.

Математические описания элементов структуры проектируемого объекта известны и хранятся в базе данных. В результате формирование ММ представляет собой синтез абстрактной модели объекта. Процедура синтеза при этом легко формализуется и может быть автоматизирована. Оптимизации подлежат обычно не все параметры объекта, а только некоторая их часть. Это обусловлено тем, что при проектировании технических объектов широко используются стандартные и унифицированные элементы, параметры которых не могут быть изменены. Параметры элементов объекта, подлежащие оптимизации, называют *управляемыми параметрами*.

При проектировании часто ограничиваются сравнением нескольких альтернативных вариантов структур, а иногда поиск решения заканчивают, если найден вариант, удовлетворяющий техническим требованиям. Такое проектное решение называют *допустимым*.

Если сравнивается ограниченное число вариантов структур, то основными компонентами технологического маршрута проектирования являются синтез структуры, анализ и оптимизация параметров вариантов структур, процедура оценки и принятия решения.

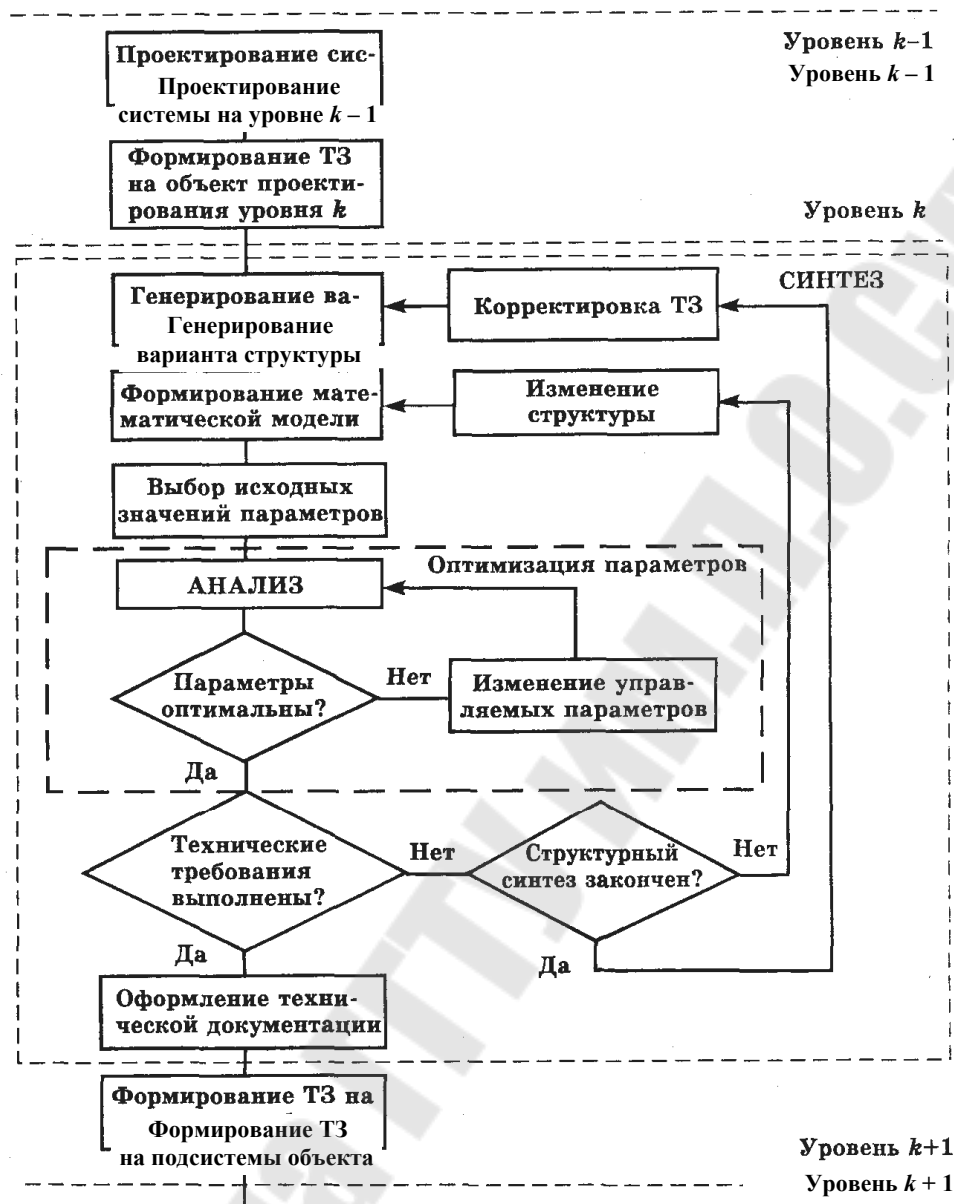


Рис. 2.1. Схема типового маршрута проектирования технического объекта в системе автоматического проектирования

11. Математическое моделирование мобильных агрегатов и машин.

Для эффективного использования технических и языковых средств системы автоматизированного проектирования (САПР) инженер должен ориентироваться в вопросах математического обеспечения, которое определяет содержание процедур взаимодействия инженера с ЭВМ. Знание особенностей математических моделей, методов и алгоритмов решения проектных задач необходимо инженеру для по-

становки задач, правильной формулировки исходных данных и интерпретации получаемых результатов, при принятии решения об использовании компонентов математического обеспечения в процессе решения проектных задач.

Математической моделью (ММ) называют совокупность математических объектов (чисел, переменных, матриц, множеств и т. п.) и связей между ними, отображающих важнейшие для проектирования свойства технического объекта (ТО). Выполнение проектных операций и процедур в САПР основано на оперировании ММ. С их помощью прогнозируются характеристики и оцениваются возможности предложенных вариантов схем и конструкций, проверяется их соответствие предъявляемым требованиям, проводится оптимизация параметров, разрабатывается техническая документация и т. д.

При автоматизации проектирования специфика проектируемых объектов находит свое отражение прежде всего в их ММ. При проектировании таких сложных объектов, как трактор, приходится иметь дело с множеством ММ отдельных агрегатов, узлов, деталей, причем каждый из элементов конструкции требует, как правило, разработки нескольких ММ, описывающих ограниченный круг свойств элемента. Так, относительно простой, на первый взгляд, такой элемент конструкции, как пневматическое колесо, имеет отдельные ММ для описания его состава, формы, тяговых, упругих и амортизирующих свойств, определяющих его грузоподъемность, влияние на управляемость и устойчивость движения машины и т. д.

Несмотря на многообразие ММ, применяемых в САПР трактора и комбайна, они имеют много общего; в частности, это относится к классификации, требованиям, принципам и методам создания ММ и использования их в процессе моделирования. Прежде чем знакомиться с ММ остановимся на таких понятиях, как структура, параметры и фазовые переменные ТО (модели).

Структура – это упорядоченное множество элементов и их отношений. Технический объект при системном подходе представляется системой, состоящей из упорядоченно взаимодействующих элементов.

Структура технического объекта характеризуется качественным и количественным составом элементов и их взаиморасположением или взаимосвязями. Качественное различие элементов определяется их физическими свойствами. Количественно физические свойства элементов выражаются некоторыми скалярными величинами, называемыми *параметрами элементов*.

Характеристики функционирования ТО зависят от его физических свойств и внешних воздействий окружающей среды.

Физические свойства объекта определяются его структурой и параметрами элементов, из которых он состоит. Внешние воздействия зависят от свойств внешней среды и характера ее взаимодействия с ТО. Физические свойства внешней среды также определяются ее параметрами.

Параметр – это величина, характеризующая свойство или режим работы объекта. Под объектом здесь понимается как отдельный элемент технической системы, так и вся система в целом. Следует отметить, что параметрами технической системы являются *показатели качества и эффективности*: производительность, рабочая скорость, грузоподъемность, удельная материалоемкость, удельная энергоемкость, габариты, масса, показатели надежности, показатели качества переходных процессов и др. Эти параметры называют *выходными параметрами* ТО:

$Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$ – вектор выходных параметров ТО.

Если структура ТО определена, то его выходные параметры зависят только от параметров элементов и параметров внешней среды:

$$\vec{Y} = f(\vec{X}, \vec{Q}), \quad (1.1)$$

где f – функциональная зависимость, определяемая структурой ТО; $\vec{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – вектор внутренних параметров; $\vec{Q} = (q_1, q_2, \dots, q_k)$ – вектор внешних параметров.

Внутренние параметры – это параметры элементов, из которых состоит ТО. Например, двигатель и трансмиссия являются элементами трактора. Их выходные параметры – мощность двигателя, передаточные числа трансмиссии и одновременно это внутренние параметры трактора.

Внешние параметры – это параметры внешней среды, оказывающей влияние на функционирование ТО.

Например, для комбайна внешняя среда – убираемая культура и опорная поверхность. Параметры опорной поверхности включают в себя углы продольного и поперечного уклонов, коэффициенты сопротивления качению и сцепления колес с почвой. Параметры убираемой культуры – урожайность, её плотность и влажность, а также другие физико-механические свойства.

В большинстве случаев связь между выходными, внутренними и внешними параметрами известна не в виде явной зависимости (1.1),

а задается в алгоритмической форме, например, через числовое решение системы уравнений.

Уравнения, решение которых требуется для определения выходных параметров, обычно являются математическим описанием функционирования проектируемого объекта. В этих уравнениях независимыми переменными могут быть время, частота, пространственные координаты, а зависимыми переменными – *фазовые переменные* (величины, характеризующие состояние объекта, называются также *переменными состояниями*). Примерами фазовых переменных могут служить скорости, силы, напряжения и деформации в механических системах, давления и расходы в гидравлических системах, напряжения, токи, заряды в электрических системах и т. д.

К типичным фазовым переменным на микроуровне относятся механические напряжения и деформации, давления, температуры, электрические потенциалы, концентрации частиц, плотности токов. В связи с учетом характера воздействий и фазовых переменных, распределенных в пространстве, эти модели называют *распределенными*. Подобные модели используются, например, для определения распределения напряжений в деталях конструкции, распределения температуры по поверхности и внутри накладок фрикционного сцепления в процессе его включения, исследования процесса взаимодействия пневматического колеса с дорогой. Усложнение задачи при увеличении протяженности пространственных и временных областей приводит к необходимости перехода к следующему иерархическому уровню – макроуровню.

На макроуровне производится дискретизация пространства с выделением в качестве элементов отдельных деталей. Такая дискретизация означает переход от распределенных моделей к *сосредоточенным*, при этом из числа независимых переменных исключают пространственные координаты. Элементами этого уровня являются объекты, которые на микроуровне рассматривались как системы (например, валы, пружины, элементы сопротивления). Параметры этих элементов, являясь на микроуровне выходными, становятся внутренними. Примерами выходных параметров макроуровня являются касательная сила тяги колеса, время и работа буксования фрикционного сцепления, уровень нагрузки в отдельных элементах конструкции.

Математические модели на макроуровне представляют собой системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), которые в частных случаях решения статических задач превращаются в системы алгебраических или трансцендентных уравнений. Для их получения и ре-

шения используют численные методы. В качестве фазовых переменных фигурируют силы, скорости, температуры, расходы, электрические напряжения, токи и т. д. Они характеризуют проявления внешних свойств элементов при их взаимодействии между собой и внешней средой.

С увеличением числа элементов системы возможности решения задач с использованием ММ макроуровня резко сужаются. В этом случае целесообразен переход к следующему, более высокому иерархическому уровню.

На метауровне с помощью дальнейшего абстрагирования от характера физических процессов удастся получить приемлемое по сложности описание процессов, протекающих в проектируемых объектах. Математические модели на метауровне – системы ОДУ, системы алгебраических уравнений, системы логических уравнений, имитационные модели систем массового обслуживания. Здесь роль элементов и внутренних параметров выполняют системы и выходные параметры предыдущего иерархического уровня. Так, элементами трактора на метауровне можно считать двигатель, коробку передач, ведущий мост, колесо. Моделирование на метауровне позволяет выполнить тяговый расчет трактора, решить вопросы компоновки машин, выполнить основные расчеты на прочность и сопротивление усталости деталей.

12. Математические модели мобильных с/х машин

Расположенный в самоходной молотилке (СМ) зерноуборочного комбайна “Полесье” механизм очистки (МО) это основной компонент системы очистки, включающей также: вентилятор, щетки, элеватор и поддоны (рис.12.1). Известные двухстанные МО зерноуборочных комбайнов в работе характеризуется неуравновешенностью движущихся в противофазе рабочих органов (РО), что способствует снижению эксплуатационной надежности как разъемных соединений, так и несущей конструкции СМ. Каждый из РО представляет собой конструкцию со сложившимся положением рабочих элементов, а также установленным опытным путем законом движения - амплитудой колебаний и траекторией движения характерных точек. Изменение закона движения РО способно отрицательно повлиять на эффективность выполнения процесса очистки - разделение тяжелой и легкой

фракций зернового вороха. Таким образом, задача выбора внутренних параметров МО отнюдь не тривиальна.

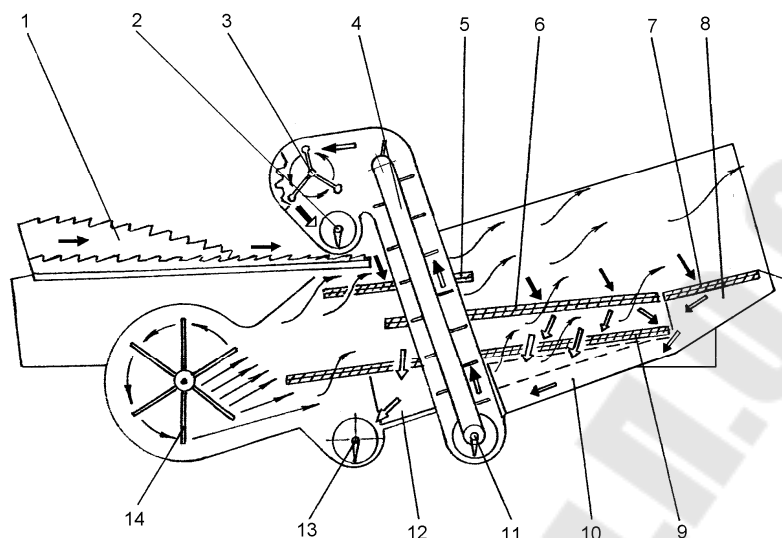


Рисунок 12.1 - Схема работы системы очистки

- 1 – стрясная доска; 2 – шнек распределительный; 3 – устройство домолачивающее;
 4 – элеватор колосовой; 5 – дополнительное решето; 6 – решето верхнее;
 7 - удлинитель; 8 – поддон удлинителя; 9 – решето нижнее; 10 – поддон колосовой;
 11 – шнек колосовой; 12 – поддон зерновой; 13 – шнек зерновой; 14 – вентилятор

Статическое уравнивание двухстанного МО возможно, если его виртуальный центр масс остается неподвижным или движется равномерно и прямолинейно за период полного оборота кривошипа.

Выражения для определения координат виртуального центра масс рабочих органов МО имеют следующий вид:

$$X_S = \frac{\sum_{i=1}^n X_{Si} m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad Y_S = \frac{\sum_{i=1}^n Y_{Si} m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (12.1)$$

где X_{Si} , Y_{Si} - координаты перемещения виртуального центра масс МО за цикл; m_i - масса i – того звена

Таким образом, оценить неуравновешенность МО можно уже на этапе выполнения процедуры геометрического анализа (рис. 2).

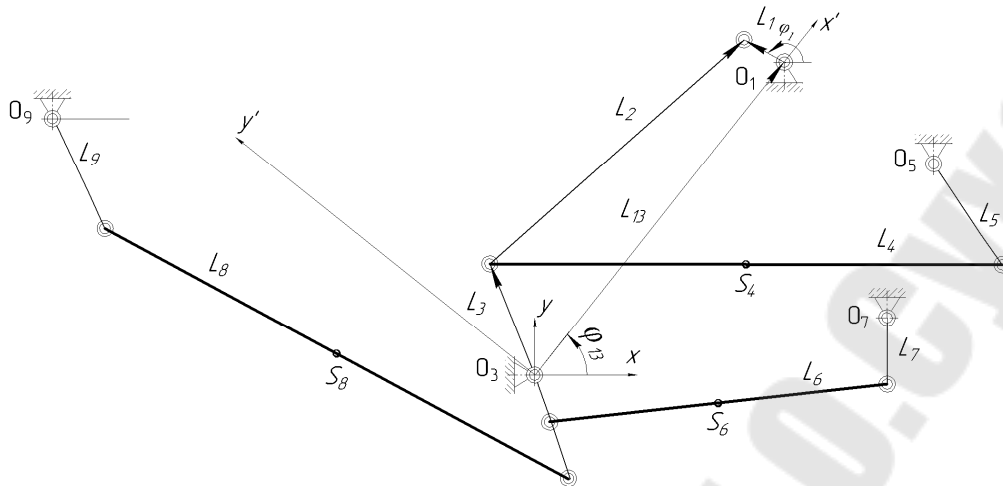


Рисунок 12.2 – Плоский аналог геометрической модели МО комбайна КЗС-10К

Основное силовое воздействие на раму МО оказывают не движущийся поток зернового вороха или вес звеньев механизма, а силы инерции РО, масса которых более чем на порядок выше массы остальных элементов МО.

