

# Принципы конструирования

# 1. ЗАДАЧИ КОНСТРУИРОВАНИЯ

Задача конструктора состоит в создании машин, полно отвечающих потребностям промышленности или сельского хозяйства, дающих наибольший экономический эффект и обладающих наиболее высокими технико-экономическими и эксплуатационными показателями.

Главными показателями являются: высокая производительность, экономичность, прочность, надежность, малая масса и металлоемкость, габариты, энергоемкость, объем и стоимость ремонтных работ, расходы на оплату труда операторов, высокий ресурс долговечности и степень автоматизации, простота и безопасность обслуживания, удобство управления, сборки и разборки.

Проектируя машину, конструктор должен добиваться всемерного увеличения ее рентабельности и повышения экономического эффекта за весь период работы. Величина экономического эффекта зависит от обширного комплекса технологических, организационно-производственных и эксплуатационных факторов.

## 2. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ МАШИН

Экономический фактор играет первостепенную роль в конструировании. Частности конструкции не должны заслонять основной цели конструирования — ***увеличения экономического эффекта машин.***

***Экономический эффект определяется величиной полезной отдачи машины и суммой эксплуатационных расходов за весь период работы машины.*** Стоимость машины является только одним не всегда главным, а иногда и очень незначительным составляющим этой суммы.

***Экономически направленное конструирование*** должно учитывать весь комплекс факторов, определяющих экономичность машины и правильно оценивать относительное значение этих факторов.

Главными факторами, определяющими экономичность машин, являются величина полезной отдачи машины, долговечность, надежность, расходы на оплату труда операторов потребление энергии и стоимость ремонтов.

**Коэффициент использования машины** представляет собой отношение времени фактической работы машины за определенный период к длительности этого периода.

$$\eta_{\text{ИСП}} = \frac{h}{H}$$

$H$  — период эксплуатации машины,  $h$  — фактическое время работы машины за этот период

Если машина работает до полного исчерпания своего механического ресурса, то  $h$  представляет собой **долговечность** машины  $D$  (общую возможную ее наработку за период эксплуатации). Тогда

$$\eta_{\text{ИСП}} = \frac{D}{H}$$

Величина  $\eta_{\text{ИСП}}$  для машин, работающих по календарному режиму, зависит главным образом от:

- 1) числа рабочих смен и
- 2) холостого времени (простои из-за неисправностей машины, недогрузка из-за нарушений производственного ритма).

**Рентабельность машины  $q$**  выражается отношением *полезной отдачи* машины  **$Om$**  за определенный период к **сумме расходов  $P$**  за тот же период

$$q = \frac{Om}{P}$$

Сумма расходов в общем случае складывается из стоимости:  $Эи$  — расходуемой энергии,  $Мт$  — материалов и заготовок,  $Ин$  — инструмента,  $Тр$  — оплаты труда операторов,  $Об$  — технического обслуживания,  $Рм$  — ремонта,  $Нк$  — накладных цеховых и заводских расходов,  $Ам$  — амортизационных расходов

$$P = Эи + Мт + Ин + Тр + Об + Рм + Нк + Ам$$

**Величина  $q$  должна быть больше 1, иначе машина будет работать убыточно и смысл ее существования утрачивается.**

**Экономический эффект.** Годовой экономический эффект от работы машины (годовой доход)

$$Q = Om - P = Om \left( 1 - \frac{P}{Om} \right) = Om \left( 1 - \frac{1}{q} \right)$$

где  $Om$  — годовая отдача, руб/год;

$P$  — сумма эксплуатационных расходов, руб /год.

**Суммарный экономический эффект**  $\Sigma Q$  за весь период службы машины (общий доход) равен разности суммарной отдачи  $\Sigma Om$  и суммы расходов  $\Sigma P$  за период службы (в рублях)

$$\Sigma Q = \Sigma Om - \Sigma P$$

$$\Sigma Q = \Sigma Om - \left( \Sigma \text{Эи} + \Sigma Mm + \Sigma \text{Ин} + \Sigma \text{Тр} + \Sigma \text{Об} + \Sigma \text{Нк} + \Sigma Pm + \Sigma Am \right)$$

Отдача машины и эксплуатационные расходы, за исключением  $\Sigma Am$  и  $\Sigma Pm$ , пропорциональны продолжительности фактической работы  $h$  за период эксплуатации. Амортизационные расходы за период эксплуатации равны стоимости  $C$  машины. Ремонтные расходы не находятся в прямой зависимости от  $h$  их размер и периодичность определяются условиями эксплуатации и надежностью машины.

