Ниже приводятся две главы из книги – **Глебов И.Т., Глухих В.В., Назаров И.В.** Научно-техническое творчество: Учеб. пособие. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т., 2002.– 264 с.

**Глебов Иван Тихонович**

# Технико-экономическое обоснование

#  выбора проектного решения

## 19. Эффективность проектных решений

### 19.1. Основные технико-экономические параметры

Все параметры технического объекта можно поделить на две группы по зависимости их от окружающей среды.

Параметры первой группы называют **показателями технического уровня.** К ним относят показатели массовые, геометрические, компоновочные. Они не зависят от окружающей среды.

Параметры второй группы называют **квалиметрическими** (квалитет – качество) или основными характеристиками. К ним относят показатели производительности, долговечности, надежности, эксплуатабельности, управляемости, стоимости и др. Эти показатели зависят от окружающей среды [43].

Основными показателями, которые характеризуют процесс разработки и эксплуатации технического объекта, являются время, стоимость и надежность (рис. 33).Эти показатели тесно связаны между собой. Развитие процессов идет по спирали.

Прогнозируя технические решения, следует иметь в виду, что их сложность непрерывно возрастает, и поэтому время, необходимое на их разработку, тоже увеличивается. Кроме того, растет время на изготовление и наладку технических объектов.

Усложнение технических объектов приводит к росту затрат общества на их разработку и эксплуатацию. Чем больше новизна разрабатываемого технического решения, тем выше затраты общества на его разработку и промышленное освоение. Особенно возрастает стоимость ремонта и обслуживания. Например, стоимость изготовления трактора ДТ-75 меньше стоимости его ремонта за срок службы 8…9 лет в 2,5 раза.

Для уменьшения расходов на эксплуатацию необходимо повысить надежность технического объекта в период его использования. Связь показателей “время – стоимость – надежность” может быть и обратно пропорциональной. Например, если разрабатывается технический объект с заданными показателями надежности в заданное время, то придется увеличить стоимость изготовления за счет увеличения трудовых ресурсов или использования дорогостоящих, но надежных, компонентов. Если нет возможности увеличить ресурсы на изготовление, то придется попуститься надежностью за счет увеличения срока разработки.

Эффективность использования технического решения определяют по формуле

Надежность

Надежность обслуживания технического решения

Надежность

технического

решения

Вероятность общественной потребности в техническом

решении

Время

разработки

Стоимость

разработки

Время

 изготовления

Время

 обслуживания

Срок

 службы

Стоимость

изготовления

Стоимость

изготовления

Стоимость

Время

Рис. 33. Показатели процесса разработки и

обслуживания технического решения

,

где *П* – прирост прибыли;

 *З* – прирост затрат.

Если Э < 3, то за рубежом, например, все работы по разработке нового технического решения прекращаются [13]

### 19.2. Критерии развития технических объектов

#### 19.2.1. Классификация критериев

Критерии развития – это те параметры технического объекта, которые на протяжении длительного времени монотонно изменяются, приближаясь к своему пределу, и выступают мерой совершенства и прогрессивности.

Технические объекты совершенствуются в направлении улучшения критериев. Поскольку качество любой машины оценивается по нескольким критериям, то принцип прогрессивного развития заключается в улучшении одних и не ухудшении других критериев.

Схема классификации критериев развития приведена на рис. 34 [30].

1. Функциональ–ные критерии
2. Технологические критерии
3. Экономические критерии
4. Антропологические критерии

Производи-

тельность

Трудоемкость изготовления

Затраты

материалов

Эргономичность

Точность

Технологические

 возможности

Затраты

энергии

Красота

Надежность

Использование материалов

Затраты на подготовку и получение информации

Безопасность

Экологичность

Габаритные размеры

Расчленение на элементы

1. Критерии развития

Специальные

Рис. 34. Схема классификации критериев развития

Для оценки качества машин используют четыре группы критериев развития: функциональные, технологические, экономические и антропологические.

#### 19.2.2. Функциональные критерии развития

**Функциональные критерии развития** характеризуют производительность, точность и надежность станков. Критерий производительности зависит от ряда параметров (скорость, частота вращения валов, количество шпинделей и т.п.), влияющих на производительность станка.

Точность изготовления изделий регулируется квалитетами.