Следующим показателем качества функционирования МО является разность кинетической энергии - ΔE_{ki} , колеблющихся в противофазе РО.

Изменяющаяся за цикл нагрузка, воздействуя на ведущее звено МО - кривошип L_1 , вызывает соответствующие отклонения его угловой скорости $\Delta\omega_1$, что также характеризует степень неуравновешенности МО.

Все вышеупомянутые выходные параметры и показатели качества определяются в функциональной математической модели (ФММ) анализа свойств МО [2].

Постановка задачи параметрической оптимизации МО требует выбора управляемых параметров, критериев оптимальности, технических ограничений и метода оптимизации [3]. Кроме того, безусловно, необходима, программно реализованная ФММ анализа свойств МО.

В качестве управляемых параметров, определяющих конструктивный вариант МО и влияющих на приведенные выше показатели качества, предлагаются: расположенные на его раме координаты центров неподвижных шарниров кривошипа и подвесок РО - $X_{01}, Y_{01}, X_{03}, Y_{03}, X_{05}, Y_{05}, X_{07}, Y_{07}, X_{09}, Y_{09}$, а также длины кривошипа, шатуна, двухплечего рычага и подвесок - L_1, L_5, L_7, L_9 (рис.2).

Каждому фиксированному набору управляемых параметров $\vec{X} = \{X_{01}, Y_{01}, X_{03}, Y_{03}, X_{05}, Y_{05}, X_{07}, Y_{07}, L_3, L_{34}, L_5\}$ соответствуют определенные

значения критериев оптимальности (показателей качества) $Y_i(X)$:

$$\vec{Y} = \{S, \Delta E_{ki}, \Delta \omega_1, \bar{R}_{01}, \Sigma \bar{R}_{0i}\}, \quad (12.2)$$

где S - площадь фигуры, описываемая виртуальным центром масс за цикл; \bar{R}_{01} , - среднее значение нагрузки на кривошипе; $\Sigma \bar{R}_{0i}$, - среднее суммарное значение сил реакции в остальных неподвижных шарнирах.

Для всех критериев поиск экстремума (минимума) выполняется по методу Монте-Карло, с выбором начальной точки \vec{X}^0 , представляющей набор исходных данных, характеризующих базовый вариант МО. Последовательно, с помощью датчика случайных чисел, построенного на основе ЛП_т - последовательности [3], выбирается N точек X_1, X_2, \dots, X_N , равномерно расположенных в области поиска. Координаты каждой точки определяются по формуле:

$$x_{ij} = x_{i \min} + \xi_{ij} (x_{i \max} - x_{i \min}), \quad i = 1 \dots n, \quad j = 1 \dots N \quad (12.3)$$

где n – число параметров; ξ_{ij} – случайное число в диапазоне $[0,1]$; $x_{i \min}/x_{i \max}$ – минимальные значения варьируемых параметров.

Искомые значения оптимизируемых параметров должны удовлетворять ряду ограничений, которые делятся на прямые и функциональные. Прямые ограничения касаются предельных значений управляемых параметров, т.е. $\vec{X}_{\min} \leq \vec{X} \leq \vec{X}_{\max}$

К функциональным ограничениям относятся законы движения РО, и соблюдение правила “существования треугольника” (одна сторона треугольника всегда меньше двух других), формирующихся из четырехзвенников замкнутой кинематической цепи (рис.2).

Синтезируя МО, приходится удовлетворяться его частичным уравновешиванием, которое по нашему мнению выражающемся в сокращении площади фигуры, описываемой центром масс МО за цикл.

13. Математические модели агрегатирования мобильных с/х машин и универсальных энергетических средств.

Подъемно-навесные устройства (ПНУ) являются составной частью таких сложных технических объектов, как мобильные сельскохозяйственные агрегаты (МСХА). Они предназначены для связи мобильных энергоносителей (тракторов, универсальных энергосредств) с навесными машинами и орудиями. В машинном агрегате, состоящем из ПНУ и навесной машины, ПНУ в свою очередь, состоит из гидроп-

ривода и механизма навески. МН является основным структурным компонентом ПНУ, определяющим характер взаимодействия рамы мобильного энергосредства с навесной машиной (орудием).

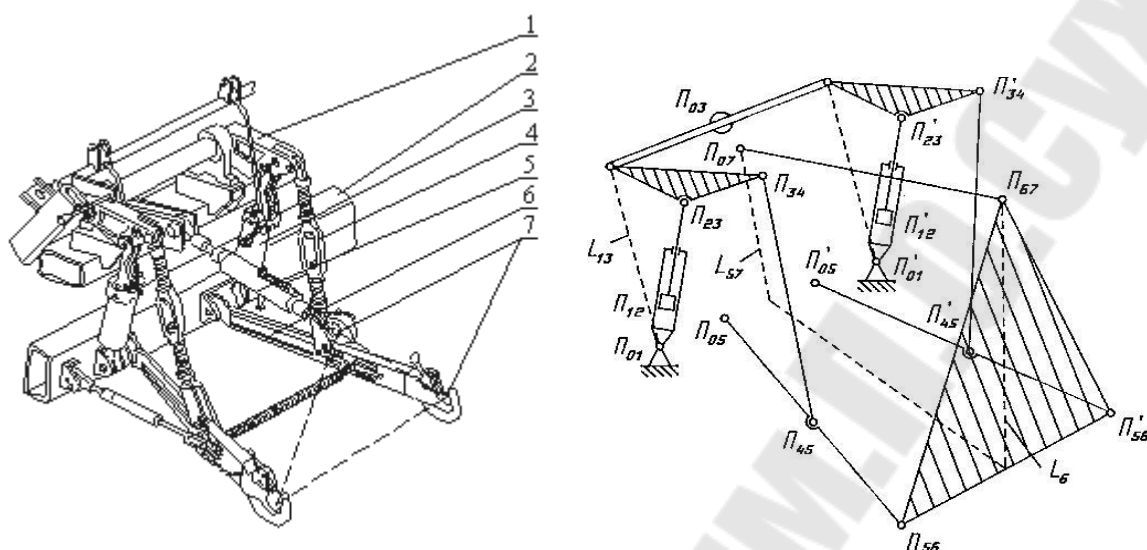


Рис.13. 1 Механизм навески универсального энергосредства «Полесье – 2-250А» и его пространственная структурная схема

1 – поворотный рычаг; 2 – рама энергосредства; 3 – гидроцилиндр; 4 – раскос; 5 – верхняя (центральная) тяга; 6 – нижняя тяга; 7 – шарниры присоединительного треугольника

Механизм навески представляет собой пространственный рычажный механизм (рис.13.1). Звенья МН, опирающиеся на раму мобильного энергосредства, принимаемую за неподвижное звено – стойку (2) и связанные через шарниры присоединительного треугольника (7) с навесной машиной, принимаемой за подвижное звено - L_6 , образуют все вместе замкнутую кинематическую цепь. Такая структура механизма навески характерна для большинства мобильных энергосредств как отечественного, так и зарубежного производства. Рассматриваемый МН относится к механизмам с заданным относительным движением подвижных звеньев, которые, помимо сельскохозяйственных, достаточно широко применяются в землеройных, грузоподъемных и дорожных машинах.

Механизм вывешивания адаптера представляет собой пространственный шарнирно-рычажный механизм (рис. 13.2), который посредством рычагов и тяг связывает уборочную машину с адаптером (подборщиком, жаткой), компенсируя большую часть веса адаптера с помощью пружинных блоков. Элементы конструкции извест-

ных МВА располагаются симметрично относительно продольной плоскости симметрии уборочной машины, поэтому его конструкцию, условно, можно считать состоящей из правой и левой частей.

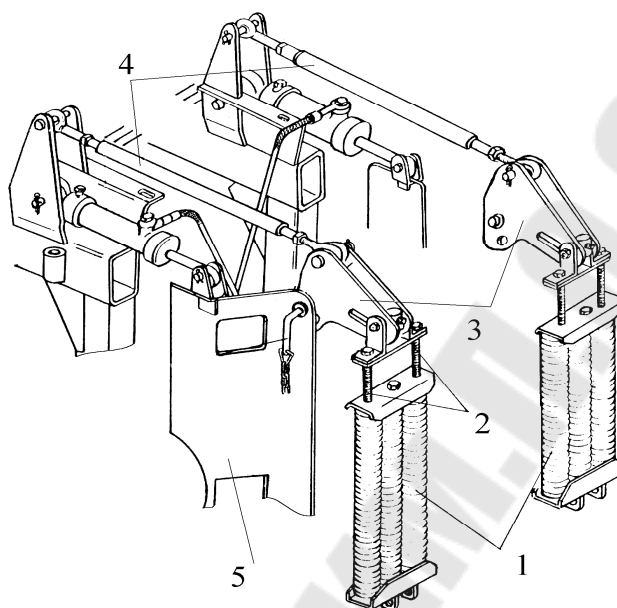


Рис.13. 2. Механизм вывешивания адаптера кормоуборочного комбайна:
1, 2 – пружины и стержни правого и левого пружинных блоков; 3 – поворотные рычаги;
4 – тяги; 5 – рама кормоуборочного комбайна

МВА предназначен для обеспечения качественного копирования опорной поверхности башмаками адаптера, стабилизируя их давление на почву в заданных пределах. Некачественное копирование приводит либо к увеличению высоты среза убираемой культуры и тем самым к росту потерь урожая, либо к повышенному износу башмаков и эрозии поверхностного слоя почвы. Таким образом, на показатели качества работы мобильного сельскохозяйственного агрегата (МСХА) существенно влияют характеристики МВА.

следует отметить, что переход от пространственной к плоской геометрической модели механизма одновременно позволяет понизить порядок и его математической модели. тем не менее, при выполнении вышеизложенных требований, с позиций инженерного анализа, результаты расчетов оказываются удовлетворительными и потому распространяются на реальный механизм.

анализ мн и мва большинства мобильных энергоносителей показывает, что на плоскости все многообразие их реализаций представляет собой комбинацию, состоящую из двух базовых структур: четырехзвенного механизма с качающимся гидроцилиндром (пружинным

блоком) и группы ассура 2-го класса, 2-го порядка, 1-го вида. дальнейшему анализу предлагается самый распространенный в мсха и структурно наиболее сложный вариант МН, состоящий из четырехзвенного механизма со средней поступательной парой, к которому последовательно присоединяются 2 упомянутые группы ассура. такова структура механизмов навески уэс “Полесье-2-250А”, а также тракторов марок “Беларус” (МТЗ), лтз, хтз (рис. 13.3).

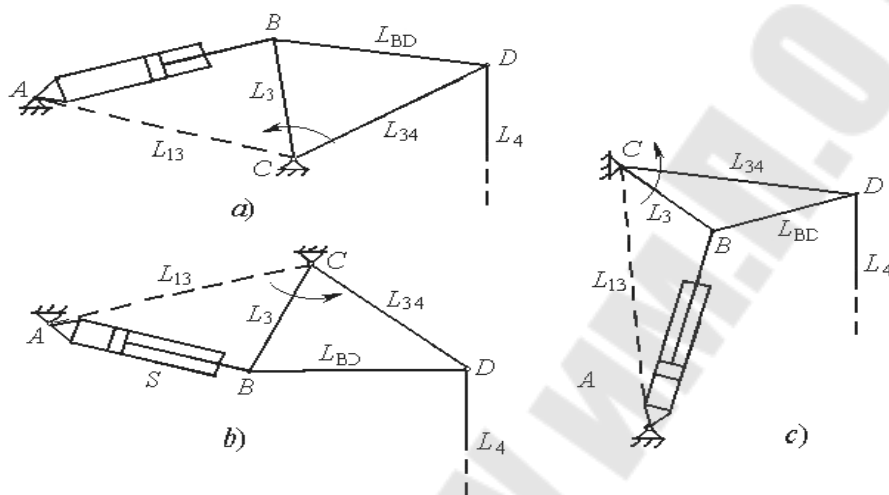


Рис. 13.3. Структурные схемы одноподвижных четырехзвенных механизмов с качающимся гидроцилиндром для МН различных мобильных энергосредств:

а – структура четырехзвенника МТЗ – 80/82, МТЗ-100/102, АМЖК-8; б – структура

четырёхзвенника ХТЗ-121, ЛТЗ-155, Т-150К; с – структура четырехзвенника УЭС - 250, УЭС-2-250А, ЛТЗ – 145, МТЗ – 9520

Структурные схемы МВА кормоуборочных комбайнов “Полесье” с различной ориентацией четырехзвенников и группы Ассура 2-го класса, 2-го порядка, 1-го вида формируются идентично рассмотренным выше схемам для МН.

Как показывают исследования [2], в процессе работы МСХА наиболее энергоемкой операцией, выполняемой энергоносителем является перевод навесной машины (при помощи МН) в транспортное положение. При проектировании ПНУ многократно анализируются: его грузоподъемность, время подъема и точность позиционирования навесной машины, что определяет целесообразность математического моделирования процесса подъема. С другой стороны, изменение реакции на башмаке адаптера в зависимости от положения точки его контакта с поверхностью относительно опорного колеса уборочной ма-

шины также существенно влияет на показатели работы МСХА. Это определяет важность расчета на основе адекватной математической модели идеальной характеристики копирования, на базе которой определяются рациональные параметры МВА. Следующий этап математического моделирования функциональных процессов подъема навесной машины и вывешивания адаптера состоит в формализации задачи о положениях подвижных звеньев этих механизмов.

14. Компьютерное моделирование типоразмеров с/х машин.

Одной из наиболее актуальных и сложных проблем проектирования новой техники является проблема выбора оптимальной частоты параметрического ряда машин, лежащего в основе разработки перспективного типажа машин. Такой ряд представляет собой совокупность определенного количества числовых значений технических признаков функционально однородной группы машин.

Типоразмер машины определяется числовым значением ее главного параметра, характеризующим во многом потребительские свойства машины. Для многоцелевых колесных машин, например, это будет номинальная грузоподъемность, для тракторов — мощность или номинальное тяговое усилие, для погрузчиков, скреперов, экскаваторов — емкость ковша, для автогрейдеров и уплотняющих катков — масса, для кранов — грузоподъемность и т.д. Таким образом, главный (системообразующий) параметр, как правило, сам по себе непосредственно еще не определяет ни производительности, ни конструкции, ни тем более остальных параметров, в том числе и эксплуатационных свойств машины. Поэтому в качестве главных параметров часто предлагается считать такие параметры, которые более четко определяют типоразмер и конструкцию машины. Например, для транспортных колесных машин главным параметром может являться статическая максимальная нагрузка на ось; этот параметр при расчетном коэффициенте сцепления для шин, отвечающим расчетным условиям эксплуатации, определяет тяговое усилие оси и, следовательно, вращающий момент, передаваемый на ведущую ось, а последний в сочетании с колесной формулой и скоростью позволяет определить мощность двигателя и полную массу машины.

Будем называть *оптимальным параметрическим (типоразмерным) рядом* такой ряд машин, который обеспечивает выполнение за-

планированного объема работ с минимальными хозяйственными затратами.

Задача оптимизации состоит в том, чтобы найти оптимальное число n различных значений главного параметра и его оптимальные значения для данного класса машин, удовлетворяющие требованиям потребителей и современным экономическим показателям.

Суммарные текущие затраты и капиталовложения для всех машин, входящих в данный ряд, зависят от количества машин каждого типоразмера или от их годового выпуска $A_{\text{год}}$ (масштаб производства).

Следует отметить, что годовой выпуск или серийность производства машин оказывает существенное влияние на величину капиталовложений. Это влияние может быть учтено так называемым коэффициентом серийности \square_c , на который нужно умножить величину капиталовложения K_n , соответствующих какому-то нормативному значению годового выпуска машин.

Так, по данным М.И. Ипатова, для грузовых автомобилей при годовом выпуске $A_{\text{год}} \leq 25\ 000$ шт. можно считать, что $\square_c \leq 1$; при иных значениях $A_{\text{год}}$ коэффициент серийности изменяется согласно табл. 5.2, т.е. чем меньше серийность производства, тем выше значение коэффициента \square_c и тем, следовательно, больше капиталовложения.

Для выбора оптимальной структуры выпуска машин соответствующих типоразмеров, прежде всего, необходимо определить годовой объем работ, подлежащих выполнению этими машинами. В основу определения годового объема работ $Q_{\text{год}}$ могут быть положены следующие соображения.

Во-первых, нужно учесть, что для выполнения плановых объемов тех или иных работ, например для перевозки или перегрузки грузов, используются ранее выпущенные машины и повлиять на изменение их структуры и количества уже невозможно независимо от того, были в свое время допущены ошибки при расчете потребной структуры данного парка машин или нет. Поэтому при расчете объема работ, который должна выполнить новая техника, следует учитывать лишь годовой прирост объема работ, соответствующих началу серийного выпуска новой техникой. Пусть, например, годовой объем перевозок груза на такой-то год составил 3 %.