Выделяя факторы  $\Sigma P_m$  и  $\Sigma A_m = C$ , получаем

$$\sum Q = h(Om - (Эu + Mt + Ии + Тр + Об + Нк)) - \sum P_m - C$$

Если машина работает до истощения механического ресурса ( $h = D$ )  
то

$$\sum Q = D(Om - (Эu + Mt + Ии + Тр + Об + Нк)) - \sum P_m - C$$

Повышение отдачи может выражаться или в увеличении числа единиц продукции или в увеличении стоимости каждой единицы (повышение качества продукции, увеличение объема операции, выполняемых над заготовкой). В первом случае расход материалов и инструмента пропорционален отдаче:  $Mt + Ии = a \cdot Om$ , где  $a$  — доля стоимости материала и инструмента в стоимости продукции.

Накладные расходы принято выражать в долях трудовых затрат:  $Нк = b \cdot Тр$ , где  $b$  — фактор пропорциональности.

$$\sum Q = D(Om(1 - a) - Эu + (1 + b)Тр + Об) - \sum P_m - C$$

**Срок окупаемости  $H_{OK}$**  определяется как период службы, при котором суммарный экономический эффект равен стоимости машины, т. е.

$$C = H_{OK} \eta_{исп} (Om - P) - Am$$

где  $P$  — годовые эксплуатационные расходы

$$P = Эи + Мт + Ин + Тр + Об + Нк$$

Расход на амортизацию за срок окупаемости

$$Am = \frac{CH_{OK}}{H} = \frac{CH_{OK} \eta_{исп}}{D}$$

где  $H$  — период службы машины.

После подстановки значения  $Am$  в уравнение получаем

$$H_{OK} = \frac{C}{\eta_{исп} \left( Om - P - \frac{C}{D} \right)}$$

# 3. МЕТОДИКА КОНСТРУИРОВАНИЯ

- Исходными материалами для проектирования могут быть следующие:
- техническое задание, выдаваемое планирующей организацией или заказчиком, и определяющие параметры машин, область и условия ее применения;
  - техническое предложение, выдвигаемое в инициативном порядке проектной организацией или группой конструкторов;
  - научно-исследовательская работа или созданный на ее основе экспериментальный образец;
  - изобретательское предложение или созданный на его основе экспериментальный образец;
  - образец зарубежной машины, подлежащий копированию или воспроизведению с переделками.

**К техническим заданиям необходимо подходить критически. Конструктор должен хорошо знать отрасль промышленности, для которой проектируют машину. Он обязан проверить задание и в нужных случаях обоснованно доказать необходимость его корректирования.**

Машины с неправильно выбранными, заниженными параметрами, основанные на шаблонных решениях, не обеспечивающие технического прогресса, несовместимые с новыми представлениями о роли качества, надежности и долговечности, устаревают уже к началу серийного выпуска.

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

Полезно составлять графики, отображающие изменение по годам главных параметров машин (мощность, производительность, массу и т. д.). Анализ таких графиков и их экстраполяция позволяют составить довольно четкое представление о том, каковы будут параметры машин и их конструкция через несколько лет.

Выбору параметров будущей машины должно предшествовать полное исследование всех факторов, определяющих жизнеспособность машины. Необходимо изучить опыт выполненных зарубежных и отечественных машин, провести сравнительный анализ их достоинств и недостатков, выбрать правильный прототип, выяснить тенденции развития и потребности данной отрасли машиностроения.

# ИЗУЧЕНИЕ СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИН

Проектированию машин, предназначенных для определенной отрасли промышленности, должно предшествовать тщательное изучение этой отрасли, динамики ее количественного некачественного развития, потребностей в данной категории машин и вероятности появления новых технологических процессов и методов производства.

При выборе параметров машины необходимо учитывать конкретные условия ее применения. Нельзя, например, произвольно увеличивать производительность машины, не учитывая производительности смежного оборудования. В некоторых случаях машины с повышенной производительностью могут оказаться в эксплуатации недогруженными и будут больше простаивать, чем работать.

# ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ

При выборе параметров машины, основной схемы и типа конструкции в центре внимания должны быть факторы, определяющие экономическую эффективность машины,—высокая полезная отдача, малые энергопотребление и расходы на обслуживание, низкая стоимость эксплуатации и длительный срок применения. Схему машины обычно выбирают путем параллельного анализа нескольких вариантов, которые подвергают тщательной сравнительной оценке со стороны конструктивной целесообразности, совершенства кинематической и силовой схем, стоимости изготовления, энергоемкости, расходов на рабочую силу, надежности действия, габаритов, металлоемкости и массы, технологичности, степени агрегатности, удобства обслуживания, сборки-разборки; осмотра, наладки регулирования.

Следует выяснить, в какой мере схема обеспечивает возможность последующего развития, форсирования и совершенствования машины, образования на базе исходной модели производных машин и модификаций.

Не всегда удастся найти решение, полностью отвечающее поставленным требованиям. Дело не в недостатке изобретательности, а в противоречивости выдвигаемых требований. В таких случаях приходится идти на компромиссное решение и поступаться некоторыми из них, не имеющими первостепенного значения в данных, условиях применения машины.

Нередко приходится выбирать вариант, не столько имеющий наибольшие достоинства, сколько обладающий наименьшими недостатками.

После выбора схемы и основных показателей агрегата разрабатывают компоновку, на основе которой составляют эскизный, технический и рабочий проекты.

# МЕТОД ИНВЕРСИИ

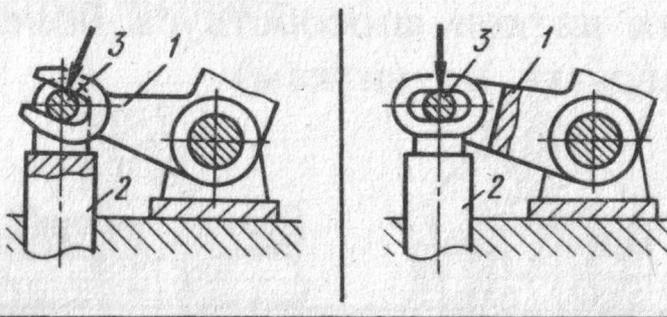
Среди приемов, облегчающих сложную работу конструирования, видное место занимает метод инверсии (обращение функций, форм и расположения деталей).

В узлах иногда бывает выгодным поменять детали ролями, например ведущую деталь сделать ведомой, направляющую — направляемой, охватывающую — охватываемой; неподвижную — подвижной. Целесообразно иногда инвертировать формы деталей, например наружный конус заменить внутренним, выпуклую сферическую поверхность вогнутой. В других случаях оказывается выгодным переместить конструктивные элементы с одной детали на другую, например шпонку с вала на ступицу.

Каждый раз конструкция при этом приобретает новые свойства. Дело конструктора — взвесить преимущества и недостатки исходного и инвертированного вариантов с учетом прочности, технологичности, удобства эксплуатации и выбрать наилучший из них.

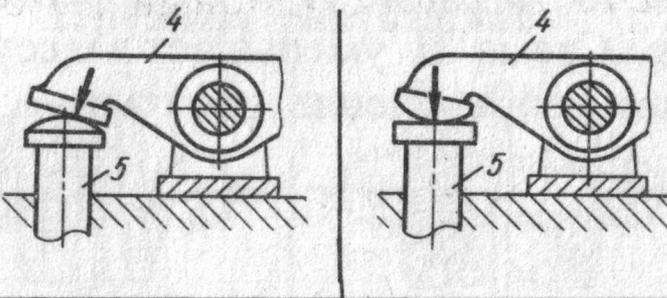
# Рассмотрим примеры инвертирования нескольких машиностроительных узлов