Во-вторых, необходимо учесть, что определенное количество старой техники из-за ее износа и выхода из строя должно быть возмещено новой техникой. Допустим, что количество старых машин, подлежащих замене, соответствует объему работ, равному 7 %.

Исходя из приведенных для примера цифр можно принять, что годовой прирост объема работ, которые должна выполнить новая техника, равен 10 %.

Если, например, годовой объем работ, выраженный в тоннах перевозимого и перегружаемого груза за предыдущий период равнялся 1 500 000 т, то объем работ, выполняемых новой техникой, составит: $1\ 500\ 000 \cdot 0,1 = 150\ 000$ т.

Кроме того, при расчете потребного количества новой техники следует иметь в виду, что она может быть более производительной по сравнению с прежней. Поэтому для решения поставленной задачи необходимо учесть и относительные показатели производительности сравниваемых моделей машин. Очевидно, что при прочих равных условиях потребное количество новой техники уменьшится во столько раз, во сколько увеличилась производительность единицы машин или оборудования. Так, если новая машина в 2 раза производительнее машины старой модели, то для переработки

одинакового объема работ потребуется вдвое меньше новой техники. При этом, соответственно, в 2 раза возрастает полезный годовой фонд одной машины нового поколения.

Определив, таким образом, общий объем работ, подлежащих выполнению машинами данного функционального назначения, ориентировочно, исходя из потребностей народного хозяйства и современной технологии выполнения соответствующих работ, устанавливают, какие типоразмеры машин нужны. Так, устанавливают примерное соотношение между машинами легкого, среднего и тяжелого классов.

От несоответствия выпуска машин фактической потребности в них государство терпит огромные убытки.

С точки зрения производителей новой техники выгодно иметь крайне ограниченное количество типоразмеров машин. С точки зрения потребителей новой техники желательно иметь достаточно большое разнообразие типоразмеров машин, т.е. потребители заинтересованы в определенном расширении частоты признаков ряда машин.

С народнохозяйственной точки зрения целесообразна лишь такая частота параметрического ряда машин, которая обеспечивает минимальные затраты как на производство, так и на эксплуатацию новой техники. Выполнение этого условия должно обеспечиваться оптимальным типоразмерным рядом машин.

Для отыскания оптимальной частоты ряда машин в проектной практике пользуются так называемым сопоставительным методом расчета, для чего определяют величину приведенных затрат для некоторого исходного ряда, построенного в соответствии с портфелем заявок по отдельным типоразмерам машин. Затем анализируется изменение величины приведенных затрат при разряджении или увеличении частоты исходного ряда. Так, если в качестве исходного ряда числовых признаков (главных параметров) машин был признан пятидесятый ряд предпочтительных чисел, то определяется величина приведенных затрат при разряджении или увеличении значений исходного ряда, например, до тридцатого или семидесятого, которая затем сопоставляется с величиной приведенных затрат для исходного ряда. В конечном счете может оказаться, что минимальная величина приведенных затрат соответствует, например, тридцать первому ряду предпочтительных чисел.

15. Моделирование производительности мобильных машин и агрегатов

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

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

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

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

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

Расчетная (на стадиях проектирования) эксплуатационная производительность W мобильных машин или агрегатов определяется из выражения [4]

$$W = C \cdot B \cdot V \cdot \tau, \text{ га/ч}, \quad (15.1)$$

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

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

$$\tau = \frac{t_p}{t_a}. \quad (15.2)$$

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

15.2. Организация работы СХМ 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

$$t_a = t_p + t_x + t_B + t_T + t_{II} + t_{OE}, \quad (15.3)$$

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_{OE} - время на отдых и естественные надобности оператора.

Конструктивный анализ агросрока должен быть направлен на уменьшение непроизводительной части времени агросрока (при этом возрастёт t_p). Для расчета величины коэффициента τ 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 $S = V \cdot t$ 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

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

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

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

Отсюда

$$(t_p + t_{xx}) \cdot F = t_p \rightarrow t_{xx} = \frac{t_p - t_p \cdot F}{F} = \frac{t_p(1-F)}{F} = t_p \frac{1-F}{F}. \quad (15.4)$$

Величина коэффициента рабочих ходов F зависит от размеров, кинематических характеристик, видов и способов движения СХМ и агрегатов по полю (челночный, петлевой и др. (рис. 15.1), размеров поля, схемы холостых поворотов агрегата (рис. 15.2) и др. [19].
Например: для челночного способа движения (см. рис. 15.1, №15; рис. 15.2)

$$F_4 = \frac{S_p}{S_p + 6p_y + 2e + \frac{\sum S_x^y}{C_{y4}} B_p}; \quad (15.5)$$

для петлевого способа движения (см. рис.15.1, №21; рис.15.2, в)

$$F_n = \frac{S_p}{S_p + C_{онм} + 1,14\rho_y + 2e}; \quad (15.6)$$

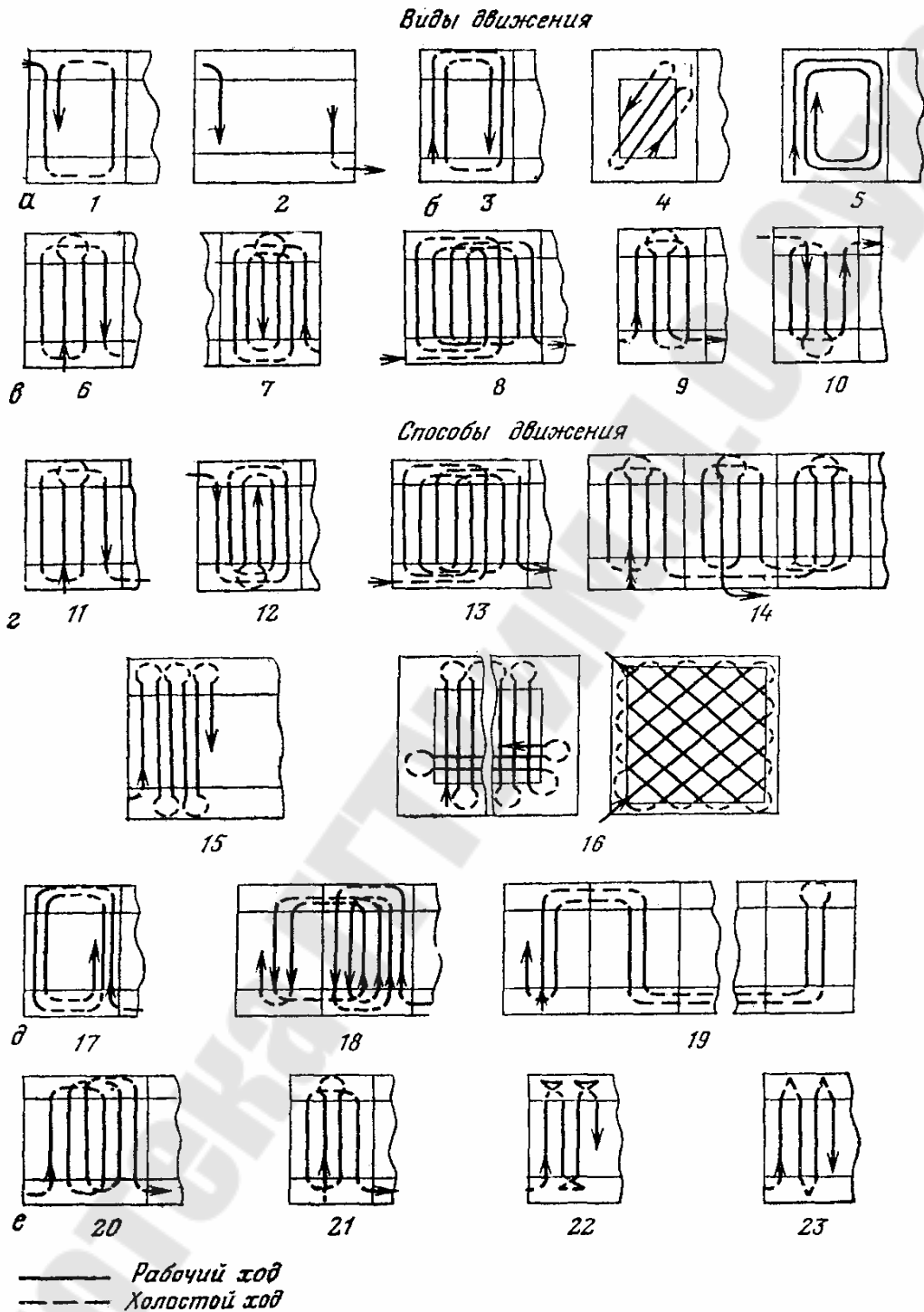


Рис.15.1. Классификация видов и способов движения агрегатов:

а - 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)

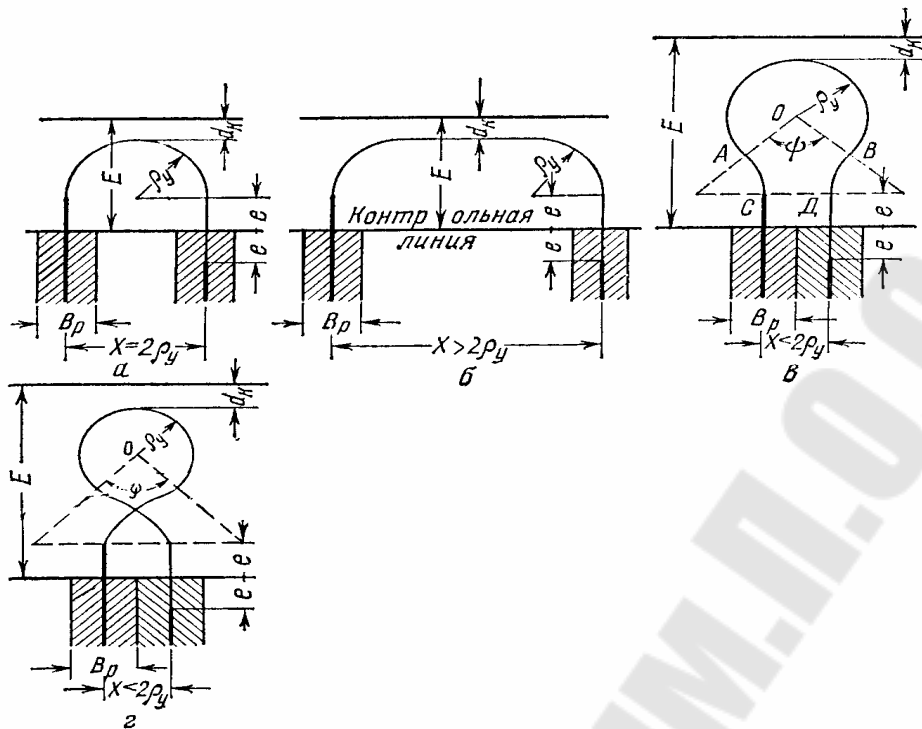


Рис. 15.2. Схемы холостых поворотов агрегата (ρ_y - условный радиус поворота):
 а – по окружности; б- с прямолинейным участком; в – открытый петлевой (груше-
 видный); г – закрытый петлевой (восьмеркой)

для беспетлевого способа движения (см. рис. 15.1, №20; рис.15.2,б)

$$F_{\text{об}} = \frac{S_p}{S_p + 5,14\rho_y + 2e} + \frac{K_c S_p B_p}{4\rho_y}, \quad (15.7)$$

где e , ρ_y , B_p (см. рис. 3.2), $C_{y4} \rightarrow$ - ширина участка; S_x^y - дополнительное перемещение агрегата, связанное с заделкой поворотных полос (выравнивание почвы, её вспашка и др.); $C_{\text{опт}}$ - оптимальная ширина загона; K_c - коэффициент пропорциональности, зависящий от способа движения СХМ или агрегата по полю.

Минимальный радиус ρ_y поворота СХМ или агрегата на поворотной полосе

$$\rho_y = R_0 \cdot K_R. \quad (15.8)$$

Здесь R_0 - минимальный радиус поворота при скорости $V = 5$ км/ч (см. табл.15.1); B_K - конструктивная ширина агрегата); K_R - коэффициент изменения радиуса поворота (см. табл.15.2)

Таблица 15.1 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-восьмикорпусной	3Вк	Пахотный трех-восьмикорпусной	4,5 Вк
Культиваторный для сплошной обработки	0,9 Вк	Культиваторный одномашинный	1,5 Вк
Посевной одно-секционный	1,1 Вк	Культиваторный одномашинный	1,2 Вк
Пропашной одно-секционный	0,9 Вк	Культиваторный Трехмашинный Бороновальный	Вк Вк

Таблица 15.2 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 Т-40М 82 МТЗ-80, МТЗ-82 Т-150К Т-70С, Т54В 75Н ДТ-75МЛ, ДТ-75Н Т-4, Т-4А Т-150 Т-130 Сцепка: СП-16 С-11У	1,00	С-18У	8,00
	1,32	СП-15	7,20
	1,2/1,3	СП-11	6,70
	2,9/2,4	Плуг: «Труженик»	6,90
	1,85	ПЛН-5-35	4,30
	2,35/1,55	ПЛН-4-35	2,60
	2,45/1,65	Борона-:	
	2,12/2,55	БЗТС-1	1,45
	2,60	БЗСС-1	1,45
	6,40	Культиватор: КПС-4, КПГ-4Г	1,0/4,6 3,9
6,80	КПГ-2,2		

Время восстановления t_B - выразим через время чистой работы t_p с помощью коэффициентов технического использования $K_{ТИ}$

$$K_{ТИ} = \frac{t_p}{t_p + t_B}; \quad (15.9)$$

$$t_B = t_{Pe} + t_O.$$

Здесь t_{Pe} - время ремонта; t_O - время обслуживания.

$$\text{Отсюда } t_B = \frac{(1 - K_{ТИ}) \cdot t_P}{K_{ТИ}}. \quad (15.10)$$

ЕСЛИ В АГРЕГАТЕ МНОГО J-X МАШИН, ТО

$$t_B = t_{Pe} \cdot \sum_j \left(\frac{1 - K_{ТИj}}{K_{ТИj}} \right). \quad (15.11)$$

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

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

$$t_T = n \cdot T_3, \quad (15.12)$$

$$n = \frac{S_P}{\ell_{ТЕХН}}. \quad (15.13)$$

где $\ell_{ТЕХН}$ - 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 , м³; массу продукции с единицы площади поля (заполняющую или опорожняющуюся на поле) (урожайность, норма высева) - g , кг/га; объемную массу (плотность) - γ , кг/м³; коэффициент максимального заполнения бункера - $\Psi < 1$ (безразм.).

Тогда

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

где B_p - рабочая ширина машины, м.

Подставим $\ell_{ТЕХН}$ в выражение (15.13), заменив $S_P = V_P \cdot t_P$, получим время, затраченное на технологическое обслуживание СХМ или агрегата

$$t_T = \frac{V_P \cdot t_P \cdot B_p \cdot g}{10 \cdot V_6 \cdot \gamma \cdot \Psi} \cdot T_3. \quad (15.14)$$

Время переезда t_{II} СХМ или агрегата с поля на поле зависит от средней площади (F_{CP}) полей, на которой выполняется сельхозоперация проектируемой СХМ или агрегата, расстояния между поля-

ми (S_T), транспортной скорости (V_{TP}) и времени t_2 перевода агрегата из рабочего положения в транспортное и обратно в рабочее.

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

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

С учетом известных зависимостей

$$t_{II} = \frac{0,1B_p V_p t_p}{F_{cp}} \left(\frac{S_T}{V_{TP}} + B_p \frac{T_j}{b_{jp}} \right). \quad (15.15)$$

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

Время на отдых и естественные надобности t_{OE} оператора определяют долей K_4 от всего времени его работы

$$t_{OE} = K_4 \frac{t_p}{T_0}. \quad (15.16)$$

Здесь 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 (15.3) соответственно в выражение (15.2), 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

$$T = \frac{1}{1 + \frac{1-F}{F} + \sum_j \left(\frac{1-K_{TIIj}}{K_{TIIj}} \right) + \frac{V_p \cdot B_p \cdot g \cdot T_3}{10 \cdot V_0 \cdot \gamma \cdot \Psi} + \frac{0,1 \cdot B_p V_p}{F_{cp}} \left(\frac{S_T}{V_{TP}} + B_p \sum_j \frac{T_j}{b_j} \right) + \frac{K_4}{T_0}}. \quad (15.17)$$

Проведем анализ возможностей обеспечения заданной производительности. В выражении (15.7) 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 (15.7) позволяет на проектной стадии оценить возможные пути роста величины T , а следовательно, и величины эксплуатационной производительности агрегата (15.1). Для оптимизации 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.) [9], выбираемый из различных условий (технологических, например, полеглость убираемых зерновых, и экономических). Но для основных способов движений важнейшим фактором, увеличивающим F , на который может влиять проектировщик, является уменьшение длины пути e выезда СХМ или агрегата с конца поля до начала поворота (см. рис. 15.2) зависящее от кинематической длины (15.10) агрегата и его минимальной величины радиуса поворота (15.8).

Увеличение комплексного показателя надежности K_{TH} СХМ или агрегата предопределяется определенной системой действий при их проектировании. Рост объема бункера V_6 и величина коэффициента его заполнения ψ теоретически увеличивают коэффициент T , но при этом существуют известные ограничения: на смещение вверх центра масс машины; допустимые удельные давления колёс на поле (уплотнение почвы колесами СХМ или агрегатов ухудшает её структуру и снижает урожайность, а также изменяет управляемость машин). Для СХМ, работающих на уборке культур, для которых въезд на поле транспортных машин приводит к их травмированию (например, уборка хлопка), ограничением на объем бункера может быть возможность разгрузки бункера только на краю поля. Другим ограничением объема бункера может быть его кратность общему объему V_{TC} кузова транспортного устройства:

$$V_6 / V_{TC} = C.$$

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

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

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

Улучшение эргономических показателей работы оператора (удобство рабочего положения, обзор приборов контроля и управления машиной, освещенность рабочего места, допустимые нормы шумов, загазованности, вибраций и др. 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

$$\frac{V_p \cdot B_p \cdot g \cdot T_3}{10 \cdot V_{\sigma} \cdot \gamma \cdot \Psi} = 0. \quad (15.18)$$

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

$$Q = \frac{B_p \cdot V_p \cdot g}{36000} \cdot \frac{1}{\alpha} \quad \text{получим} \quad B_p + \frac{36000 \cdot Q \cdot \alpha}{V_p \cdot g}. \quad (15.19)$$

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

16. Управление надежностью мобильных машин и агрегатов на стадии проектирования.

16.1 Понятие об управлении надежностью мобильных машин.

Под управлением надежностью мобильных машин и агрегатов 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 её 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 её 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.

16.2. 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 применения, 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, используется более трех десятков.

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; на этом же этапе должны быть выявлены все основные *“слабые”* элементы конструкции, установлены ожидаемые причины отказов. Проводимые же на этой стадии мероприятия по повышению надежности должны учитывать и быть взаимосвязаны как с технологией изготовления, так и со стратегиями ТО и ремонта техники. На стадии *“Технический проект”* выполняются следующие основные виды работ по обеспечению надежности [5]:

- 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 нормативно-технической и методической документации, необходимой для обеспечения надежно-

сти.

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, связанных с возможностями и квалификацией работников КБ. Как правило, за основу отработки на надежность машин должна приниматься *требуемая* (назначенная, гарантируемая) *наработка* $T_{тр}$, *ресурс* или *срок службы*.

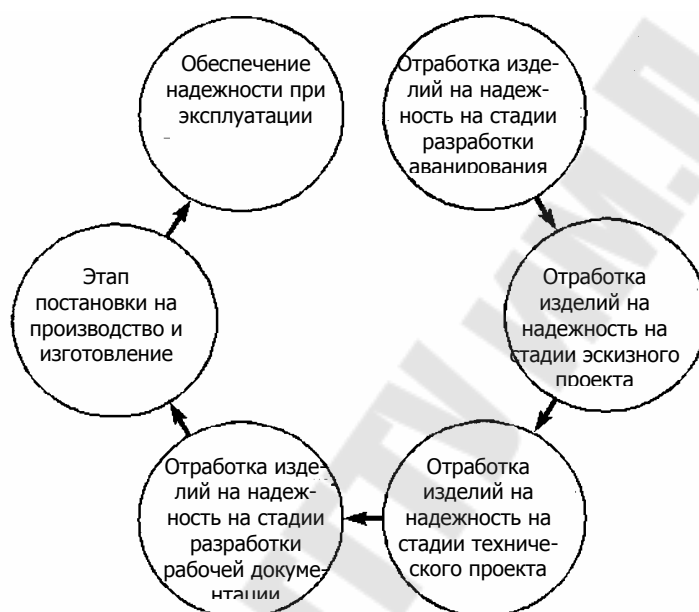


Рис.16.1. Отработка изделий на надежность на различных стадиях жизненного цикла

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

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

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

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

Основными способами и методами обеспечения надежности на данной стадии являются: рациональный выбор конструктивного исполнения изделия; введение резервирования; обоснование запасов прочности, введение в конструкцию средств автоматического обнаружения отказов и определения предотказного состояния средствами технического диагностирования; расчет размерных цепей и обоснование допусков на размеры и параметры; выбор смазок; обеспечение ремонтной и эксплуатационной технологичности, проведение испытаний и расчетов надежности; установление требований к надежности комплектующих изделий; к качеству конструкционных и смазочных материалов.

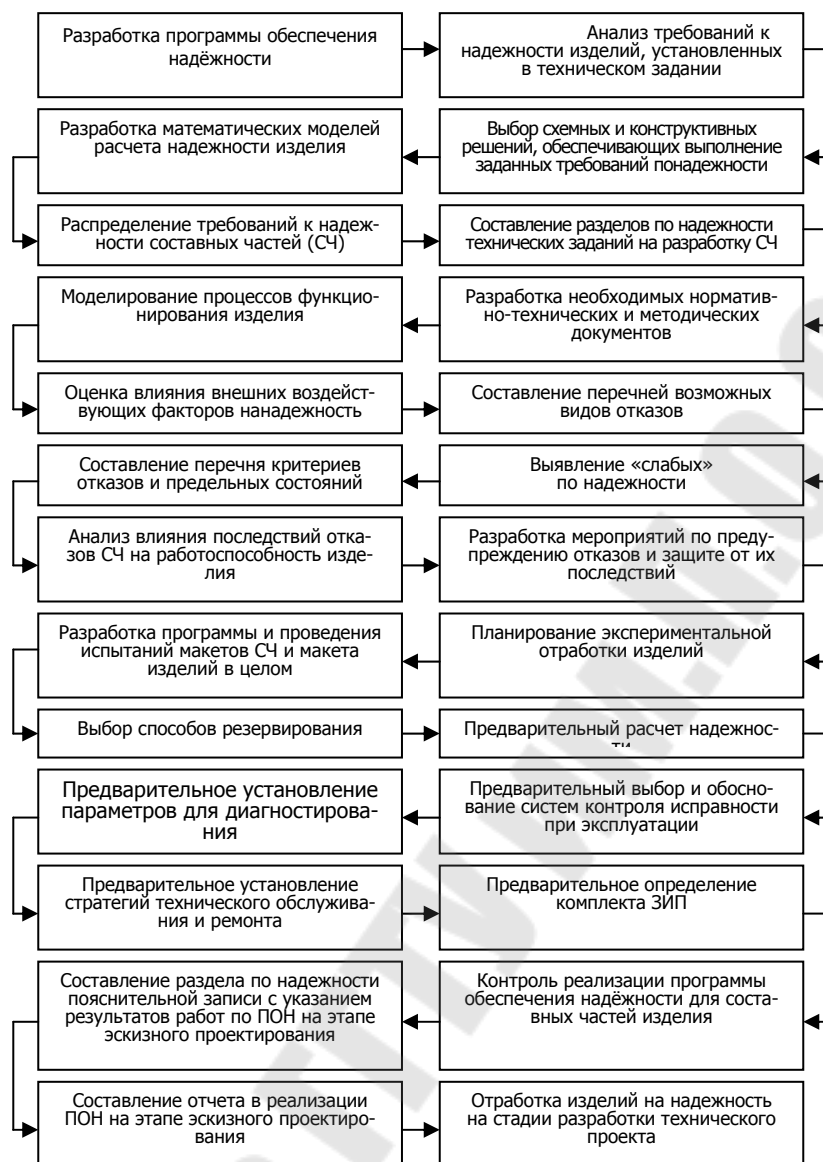


Рис. 16.2. Этапы отработки изделий на надёжность на стадии эскизного проекта

Надёжность объекта проектирования может быть повышена также путем: увеличения числа анализируемых на надёжность проектных решений; более детального и всестороннего анализа надёжности каждого проектного решения; повышения точности используемых методов расчета надёжности; автоматизации информационных потоков о надёжности 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 надёжности.

17. Формализованное описание показателей надежности, критериев отказов и предельных состояний мобильных машин.

17.1 Показатели надежности мобильных 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 [9].

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, γ - процентная наработка); *долговечность* (γ - процентный и средний срок службы, γ - процентный и средний ресурс); *ремонтпригодность* (среднее время восстановления работоспособного состояния); *сохраняемость* (средний срок сохраняемости, γ - процентный срок сохраняемости); *комплексные показатели* (коэффициент готовности, коэффициент технического использования).

Показатели надежности мобильной машины (ММ) и её 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 ММ 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 ММ определяется безотказностью и долговечностью.

17.1.1 Показатели безотказности

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

Показатели безотказности восстанавливаемых и невозстановливаемых 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 или некоторой наработки.

Вероятность безотказной работы (ВБР) – это вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ 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]

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

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

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

$$T_o(t) = \int_{t_1}^{t_2} t f_2(t) dt, \text{ где } f_2(t) - \text{плотность вероятности распределения}$$

наработки объекта между отказами за период времени $t_1 - t_2$.

При нормальном законе функции $f_2(t)$ можно принять $T_o(t) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N t_i$,

где t_i - время наработки i -го объекта между 2-мя отказами, N – число объектов при испытании, m – число отказов всех объектов.

Параметр потока отказов – это характеристика восстанавливаемых объектов. Если каждый из N объектов ($i = 1 \dots N$) 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 t , можно определить как

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

Эта величина называется *параметром потока отказов*.

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

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

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

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 Δt 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 Δt .

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*

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

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 .

17.1.2 Показатели долговечности

Долговечность - свойство объекта сохранять работоспособность до перехода в предельное состояние с возможными перерывами для технического обслуживания и ремонтов. Долговечность характеризуется 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. 17.1.

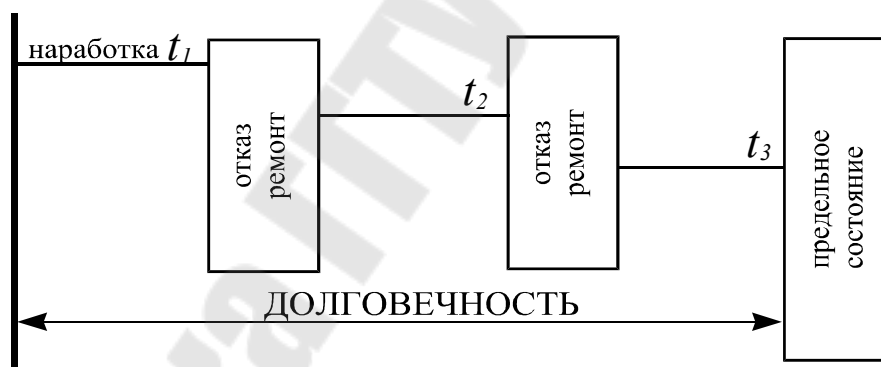


Рис. 17.1. Процесс эксплуатации машины

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 γ , выраженной в процентах.

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

Для невозстанавливаемых 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).

17.1.3 Показатели ремонтпригодности

Ремонтпригодность – свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к предупреждению и обнаружению отказов и повреждений, к 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 (ТО). Для всей используемой техники принята система планово-предупредительного технического обслуживания (ППО) 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.

ЕТО проводят перед началом каждой смены, то есть через 8-10 часов работы. Периодичность ТО-1 и ТО-2 определяется нормативно-технической документацией на машину, где указывается объем нара-

ботки (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 машины 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, применения 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 выполнения 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 оцениваются оперативными показателями;

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

затратами на обслуживание и ремонт, приходящиеся на единицу наработки - оцениваются удельными показателями.

17.1.4 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 противостоят 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 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 γ , выраженной в процентах;

- *средний срок сохраняемости* – математическое ожидание срока сохраняемости.

$$\bar{t}_c = \int_{t_1}^{t_2} t f_c(t) dt, \text{ где } f_c(t) - \text{плотность вероятности распределения вре-$$

мени 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 -ом испытании .

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

17.1.5 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

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

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

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 $K_{ТИ}$ определяется на базе ремонтного цикла

$$K_{ТИ} = \frac{T_p}{T_p + \sum \tau_{ТО} + \sum \tau_p + \sum \tau_b}$$

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

Если $\hat{K}_{III} = 0,9$, 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.

$$\hat{K}_{Or} = \hat{K}_r P(t_0; t_1),$$

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 $(t_0; t_1)$.

18. Компьютерное моделирование заданного уровня надежности элементов мобильной 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.

Необходимо иметь в виду, что некоторые конструктивные и технологические варианты деталей, обладающие высокими показателями прочности по средним значениям, а значит, и наиболее выгодные по сравнению с другими вариантами при обычных методах расчета, могут оказаться менее надежными из-за большого рассеивания характеристик прочности.

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 (в статистическом аспекте) весьма затруднительно из-за потребности большого количества натуральных деталей (обеспече-

ние репрезентативности выборки). Кроме того, значительные трудности возникают и при имитации эксплуатационных нагрузок. Поэтому важное значение имеет разработка рациональных методов оценки рассеивания характеристик выносливости натуральных деталей по результатам испытаний образцов и моделей [9].

Рассеивание характеристик выносливости натуральных деталей серийных и массовых конструкций обусловлено:

1) 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 т.д.;

2) разбросом механических свойств металла одной марки, но различных плавок, отклонениями в процессе обработки детали, например, в режимах термической обработки при закалке различных партий деталей, а также видов заготовительных операций – ковка, штамповка, прессование и т.п.;

3) 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 т.д.;

4) технологическими факторами: сваркой, поверхностным упрочнением, покрытием, и т.д.;

5) 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 машин, математических моделях эксплуатационной нагруженности машин в целом и каждого рассматриваемого элемента, модели работоспособности детали при возможных характерах их повреждений.

Прогнозирование уровня надежности элементов машин расчетными методами может быть осуществлено по схеме, представленной на рис.9.15.

В течение последних двадцати лет произошли значительные изменения в способах расчета инженерных конструкций. Традиционные

методы расчета, базирующиеся в основном на классических счетных методах с учетом ограниченных их возможностей, уступают место современным методам численного анализа с применением ЭВМ. Благодаря развитию электронной техники созданы новые условия для анализа и расчета сложных инженерных конструкций. Это подтверждает возможность применения более точных теоретических разработок, которые основаны на выборе расчетной модели, полнее охватывающей геометрию контурных условий, нагружения и других внешних воздействий. Кроме того, отмеченное позволяет точнее, быстрее и экономичнее анализировать принятую расчетную модель.

С применением ЭВМ нелинейный анализ конструктивных систем, как значительно более точный, чем линейный, чаще становится необходимым при напряженно-деформированном анализе и расчете действительных инженерных конструкций. С развитием новых численных методов, основанных на использовании ЭВМ, стал возможным общий прогресс в проектировании и сооружении многих инженерных конструкций.

Среди современных методов численного анализа *методу конечных элементов* (МКЭ) принадлежит особое место. Благодаря своим достаточно простым математическим формулировкам и очевидному физическому значению МКЭ является эффективным и наиболее распространенным методом решения различных задач механики сплошной среды. Широкое распространение МКЭ можно объяснить наличием большого числа общих программ для ЭВМ с высокой степенью автоматизации, генерированием сети конечных элементов, формированием и решением огромного числа алгебраических уравнений, благоприятной численной и графической интерпретацией полученных результатов [9, 22].

Поэтому от проектирования конструкций «вслепую», где основным ориентиром является интуиция и печальный опыт катастроф, нужно переходить к расчетам на вычислительных машинах методом конечных элементов, который в сочетании с практикой даст необходимый результат.

С математической точки зрения МКЭ представляет собой обобщение методов Рэлея, Ритца, Галеркина, обеспечивающих минимизацию функционала потенциальной энергии путем отыскания линейной комбинации пробных функций. Основная проблема заключается в выборе пробных функций, обеспечивающих простоту вычислений и достаточную точность. Разрешающие уравнения имеют простой фи-

зический смысл: они описывают равновесия узлов системы: искомые неизвестные являются компонентами узловых перемещений, соответствующих весовым коэффициентам, используемым в методе Ритца. Подробнее с этим методом ознакомимся в п.п.9.9.3.

19. Прогнозирование уровня надежности элементов мобильных машин с помощью компьютерного моделирования.

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, её 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 её элементов, прогнозирование на базе этих данных достигнутого уровня надежности; расчетная оценка экспериментальной нагруженности машины и её элементов, прогнозирование на базе расчётов достигнутого уровня надёжности.

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 её 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. 19.1).