## Привод тяги



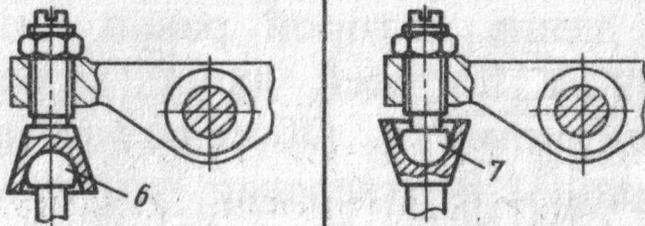
В схеме I рычаг 1 приводит в действие тягу 2 через ось 3, установленную в вилке тяги. В схеме II ось установлена в вилке рычага. Результат инверсии — устранение поперечных усилий на тягу. В конструкции по схеме II затруднительна обработка проушины тяги

## Привод толкателя



В схеме I боек коромысла 4 плоский, тарелка толкателя 5 — сферическая, в схеме II — наоборот. Инверсия устраняет поперечные нагрузки на толкатель. Боек можно выполнить цилиндрическим, что обеспечивает линейный контакт

## Привод коромысла



В схеме I тяга выполнена со сферическим наконечником 6, в схеме II сферическим выполнен боек 7 коромысла, Инверсия улучшает смазку сочленения (масло, находящееся в полости привода, скапливается в чаше тяги)

## Крепление шпильки

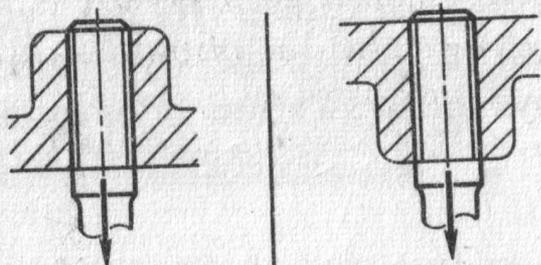


Схема II повышает прочность резьбового соединения (податливость бобышки у начальных витков способствует более равномерному распределению нагрузки по виткам)

# КОМПОНОВАНИЕ

Компонование обычно состоит из двух этапов: эскизного и рабочего. В **эскизной компоновке** разрабатывают основную схему и общую конструкцию агрегата (иногда несколько вариантов). На основании анализа эскизной компоновки составляют **рабочую компоновку**, уточняющую конструкцию агрегата и служащую исходным материалом для дальнейшего проектирования.

При компоновании важно уметь выделить главное из второстепенного и установить правильную последовательность разработки конструкции. Попытка скомпоновать одновременно все элементы конструкции является ошибкой.

Компоновку следует начинать с решения главных вопросов — выбора рациональных кинематической и силовой схем, правильных размеров и формы деталей, определения наиболее целесообразного взаимного их расположения. При компоновании надо идти от общего к частному, а не наоборот.

Основное правило компонования — разработка вариантов, углубленный их анализ и выбор наиболее рационального.

В процессе компонования необходимо производить расчеты, хотя бы ориентировочные и приближенные. Основные детали конструкции должны быть рассчитаны на прочность и жесткость.

Неправильно всецело полагаться и на расчет. Во-первых, существующие методы расчета на прочность не учитывают ряда факторов, определяющих работоспособность конструкции. Во-вторых, необходимые размеры деталей зависят не только от прочности, но и от других факторов. Конструкция литых деталей определяется в первую очередь требованиями литейной технологии. Для механически обрабатываемых деталей следует учитывать сопротивляемость усилиям резания и придавать им необходимую жесткость итд

Необходимое условие правильного конструирования - постоянно иметь в виду вопросы изготовления и с самого начала придавать деталям технологически целесообразные формы.

Компоновку необходимо вести на основе нормальных размеров (диаметры посадочных поверхностей, размеры шпоночных и шлицевых соединений, диаметры резьб и т.д.).

Одновременно следует добиваться максимальной унификации нормальных элементов. Элементы, неизбежные по конструкции главных деталей и узлов, рекомендуется использовать в остальных частях конструкции.

При компоновании должны быть учтены все условия, определяющие работоспособность агрегата, разработаны системы смазки, охлаждения, сборки-разборки, крепления агрегата и присоединения к нему смежных деталей (приводных валов, коммуникаций, электропроводки); предусмотрены условия удобного обслуживания, осмотра и регулирования механизмов; выбраны материалы для основных деталей; продуманы способы повышения долговечности, увеличения износостойкости трущихся соединений, способы защиты от коррозии; исследованы возможности форсировки агрегата и определены ее границы.