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

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

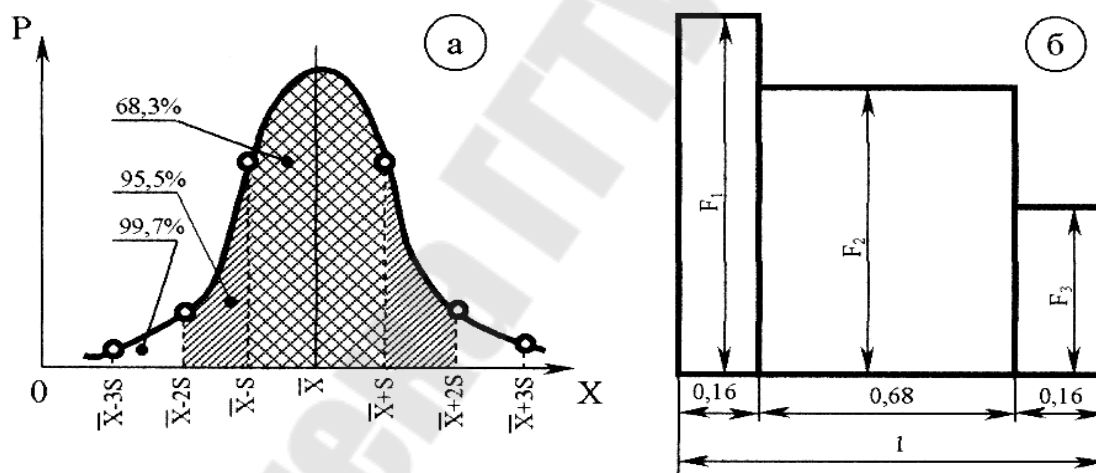


Рис.19.1. Функция нормального распределения (а) и график нагруженности, обрабатывающий эту функцию (б)

среднеквадратическое отклонение процесса

$$S = \frac{b-a}{6};$$

коэффициент вариации

$$V = \frac{S}{\bar{X}}.$$

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

$$\begin{aligned} (\bar{X} - S) \dots (\bar{X} + S) &\rightarrow 68,3\%; \\ (\bar{X} - 2S) \dots (\bar{X} + 2S) &\rightarrow 95,5\%; \\ (\bar{X} - 3S) \dots (\bar{X} + 3S) &\rightarrow 99,7\%. \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} F_1 = \bar{X} + 2S &= \frac{a+b}{2} + 2 \frac{b-a}{6} = \frac{a+5b}{6}; \\ F_2 = \bar{X} &= \frac{a+b}{2}; \\ F_3 = \bar{X} - 2S &= \frac{a+b}{2} - 2 \frac{b-a}{6} = \frac{5a+b}{6}. \end{aligned}$$

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

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

где M_{ui} – 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 прямобочными 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.

4.1.2. Проведём расчет 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, определённые 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,

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

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

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

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

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

σ_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.

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

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:

$$a_\sigma = \frac{\sum \sigma_{ui} p_i - 0,5\sigma_{-1g}}{\sigma_{u \max} - 0,5\sigma_{-1g}} \quad \text{при } \sigma_u \geq 0,5\sigma_{-1g};$$

$$a_\tau = \frac{\sum \tau_{ui} p_i - 0,5\tau_{-1g}}{\tau_{u \max} - 0,5\tau_{-1g}} \quad \text{при } \tau_u \geq 0,5\tau_{-1g}.$$

$$\sum \sigma_{ui} p_i = \sigma_{u1} \cdot 0,16 + \sigma_{u2} \cdot 0,68 + \sigma_{u3} \cdot 0,16;$$

$$\sum \tau_{ui} p_i = \tau_{u1} \cdot 0,16 + \tau_{u2} \cdot 0,68 + \tau_{u3} \cdot 0,16;$$

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

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

K – коэффициент снижения предела выносливости;

$N_G = 2 \cdot 10^6 \dots 5 \cdot 10^6$ – базовое число циклов;

$$\sum \sigma_{ui} p_i = \sigma_{u1}^m \cdot 0,16 + \sigma_{u2}^m \cdot 0,68 + \sigma_{u3}^m \cdot 0,16$$

при $\sigma_u \geq 0,5\sigma_{-1g}$;

$$\sum \tau_{ui} p_i = \tau_{u1}^m \cdot 0,16 + \tau_{u2}^m \cdot 0,68 + \tau_{u3}^m \cdot 0,16$$

при $\tau_u \geq 0,5\tau_{-1g}$.

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, расчёт проводится отдельно по каждому из факторов, а эквивалент ресурса определяется по выражению

$$\bar{N} = \frac{\bar{N}_\sigma \bar{N}_\tau}{\left(\bar{N}_\sigma^{2/m} + \bar{N}_\tau^{2/m} \right)^{m/2}}, \quad \text{где } m = \frac{m_\sigma + m_\tau}{2}.$$

Определение среднего ресурса в часах.

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

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

Поскольку накопление усталостных повреждений происходит только при условии $\sigma_{np.i} \geq 0,5\sigma_{-lg}$, то необходимо исключить те блоки нагружения, напряжения от действия которых меньше $0,5\sigma_{-lg}$.

При этом

$$\sigma_{np.i} = \sqrt{\sigma_{u_i}^2 + 4\tau_i^2}.$$

Определение функции распределения ресурса.

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

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

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

20. Функциональное проектирование расчетных схем мобильных машин

Для обсуждения и обоснования основных подходов к разработке расчетных схем математического моделирования технических объектов целесообразно предварительно рассмотреть условную схему (рис. 20.1), определяющую последовательность проведения отдельных этапов общей процедуры *вычислительного эксперимента*. Исходной позицией этой схемы служит ГО, под которым будем понимать конкретное техническое устройство, его агрегат или узел, систему устройств, процесс, явление или отдельную ситуацию в какой-либо системе или устройстве.

На *первом этапе* осуществляют неформальный переход от рассматриваемого ТО к его расчетной схеме (РС). При этом в зависимости от направленности вычислительного эксперимента и его цели акцентируют те свойства, условия работы и особенности ТО, которые вместе с характеризующими их параметрами должны найти отражение в РС. И наоборот, аргументируют упрощения, позволяющие не учитывать в РС те качества ТО, влияние которых предполагают в рассматриваемом случае несущественным. Иногда вместо РС используют термины *содержательная модель ТО* и *концептуальная модель*.

В сложившихся инженерных дисциплинах (в механике материалов, электротехнике, гидравлике и электронике) помимо описательной информации для характеристики РС разработаны специальные приемы и символы наглядного графического изображения.

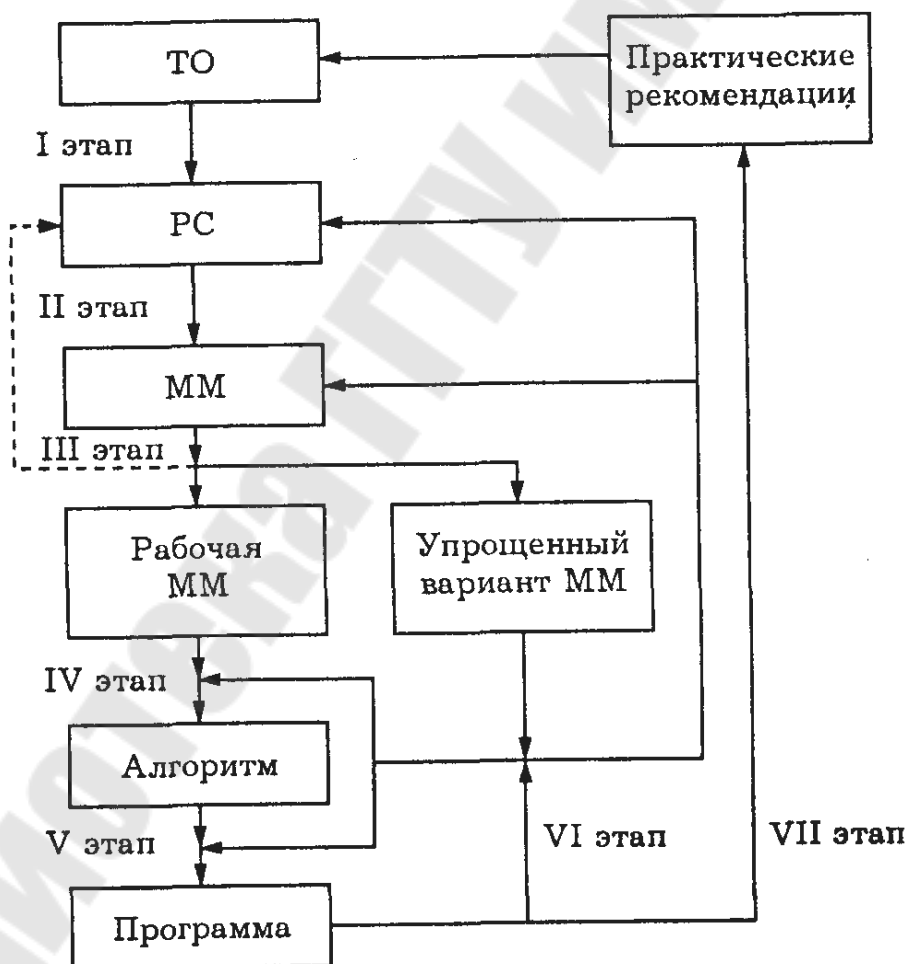


Рис. 20.1. Основные этапы математического моделирования

При разработке новых ТО успешное проведение первого этапа в значительной мере зависит от профессионального уровня инженера, его творческого потенциала и интуиции. Полнота и правильность учета в РС свойств ТО, существенных с точки зрения поставленной цели исследования, являются основной предпосылкой получения достоверных результатов математического моделирования. И наоборот, сильная идеализация ТО ради простоты РС может обесценить все последующие этапы исследования.

Содержание *второго этапа* состоит в математическом описании РС. Это описание в виде математических соотношений, устанавливающих связь между параметрами, характеризующими РС ТО, называют *математической моделью*.

Для некоторых типовых РС существуют банки ММ, что упрощает проведение второго этапа. Более того, одна и та же ММ может соответствовать РС из различных предметных областей. Однако при разработке новых ТО часто не удается ограничиться применением типовых РС и отвечающих им уже построенных ММ. Создание новых ММ должны опираться на достаточно глубокую математическую подготовку и владение математикой как универсальным языком науки.

На *третьем этапе* проводят качественный и оценочный количественный анализ построенной ММ. При этом могут быть выявлены противоречия, ликвидация которых потребует уточнения или пересмотра РС (штриховая линия на рис. 20.1). Количественные оценки могут дать основания упростить модель, исключив из рассмотрения некоторые параметры, соотношения или их отдельные составляющие, несмотря на то что влияние описываемых ими факторов учтено в РС. Иногда удается построить несколько ММ для одного и того же ТО, отличающихся различным уровнем упрощения. В этом случае говорят об иерархии ММ, что в данном случае означает упорядочение ММ по признаку их сложности и полноты.

Построение иерархии ММ связано с различной детализацией свойств изучаемого ТО. Сравнение результатов исследования различных ММ может существенно расширить и обогатить знания об этом ТО. Кроме того, такое сравнение позволяет оценить достоверность результатов последующего вычислительного эксперимента: если более простая ММ правильно отражает некоторые свойства ТО, то результаты исследования этой ММ должны быть близки к результатам, полученным при использовании более полной и сложной ММ.

Итог анализа на рассматриваемом этапе – это обоснованный выбор рабочей ММ ТО, которая подлежит в дальнейшем детальному коли-

чественному анализу. Успех в проведении третьего этапа зависит от глубины понимания связи отдельных составляющих ММ со свойствами ТО, нашедшими отражение в его РС, что предполагает сочетание владения математикой и инженерными знаниями в конкретной предметной области.

Четвертый этап состоит в обоснованном выборе метода количественного анализа ММ, в разработке эффективного алгоритма вычислительного эксперимента, а *пятый этап* – в создании работоспособной программы, реализующей этот алгоритм средствами вычислительной техники. Для успешного проведения четвертого этапа необходимо владеть арсеналом современных методов вычислительной математики, а при математическом моделировании довольно сложных ТО выполнение пятого этапа требует профессиональной подготовки в области программирования на ЭВМ.

Получаемые на *шестом этапе* результаты вычислений должны прежде всего пройти тестирование путем сопоставления с данными количественного анализа упрощенного варианта ММ. Тестирование может выявить недочеты как в программе, так и в алгоритме и потребовать доработки программы или же модификации алгоритма и программы. Анализ результатов вычислений и их инженерная интерпретация могут вызвать необходимость в корректировке РС и соответствующей ММ. После устранения выявленных недочетов триаду «модель–алгоритм–программа» можно использовать в качестве рабочего инструмента для проведения вычислительного эксперимента и выработки практических рекомендаций, направленных на совершенствование ТО, что составляет содержание *седьмого этапа*, завершающего «цикл» математического моделирования.

Последовательность этапов носит общий и универсальный характер, хотя в некоторых конкретных случаях она может и несколько видоизменяться. Если при разработке ТО можно использовать типовые РС и ММ, то отпадает необходимость в выполнении ряда этапов, а при наличии и соответствующего программного комплекса процесс вычислительного эксперимента становится в значительной степени автоматизированным. Однако математическое моделирование ТО, не имеющих близких прототипов, как правило, связано с проведением всех этапов описанного «технологического цикла».

Осуществление отдельных этапов ММ, рассмотренных выше, требует определенных знаний, навыков и практической подготовки. Если первый, седьмой и частично шестой этапы применительно к моделирова-

нию ТО типичны для амплуа инженера, то второй, третий и четвертый этапы предполагают наличие серьезной математической подготовки, а пятый – навыков в разработке и отладке ЭВМ-программ. Поэтому к математическому моделированию сложных ТО приходится привлекать и инженеров, и математиков, и программистов. Однако для координации их усилий необходимы специалисты, способные осуществить каждый из рассмотренных этапов на высоком профессиональном уровне.

Подготовка таких специалистов составляет одну из ключевых проблем, от успешного решения которой зависит эффективное использование возможностей математического моделирования при создании технических устройств и их систем.

Успех в решении указанной проблемы в значительной степени зависит от укрепления междисциплинарных связей между курсами высшей математики, физики, теоретической механики, информатики и инженерными дисциплинами. Связующим звеном при этом могут быть ММ явлений и процессов, являющихся предметом изучения в дисциплинах естественнонаучного цикла и лежащих в основе функционирования ТО в конкретных областях техники. Эта связь может обеспечить методическое единство и преемственность циклов математической, естественнонаучной и специальной подготовки будущего инженера.

Такие инженерные дисциплины, как прикладная механика, гидравлика, электротехника, электроника и некоторые другие можно с определенных позиций рассматривать как упорядоченное множество РС и ММ соответствующих ТО. Прежде всего, в инженерных дисциплинах

дисциплинах изучают РС и ММ так называемых типовых элементов, часто встречающихся в данной отрасли техники. Например, в электротехнике роль простейших типовых элементов играют пассивные электрические двухполюсники: резисторы, конденсаторы и катушки индуктивности. Но даже каждому из таких простых элементов в зависимости от условий его работы соответствуют несколько РС, поэтому говорят об иерархии ММ.

В электротехнике и электронике, по существу, сформирован так называемый банк РС и ММ типовых элементов, что в сочетании с принятой системой наглядного графического представления связей между этими элементами позволяет строить ММ достаточно сложных устройств. Аналогичная ситуация существует в инженерных дисциплинах

линах, предметом изучения которых являются механические, тепловые, пневмогидравлические системы и системы, в которых одновременно протекают процессы различной физической природы. Так, в механике материалов банк РС построен с учетом формы типовых элементов на основе принятых предположений (гипотез) о распределении перемещений или механических напряжений в этих элементах. При этом каждой РС (стержню, балке, пластине, оболочке) соответствует ММ, область применения которой ограничена принятыми гипотезами.

Следует отметить определяющую роль гипотез при формировании РС типовых элементов. При этом целесообразно отдавать предпочтение более простым гипотезам по сравнению с искусственными и обычно трудно проверяемыми. Если простая гипотеза верна, то ее обычно легко аргументировать и подтвердить экспериментально. Если же она вызывает сомнение, то ее нетрудно опровергнуть либо на основе контрпримеров и непосредственных наблюдений, либо исходя из соответствующим образом поставленных экспериментов, либо при получении противоречивых результатов уже на стадии количественного анализа ММ, построенной с использованием этой гипотезы. Однако принятие простой гипотезы не всегда равносильно построению простых РС и ММ изучаемого ТО.

Остановимся на особенностях построения ММ в инженерных дисциплинах. Математик-теоретик обычно выбирает для исследования уже построенную ММ, т. е. начинает работу с формулировки математической задачи, и затем уже не подвергнет сомнению эту формулировку, а лишь обосновывает свои преобразования и этапы решения задачи. При этом в некоторых случаях полученные результаты удастся применить непосредственно к конкретному ТО. Но в технике ни одну достаточно сложную задачу нельзя поставить таким образом. Любое формулирование технической задачи является условным. Если некоторое следствие формулировки такой задачи неверно или неприемлемо, то задачу приходится переформулировать, так как любая последовательность математических символов, записанных при построении ММ, является в действительности последовательностью утверждений содержательного характера, связанных с конкретным исследуемым ТО. Поэтому при математическом моделировании ТО необходимо учитывать как математическую, так и содержательную сторону задачи, связывая одну с другой. Забвение относительного соответствия

ММ реальному ТО может привести к ошибкам, связанным с приписыванием ТО свойств его ММ.

Отмеченные особенности дают повод для того, чтобы еще раз подчеркнуть важность умения согласовывать этап формирования РС с этапом построения ММ изучаемого ТО (этапы I и II на рис. 3.1). Это умение обычно складывается у студентов при выполнении междисциплинарных курсовых работ, проектов, при самостоятельном решении прикладных математических задач, имеющих конкретное техническое содержание. Для формирования таких навыков необходимы специальные учебные пособия, в которых на примерах ТО, изучаемых в инженерных дисциплинах, была бы раскрыта взаимная связь рассматриваемых этапов. В качестве примера такого учебного пособия можно назвать книгу В. И. Феодосьева «Избранные задачи и вопросы по сопротивлению материалов», содержание и методическое значение которой для углубленного понимания особенностей математического моделирования ТО существенно шире ее названия.

Акцент на взаимной связи этапов формирования РС и построения ММ исследуемого ТО не противоречит, а дополняет совершенствование триады «модель–алгоритм–программа» и ее внедрение в современные информационные технологии. В этой триаде основное внимание уделено проблемам анализа построенных ММ, методам вычислительной математики при помощи средств вычислительной техники (т. е. этапам IV и V на рис. 3.1). Подчеркнуто, что изолирование этапов, связанных с построением ММ или разработкой алгоритмов и пакетов программ, как и обучение выполнению этих этапов по отдельности, не достаточно для эффективного использования преимуществ математического моделирования. Наличие современных ЭВМ само по себе еще не решает проблему. Необходимо «интеллектуальное ядро» вычислительной техники, которым является ее математическое обеспечение, составляющее, по некоторым оценкам, не менее 80 % общей стоимости разработки информационных технологий.

Удобства, предоставляемые программным обеспечением современных ЭВМ их пользователям, часто приводят к стремлению обратиться при количественном анализе ММ к существующим и постоянно совершенствуемым универсальным пакетам типа MathCAD, Matlab и т. п. Более того, универсальность ММ и формирование банков типовых ММ позволяют создавать программные комплексы типа NASTRAN или ANSYS, в которые исходная информация вводится даже не в виде ММ, а в виде РС изучаемого ТО.

Однако метод, который годится для решения многих стандартных задач, часто не является наилучшим при решении конкретной задачи, особенно нестандартной, а нередко и вообще не применим. Но в инженерной практике решать приходится в основном нестандартные задачи, потому что стандартные почти все решены или могут быть решены без особых творческих усилий. При решении новых и сложных задач, не имеющих близких аналогов, путь формального обращения к универсальным пакетам и программным комплексам может привести к получению результатов, которые не удастся интерпретировать применительно к рассматриваемому ТО. В таких случаях анализ ММ нужно строить на умелом сочетании качественных оценок, аналитических методов и применения ЭВМ. При этом необходимо помнить, что цель расчетов – не числа, а понимание.

Функциональные схемы мобильных 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 определяют комбинированными видами схем и типов схем. Наименование схемы объединенной определяется ее видом и типом. Код схемы должен состоять из буквенной части, определяющей вид схемы, и цифровой части, определяющей тип схемы. Виды схем обозначают буквами: электрические – Э; гидравлические – Г; пневматические – П; газовые (кроме пневматических) – Х; кинематические – К; вакуумные – В; оптические – Л; энергетические – Р; деления – Е; комбинированные – С.

Типы схем обозначают цифрами: структурные – 1; функциональные – 2; принципиальные (полные) – 3; соединений (монтажные) – 4; подключения – 5; общие – 6; расположения – 7; объединенные – 0.

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

Функциональная схема (ФС) проектируемой СХМ (ГОСТ 2.701-84) определяет обоснованную систему частных технологических операций и технических средств их реализующих, и их взаимосвязи, определяющие рациональное выполнение заданного технологического процесса при известных ограничениях его показателей (агропоказатели).

ФС разъясняет технологические операции, процессы в проектируемой СХМ или агрегате, определяет вид (или вариант) технического средства выполняющего частную операцию (например, пневмосепарация), или их подсистему, 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, о их параметрах и режимах работы, о взаимном их расположении и последовательности осуществления обработки с/хматериала.

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 различные методы и принципы воздействия на материал, различная степень концентрации обработки, дает некоторое количество вариантов функциональной схемы проектируемой машины.

Для ориентировочного подхода к созданию вариантов в практике за базу выбирают одну из машин-аналогов раннего периода выполнения механизированных сельскохозяйственных процессов, а все последующие варианты машин рассматривают как процесс совершенствования конструкции.

Анализ их достоинств и недостатков приводит к синтезу новых вариантов схемы.

Однако полученные варианты, обеспечивающие одинаковое качество работы, обусловленное агро- и 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.

21. Функциональное проектирование механических приводов мобильных машин

21.1 Строение машинного агрегата

Машины, в том числе мобильные, 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, электрогенераторы.

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.

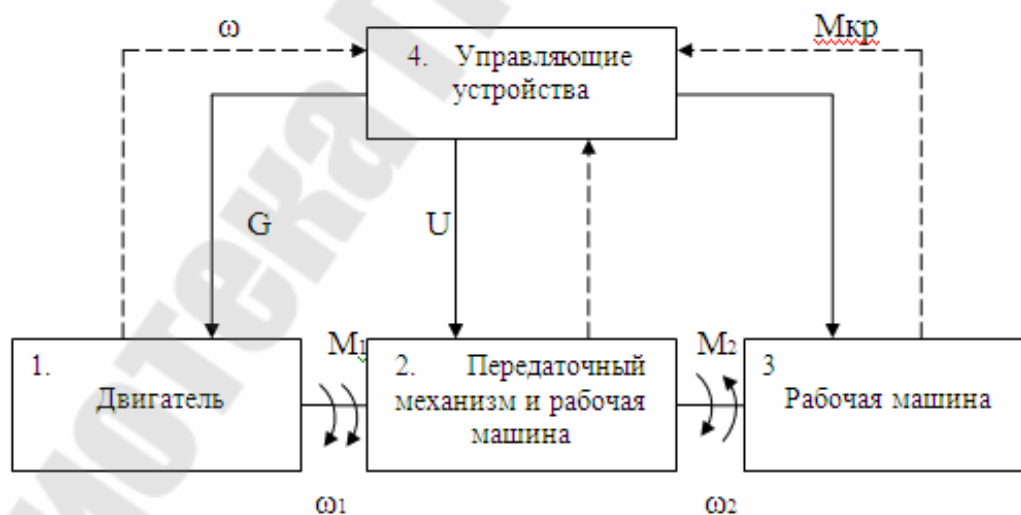


Рисунок 21.1 - Структурная схема машинного агрегата

$M_{кр}$ – крутящий момент, G – подача топлива, U – изменение передаточного числа

Автоматическое управление машинным агрегатом выполняют управляющие устройства, называемые регулятором, который воздей-

стствует на двигатель посредством применения расхода топлива, с целью изменения крутящего момента M_1 и регулирования, т.о. скорость вращения вала ω_1 (рис.22.1).

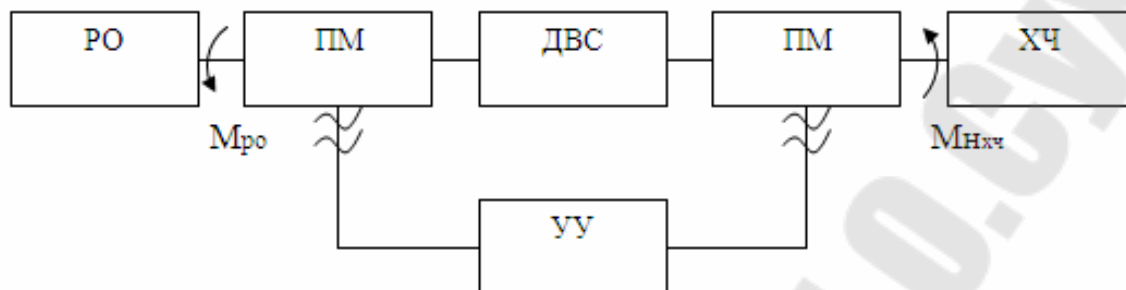


Рисунок 22.2 Функциональная схема управляемого машинного агрегата

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.22.2). Под режимом работы машины понимается сочетание основных выходных параметров однозначно определённых производить, расход энергии и тепловое состояние деталей.

Из этих механических параметров часть выделяют нагрузку, под которой обычно понимается крутящий момент вала машины и скорость его вращения. Комбинация двух этих параметров однозначно определяет другие параметры (направление мощности $N = M_{кр} * \omega$).

Режим работы машинного агрегата может быть рассчитан наложением механических характеристик (зависимостей крутящего момента двигателя и рабочий момент от ω). При этом обычно пренебрегают их колебаниями относительно среднее значение, т.е. рассмот-

рим 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 принятой максимальное и минимальное значение. В основе принципа работы систем управления лежит осуществление прямого воздействия на орган управления машиной и определённой реакции на это воздействие – так называемой обратной связи. Обратная связь реализуется при помощи специального датчика, передающего информацию о текущей скорости вращения ω_1 вала 1 двигателя регулятору. Например, в дизельном ДВС в количестве УУ подачи топлива G наполняется топливный насос регулируемой производительности, оснащенный центробежным регулятором скорости ω_1 . Управляя скоростью вращения вала, ω_1 двигателя, тем самым управляют и скоростью движения машины. Например, управление ω_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 расчётным путём.

22. Функциональное проектирование гидроприводов мобильных машин

22.1 Важнейшие характеристики гидропривода

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 с/х 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.

22.2 Преобразование энергии в объёмном гидроприводе

В гидроприводах механическая энергия преобразуется в гидравлическую, в этой форме перемещается, управляется или регулируется и затем снова преобразуется в механическую энергию (рис.22.1).

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.



Рис. 22.1 Передача энергии в гидроприводе

22.3 Проектирование объёмного гидропривода

На поршень ручного насоса воздействует сила (рис. 22.2). В результате деления этой силы на площадь поршня возникает давление $p = F/A$.

22.4 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 $F = p/A$

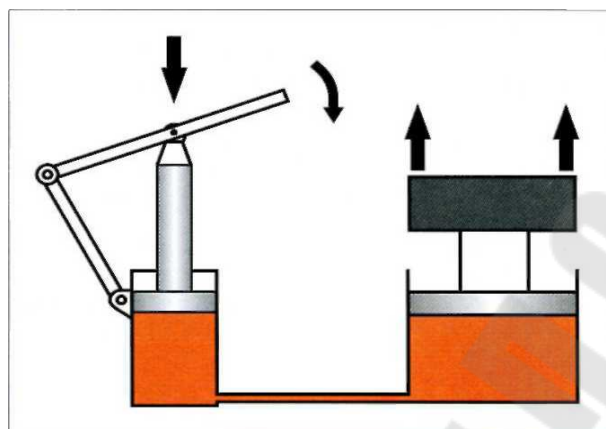


Рисунок 22.2 Принцип работы гидропривода

После этого давление более не повышается при остающейся постоянной нагрузке. Оно становится равным в конце концов сопротивлению, которое противодействует течению жидкости.

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 рисунку 22.2 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 (гидрораспределитель), 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.22.3) и должен обеспечить движение в обе стороны. В отличие от рисунка 22.2 насос (1) приводится здесь во вращение с помощью мотора (электродвигателя или двигателя внутреннего сгорания).

Гидравлический насос (1), приводимый во вращение мотором М, 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.

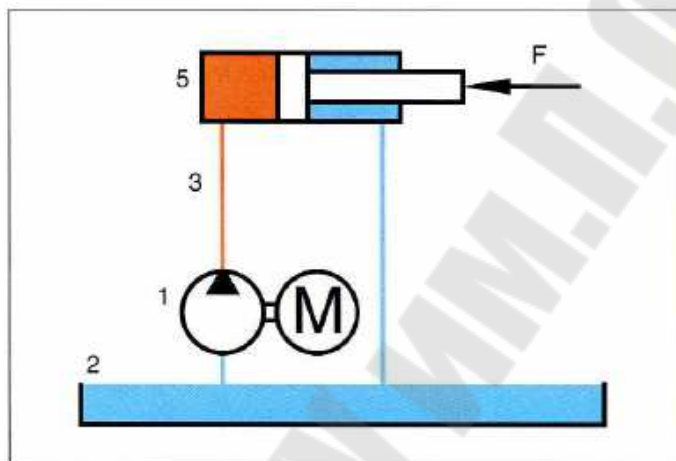


Рисунок 22.3 Схема гидропривода, состоящего из основных компонент

Однако, если выключить мотор, сила F будет вдвигать поршень гидроцилиндра в исходное положение (шток втягивается), 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. 6.4 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.

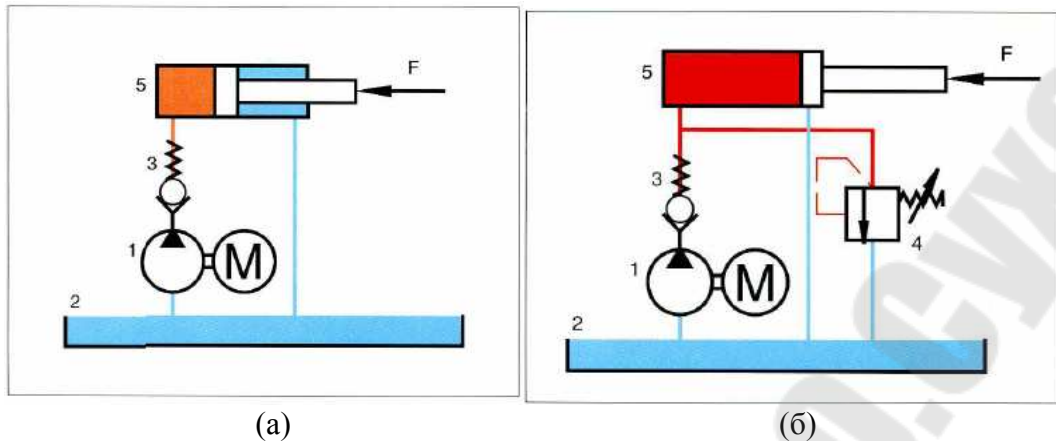


Рисунок 22.4 Использование в схеме обратного клапана и предохранительного клапана

Эта опасность исключается предохранительным клапаном (4), показанным на рисунке 22.4 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.

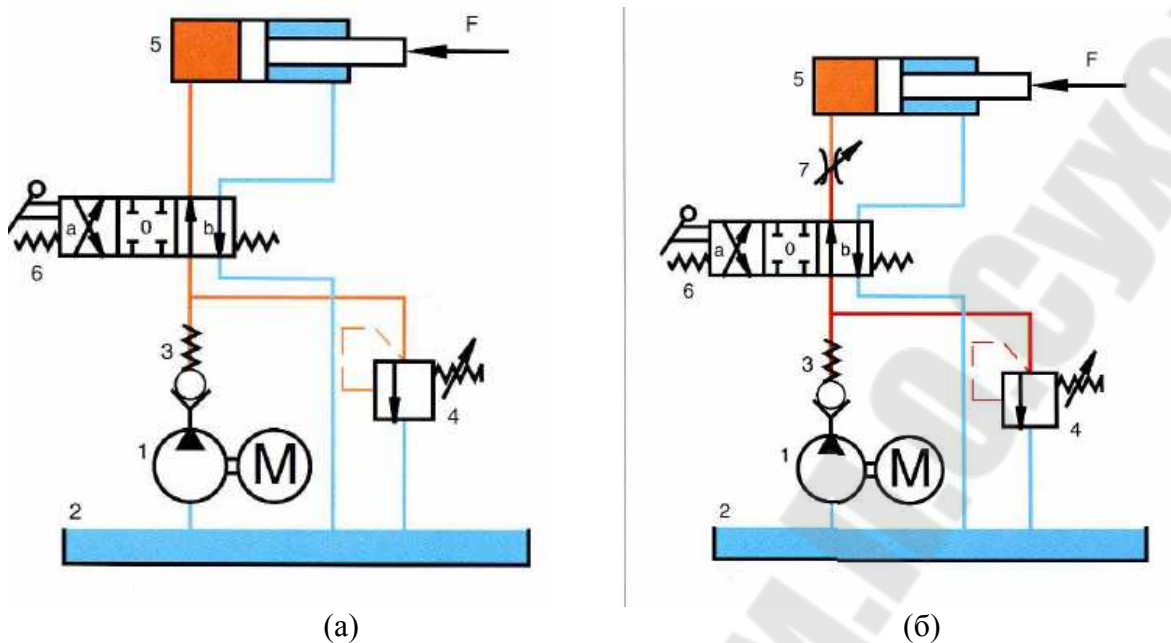


Рисунок 22.5 Схема гидропривода дополнена управляющим устройством (а); использование в схеме дросселя (б)

На рисунке 22.5 (а) показан гидрораспределитель (б) в позиции б. В этом положении не получилось нового качества по сравнению с рисунком 22.4. 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 а: шток гидроцилиндра втягивается
- позиция 0: все линии заперты, и шток гидроцилиндра неподвижен
- позиция б: шток гидроцилиндра выдвигается.

Чтобы иметь возможность изменения скорости перемещения поршня в гидроциindre (5), необходимо изменять величину подаваемого в гидроцилиндр объемного потока (расхода) жидкости. Для этой цели устанавливается дроссель (7), как это показано на рисунке 22.5 (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 выдвигании 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.

Законченная конструкция гидропривода, осуществляющего движение нагруженного силой F гидроцилиндра (5) в обе стороны, показана на рисунке 22.6 схематически и на рисунке 6.7 – с компонентами в разрезе.

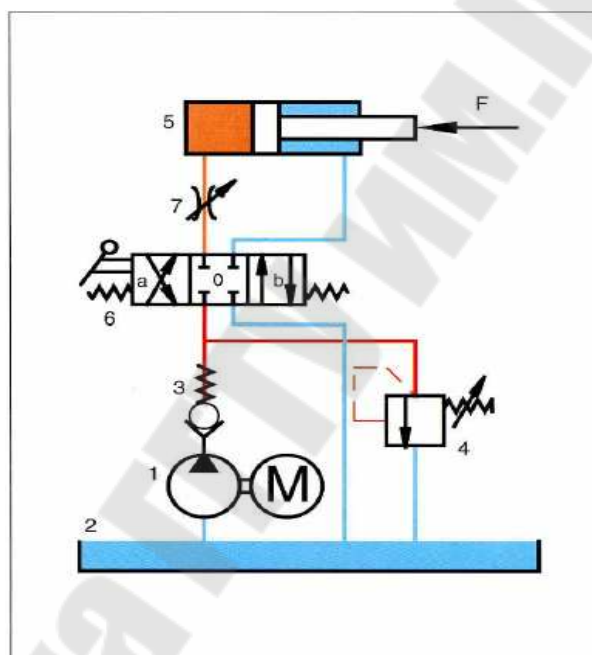


Рисунок 22.6 Схематическое изображение гидропривода в соответствии со стандартом DIN ISO 1219

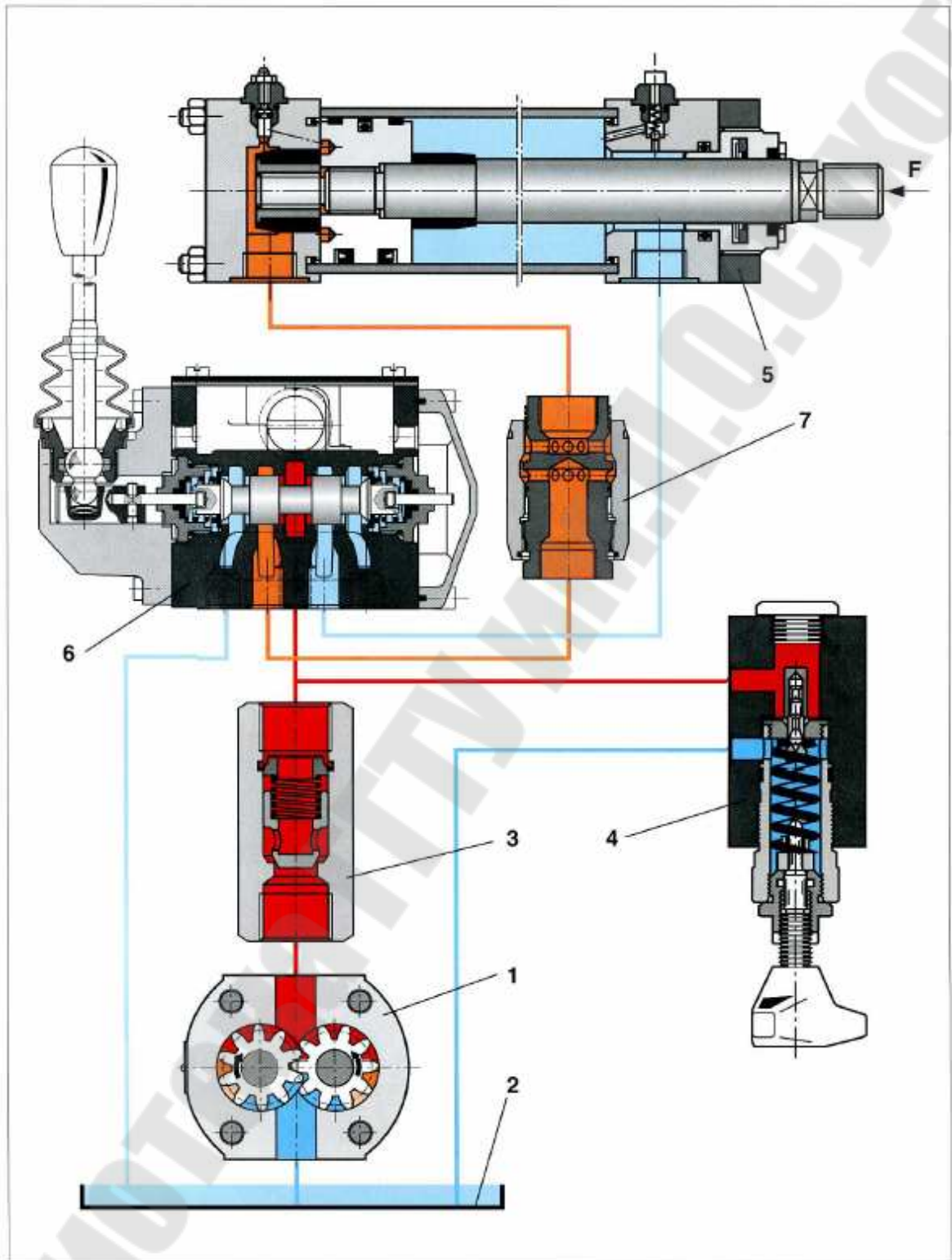


Рисунок 22.7 Гидропривод с компонентами, показанными в разрезе

23. Формализованное описание и компьютерный анализ баланса мощности мобильной машины.

В зависимости от характера возмущающих и управляющих воздействий ТО может находиться в установившемся или неустойчивом состоянии. Изменение его состояния выявляется анализом поведения фазовых координат.

Установившееся состояние технической системы достигается при неизменных характеристиках внешних воздействий. Если воздействия непрерывно меняются, то состояние системы будет *неустойчивым*. Режим работы системы при этом называют *динамическим*. Он сопровождается непрерывным изменением фазовых координат, определяющих характер движения системы в динамическом неустойчивом режиме.

Характерные примеры установившегося режима – *состояние покоя* и *состояние равномерного движения* всех элементов технической системы. Такие состояния также называют *статическими*, или *равновесными*. Статичность состояния определяется неизменностью реакций взаимодействия всех элементов технической системы при постоянных внешних воздействиях.

Предположим, что на техническую систему, находящуюся в установившемся состоянии равновесия, в некоторый момент времени t_0 приложено ступенчатое воздействие вида

$$F(t) = \begin{cases} F_0, & t \geq t_0 \\ 0, & t < t_0 \end{cases}, \quad (23.1)$$

где $F_0 = \text{const}$ – модуль ступенчатого воздействия.

Движение системы будет определяться ее внутренними физическими свойствами и внешним воздействием. Пусть состояние технической системы характеризуется фазовой координатой $x(t)$. Изменение ее после приложения ступенчатого воздействия можно представить в виде суммы двух составляющих: переходной $x_{\text{п}}(t)$ и вынужденной $x_{\text{в}}(t)$. Переходная составляющая устойчивой технической системы с течением времени затухает (стремится к нулю), и система приходит в новое установившееся состояние равновесия, характеризуемое вынужденной составляющей $x_{\text{в}}(t) = \text{const}$. Следовательно, при приложении ступенчатого воздействия система осуществляет переход из одного установившегося состояния в другое, находясь при этом в течение некоторого времени в динамическом режиме. Такой динамический режим

называют *переходным процессом*, а графики изменения фазовых координат системы – *переходными характеристиками*.

Если внешние воздействия на систему переменны во времени, то они вызывают в ней непрерывный ряд переходных процессов и состояние системы в течение всего времени наблюдения будет неустановившимся.

Переходные процессы возникают также при изменении структуры или параметров технической системы в процессе ее функционирования.

Если внешнее воздействие $F(t)$ – периодическая функция, для которой $F_0 = A \sin(\omega_b t + \varphi)$ [формула (23.1)], то после затухания свободных колебаний (переходной составляющей) в устойчивой системе установятся вынужденные колебания с частотой ω_b и некоторыми постоянными амплитудами $A_{vi} = k_i A$, где k_i – постоянный коэффициент, i – номер фазовой координаты системы. Такое состояние системы также относится к установившемуся, а режим называют *стационарным режимом колебаний*.

Рассмотренные динамические режимы ТО являются *модельными*. Они предназначены для проведения сравнительного анализа множества альтернативных вариантов в процессе синтеза. На самом деле в ТО такие режимы в чистом виде практически не встречаются. Однако модельные режимы позволяют значительно облегчить и ускорить решение проектных задач, так как детерминированные модели гораздо проще вероятностных.

Внешние воздействия реальной среды обитания технической системы описываются случайными функциями, а изменения фазовых координат системы представляют собой случайные процессы. Техническая система в этом случае все время находится в динамическом режиме.

При постоянных характеристиках случайных процессов их называют *стационарными*, а при переменных – *нестационарными*. Способы анализа и оценки выходных параметров системы при стационарных и нестационарных случайных процессах различны. В последнем случае они значительно сложнее, чем в первом, поэтому необходимость учета нестационарности при моделировании должна быть обоснованной.

В зависимости от модельного режима, положенного в основу решения конкретной проектной задачи, различают следующие виды анализа: статических состояний; переходных процессов; устойчивости; стационарных режимов колебаний; частотных характеристик; чувствительности; статистический.

Анализ статических состояний относится к задачам статики, а остальные виды анализа – к задачам динамики.

На макроуровне проектирования исходная ММ ТО представляет собой систему нелинейных ОДУ, которая в нормальной форме Коши имеет вид:

$$d\vec{V} / dt = \vec{F}(\vec{V}, \vec{U}, t), \quad (23.2)$$

где \vec{V} – вектор фазовых координат; \vec{U} – вектор внешних воздействий; t – независимая переменная – время.

Параметры элементов ТО \vec{X} тоже входят в ММ (6.2), но только в качестве коэффициентов при переменных \vec{V} .

Выходные параметры объекта \vec{Y} непосредственно не фигурируют в системе (23.2). Они определяются по результатам решения $\vec{V}(t)$ системы уравнений. Большинство выходных параметров имеют смысл

функционалов зависимостей фазовых координат $\vec{Y} = \vec{\Phi}[\vec{V}(t)]$. Функционал представляет собой отображение класса функций в класс чисел. Примеры функционалов: определенные интегралы, экстремальные значения функций, значения функций при заданных значениях аргументов и т. п.

Система уравнений (23.2) описывает динамические режимы функционирования ТО. Анализ этих режимов заключается в решении системы уравнений (23.2) и последующем определении выходных параметров объекта. Задавая начальные условия $\vec{V}(0) = \vec{V}_0$, находят решения $\vec{V}(t)$, а затем вычисляют значения выходных параметров \vec{Y} , используемых в качестве критериев при оптимизации внутренних параметров объекта \vec{X} .

Математическая модель в виде (23.2) непосредственно используется при анализе переходных процессов, устойчивости, стационарных режимов колебаний. Она позволяет решать и задачи анализа статических состояний. Численное решение системы уравнений (23.2) при неизменных внешних воздействиях через отрезок времени t_k приводит к стационарной точке \vec{V}^* , в которой $d\vec{V} / dt = 0$. Это и будет точкой решения задачи статики. Математической моделью статических состояний является система алгебраических уравнений. Очевидно, что при $d\vec{V} / dt = 0$ система дифференциальных уравнений (23.2) оказывается системой алгебраических уравнений:

$$\vec{F}(\vec{V}, \vec{U}) = 0. \quad (23.3)$$

Решение уравнений (23.3), безусловно, проще, однако не всегда процедура перехода от уравнений (23.2) к уравнениям (23.3) тривиальна. Например, для получения ММ, описывающей состояние покоя технической системы, требуются соответствующие преобразования уравнений, обусловленные необходимостью перехода к геометрическим координатам, определяющим пространственное положение элементов системы. Этим и объясняется широкое применение в САПР уравнений (23.3), когда анализ статических состояний лежит в основе технологического маршрута проектирования технического объекта (см. рис. 23.1).

Частотный анализ проводится для определения резонансных режимов, для исследования передачи или преобразования информационных сигналов, представленных в частотной области. Если ММ линейная, используют преобразование Фурье и система уравнений (23.2) преобразуется в систему линейных алгебраических уравнений с комплексными переменными, которая затем используется для определения частотных характеристик объекта. Процедура преобразования дифференциальных уравнений в алгебраические называется *алгебраизацией исходной дифференциальной задачи*. Но полученная при этом модель, тем не менее, описывает динамические свойства объекта. При алгебраизации нелинейной системы применяют метод гармонической линеаризации.

Частотными методами можно также решать задачи анализа устойчивости и стационарных режимов колебаний. Они часто используются на верхнем иерархическом уровне проектирования.

Анализ чувствительности выполняется для оценки влияния вариации внутренних параметров объекта на изменение внешних параметров, определяющих уровень оптимальности ТО.

24. Компьютерное моделирование анализа прочности конструкции (рамы) мобильной машины

24.1 Концепция алгоритма МКЭ

Анализ и концепция проблемы механики сплошной среды по МКЭ всегда сводится к так называемому «шаг за шагом» вычислительному процессу (Step by step process), который имеет огромное практическое значение для использования ЭВМ в целях эффективного ра-

счета. В этом процессе, который можно представить как простой алгоритм, выделяют следующие шесть важнейших шагов [9]: 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.

24.2. Общая архитектура САПР, базирующаяся на МКЭ

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.

24.3. 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); описание 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.

24.4. 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 искомым 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).

24.5. Функции модуля вывода

Модуль ввода 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.

24.6. Структура вычислительных комплексов для использования МКЭ

Программа 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 $10^4 \dots 10^5$, 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.

24.7. Программное обеспечение задач МКЭ прочности конструкций

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. 24.1). Вычислительные комплексы, содержащие пакет прикладных программ расчета динамики и прочности механических систем обеспечивают расчет напряжений и деформаций в пространственных 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.

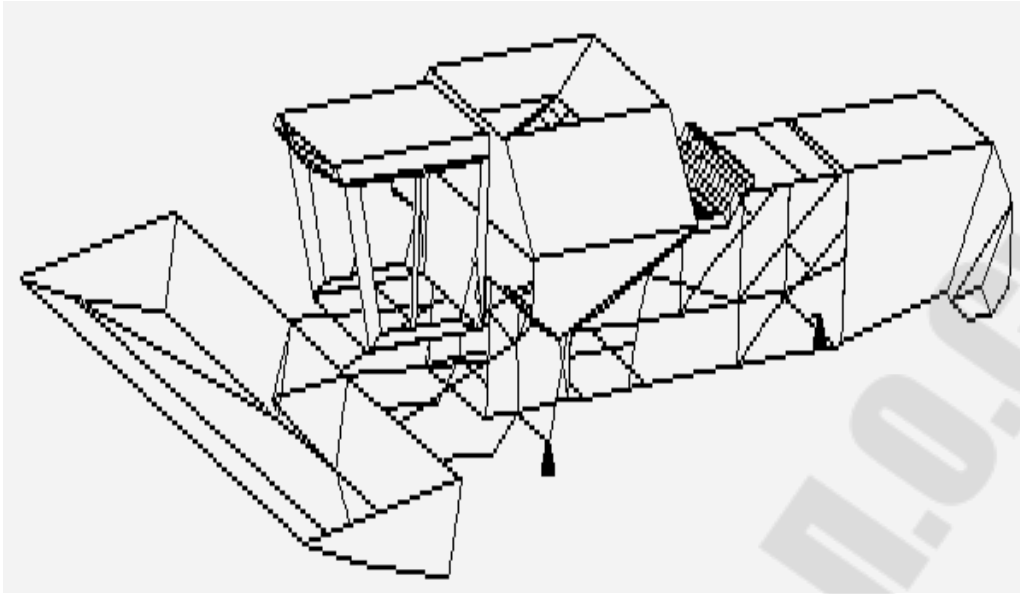


Рис. 24.1. Конечно-элементная модель несущей конструкции зерноуборочного комбайна

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 с использованием специальной внутренней формы данных.

АПМ 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 произ-

вольного 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 АПИМ 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 т.д.; 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. 24.2). 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.24.3).

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 усло-

вия). Необходимо задать кинематические граничные условия (заранее известные перемещения) таким образом, чтобы исключить возможность перемещения КЭМ рассматриваемой конструкции как твердого тела во всех направлениях.

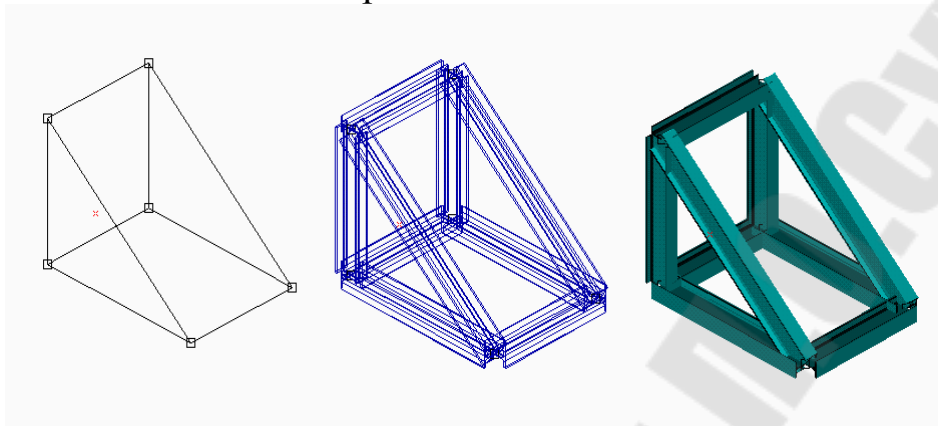


Рис. 24.2 Проволочная, каркасная, твердотельная модели конструкций рам

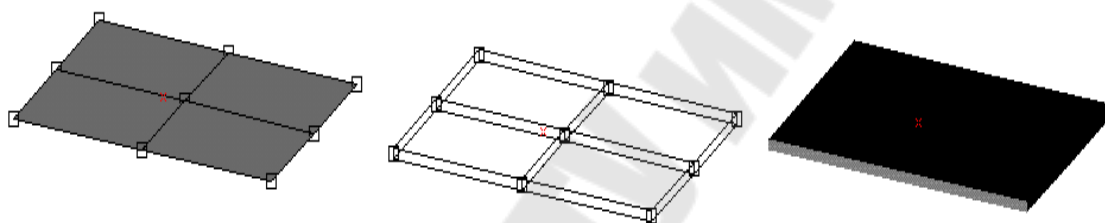


Рис. 24.3. Конечные элементы модуля АПМ WinStructure 3D

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. 24.4 состояние конструкции, представленное в графическом виде или в виде таблиц.

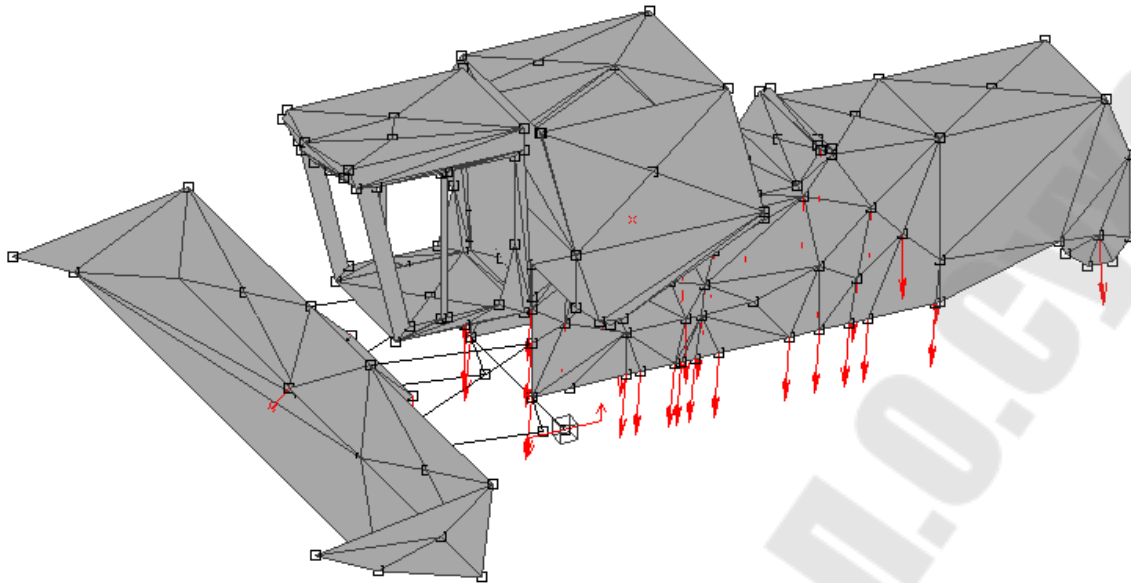


Рис. 24.4. Картина деформированного состояния конструкции

25. Компьютерное моделирование компоновки проектируемой мобильной с/х машины

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.

25.1 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 др. 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.25.1* и *рис.25.2*). Последние версии КОМПАС-ГРАФИК способны создавать конструкторские проработки общих видов сложных технических объектов.

Одновременно КОМПАС-ГРАФИК и КОМПАС-3D являются прекрасным выбором для автоматизации рабочих мест на малых и средних предприятиях, поскольку предлагают лучшие показатели «стоимость-функциональность».

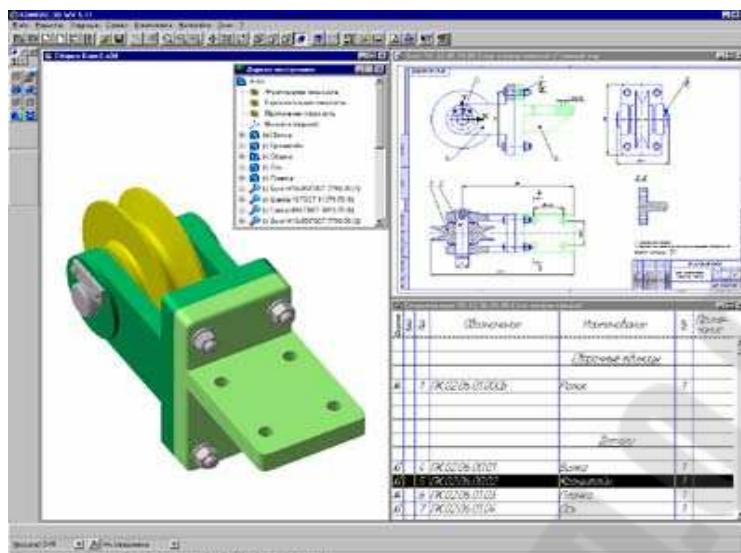


Рисунок 25.1 Ассоциированный чертеж упора роликового.

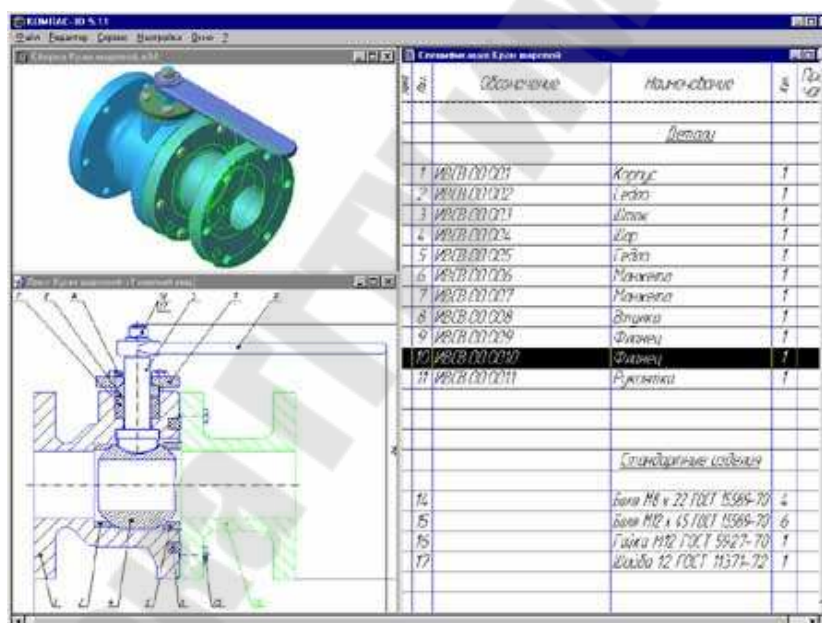


Рисунок 25.2 Ассоциированный чертеж крана прифланцованного.

25.2 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. 13), ИСПА, ADAMS и др.; 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. 25.3 и 25.4.

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/PLM3-

системами, применяемыми заказчиком) и едиными базами данных (корпоративными справочниками).

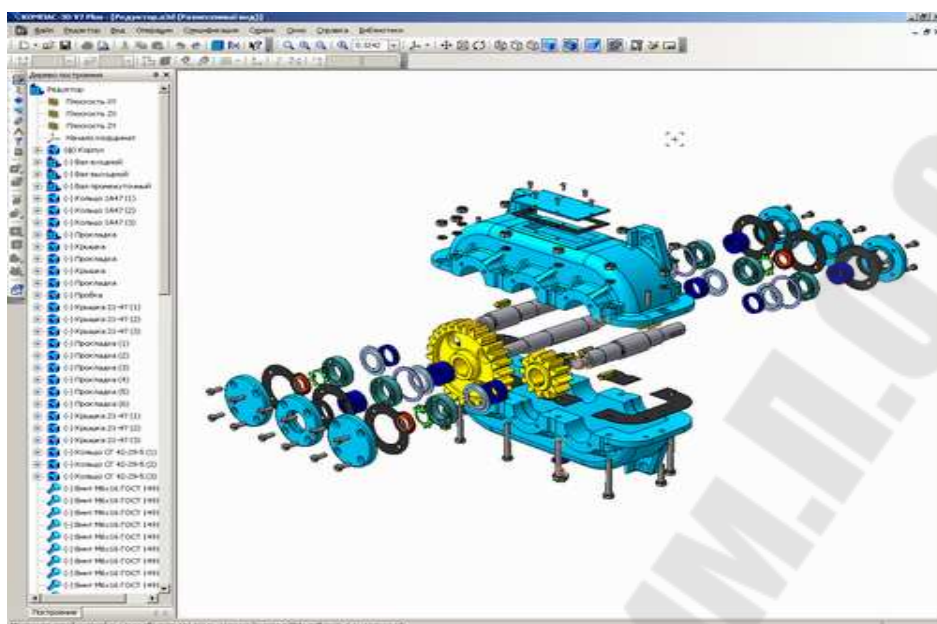


Рисунок 25.3 Развернутое моделирование редуктора

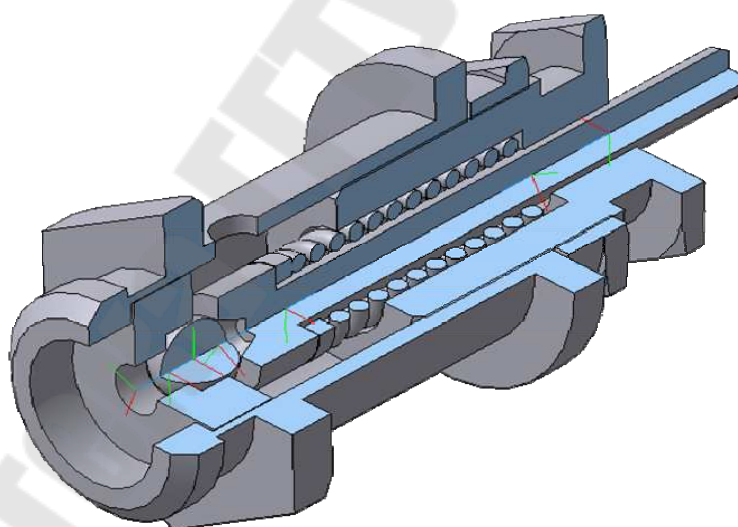


Рисунок 25.4 Твердотельная модель клапана пневмогидравлического.

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).

Библиографический список

1. Андросов А.А. Надежность технических систем: Учеб. пособие. - Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2000. - 168 с.
2. Аствацатуров А.Е. и др. Общая экология для технических ВУЗов. - Ростов н/Д, МОУФОРГУ, 2004. - 211 с.
3. Вальтер А.И., Баранов А.А. Управление качеством машин и технологий. – Тула: Тульский гос. университет, 2003. – 230 с.
4. Ю.И. Ермольев, А.Д. Чистяков, А.А. Андросов и др. Основы проектирования сельскохозяйственных машин. Учебник. Изд. центр ДГТУ, Ростов-на-Дону, 2006. – 638 с.
5. Волков Д.П., Николаев С.Н. Надежность строительных машин и оборудования: Учеб. пособие для студентов вузов. –М.: Высшая школа, 1979.– 400 с.
6. Всеобщее управление качеством: Учебник для вузов / О.П.Глудкин, Н.М.Горбунов, А.М.Гуров, Ю.В.Зорин; Под ред. О.П.Глудкина. - М.: Радио и связь, 1999. - 600с.
7. Гамрат–Курек Л.И. Экономика инженерных решений в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1986. – 225 с.
8. ГОСТ 22851-77. Выбор номенклатуры показателей качества промышленной продукции. Основные положения. – М.: Издательство стандартов, 1982. – 11с.
9. Грошев Л.М., Спиченков В.В., Андросов А.А. Методы оценки конструктивной прочности машин: Учеб. пособие. - Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1997. – 162 с.
10. Дальский А.И., Арутюнова И.А., Барсукова Т.М. и др. Технология конструкционных материалов: Учебник. – М.: Машиностроение, 1985. – 448 с.
11. Динамика системы дорога–шина–автомобиль–водитель / Под ред. А.А. Хачатурова. - М.: Машиностроение, 1976. – 535 с.
12. Дружинин И.В. Введение в проектирование конкурентоспособных технических объектов: Учеб. пособие для вузов – Ростов н/Д: «ВНИИ «Градиент», 2003. – 79с.
13. Долгов И.А. Уборочные с/х машины (конструкция, теория, расчет): Учебник для вузов. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 706 с.

14. Ермольев Ю.И. Проектирование рабочих органов сельскохозяйственных машин с элементами САПР: Учеб. пособие / РИСХМ. - Ростов н/Д, 1989. – 116 с.

15. Ермольев Ю.И. Интенсификация технологических операций в воздушно-решетных зерноочистительных машинах. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1998. – 494 с.

16. Ермольев Ю.И. , Шелков М.В., Московский М.Н. Моделирование процесса сепарации сыпучих материалов в воздушно-решетной зерноочистительной машине с многоярусными решетными модулями // Труды 6-й МНТК по динамике технологических систем. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2001. – С.69–71.

17. Ермольев Ю.И., Лукинов Г.И., Шелков М.В. Моделирование процессов сепарации сыпучих материалов на транспортерном сепараторе // Вестник ДГТУ. Т.1, №3(9), 2001. – С. 31-41.

18. Ермольев Ю.И. Основы научных исследований в сельскохозяйственном машиностроении: Учеб. пособие. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 246 с.

19. Иофинов С.А. Эксплуатация машинно-тракторного парка. - М.: Колос, 1974. – 480 с.

20. Качество машин: Справочник. В 2 т. / А.Г. Суслов, Э.Д. Браун, Н.А. Виткевич и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.

21. Е.М. Петина, Т.С. Чаузова, В.Г. Лисицын. Экономическое обоснование конструкторских решений в дипломных проектах. Уч. пособие. Из. центр ДГТУ, Ростов-на-Дону, 2011. – 37 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Жизненный цикл мобильной машины. Основные понятия и определения	3
2. Особенности технологии проектирования мобильной техники	7
3. Составные части процесса проектирования мобильной техники	9
4. Формализованное описание технических объектов для их функционального проектирования	14
5. Регламент разработки и постановки мобильной машины на производство	17
6. Основные направления ускорения научно-технического прогресса	27
7. Экстенсивный и интенсивный пути развития машиностроения	28
8. Тенденции развития мобильной техники. Определение концепции и назначения мобильной машины	32
9. Направления развития технологии проектирования мобильной машины	35
10. База для функционального проектирования мобильной техники	40
11. Математическое моделирование мобильных агрегатов и машин	42
12. Математические модели агрегатирования мобильных с/х машин	46
13. Математические модели агрегатирования с/х машин и универсальных энергетических средств	49
14. Компьютерное моделирование типоразмеров мобильных машин	53
15. Моделирование производительности мобильных машин и агрегатов	56
16. Управление надежностью мобильных сельскохозяйственных машин и агрегатов на стадии проектирования	67
17. Формализованное описание показателей надежности, критериев отказов и предельных состояний машин	73
18. Компьютерное моделирование заданного уровня надежности элементов мобильной с/х машины расчетными методами	82
19. Прогнозирование уровня надежности элементов мобильных с/х машин с помощью компьютерного моделирования	85
20. Функциональное проектирование расчетных схем мобильных машин	90
21. Функциональное проектирование механических приводов мобильных машин	99
22. Функциональное проектирование гидроприводов мобильных машин	102
23. Формализованное описание и компьютерный анализ баланса мощности мобильной машины	110
24. Компьютерное моделирование анализа прочности конструкции (рамы) мобильной машины	113
25. Компьютерное моделирование компоновки проектируемой ММ	121
Библиографический список	126
Содержание	128

ПРОИЗВОДСТВО И ОСНОВЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

**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**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 01.04.21.

Рег. № 65Е.

<http://www.gstu.by>