**Критерий надежности** отражает свойство машины выполнять определенные функции, сохраняя эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или необходимой наработки [13]. Надежность машины включает показатели безотказности, ремонтопригодности, сохраняемости, долговечности. Количественными критериями надежности служат вероятность безотказной работы, число отказов (или интенсивность отказов) и наработка на отказ.

#### 19.2.3. Технологические критерии развития

**Технологические критерии развития** характеризуют возможность экономии живого труда при изготовлении и подготовке к эксплуатации машин.

**Критерий трудоемкости** изготовления машины находят как частное от деления суммарной трудоемкости АТС проектирования, изготовления и подготовки к эксплуатации изделия на главный показатель эффективности Q:

1. Кт = Атс/Q.

В качестве главного показателя эффективности машины можно принять установленную мощность приводов, кВт, или другой показатель.

**Критерий технологических возможностей** отражает простоту и принципиальную возможность изготовления машины. Характеризуется он коэффициентом технологических возможностей Ктв.

1. Значение коэффициента 0 ≤ Ктв ≤ 1, и чем он больше, тем больше сохраняются известные решения в машине, тем в большей степени используются покупные и унифицированные элементы, многократно проверенные в работе и изготовлении.
2. Конструктор часто стремится удовлетворить высокие требования к машине известными, традиционными структурами, используя конструктивные решения, уже отработанные на известных образцах. Такой подход требует минимума затрат времени и средств, но влечет за собой нежелательные последствия.
3. При излишнем увлечении преемственностью, заимствованием, унификацией, попыткой воспользоваться тем, что уже создано и опробовано, невозможно обеспечить требуемого роста уровня показателей машин, невозможно лидировать на мировом рынке. Спроектированные таким образом машины быстро морально стареют и через короткое время нуждаются в дополнительной модернизации.
4. Однако это не значит, что надо разрабатывать только новые машины. Как правило, желаемого результата можно достичь при комбинации известных решений с новыми структурными решениями, построенными на современных физических и технологических принципах.
5. Обычно в новые современные машины из ранее разработанных прототипов переносится в среднем до 50% конструктивных решений без переделок или с частичными изменениями. При этом высокие значения показателей преемственности достигаются в основном за счет второстепенных структурных элементов, переносимых из одного поколения машин в другое. Основные подсистемы при этом, как правило, создаются заново [43].
6. **Критерий использования металлов** Ким характеризует технологический процесс изготовления деталей машины и равен отношению массы машины G к массе израсходованных материалов Р (при этом покупные комплектующие элементы не учитываются): Ким = G/P .
7. Значение Ким в целом не превышает 0,55.
8. **Критерий расчленения машины на элементы** служит мерой оптимальности расчленения машины на узлы и детали с целью упрощения технологии разработки, доводки, изготовления, ремонта, модернизации, унификации и стандартизации.
9. Чем меньше в машине сборочных единиц и деталей, тем меньше ее масса, выше жесткость и надежность, меньше трудоемкость механической обработки и сборки.
10. Большее расчленение машины на сборочные единицы и детали тоже имеет свои преимущества. Большее расчленение машины с новыми элементами позволяет сократить время и трудоемкость разработки и доводки машины в целом. В процессе разработки и доводки нового станка экономичнее и проще устранять недостатки отдельных более простых узлов и деталей. Расширяются возможности унификации и стандартизации.

#### 19.2.4. Экономические критерии развития

**Критерий металлоемкости** Км равен отношению массы машины Gк к ее главному показателю эффективности Q (установленная мощность, кВт, максимальная ширина обработки, см, для фуговальных, рейсмусовых и других станков, производительность, шт./мин, м/мин и т.д.): Км = Gк/Q.

**Критерий энергоемкости** Кэ находится как отношение затраченной энергии при эксплуатации в единицу времени W к одному из показателей эффективности Q: Кэ = W/Q .

**Критерий затрат на информационное обеспечение** Кио определяется как отношение затрат S на приобретение и эксплуатацию вычислительной техники, разработку программного или информационного обеспечения к одному из показателей эффективности Q: Кио = S/Q.

**Критерий габаритных размеров** Кг равен отношению габаритных размеров машины V к ее эффективности Q : Кг = V/Q .

Чем меньше значение Кг , тем меньше машина занимает производственную площадь, тем меньше расход материалов на ее изготовление.

#### 19.2.5. Антропологические критерии развития

Антропологические критерии развития обеспечивают максимальную приспособленность машины к человеку, снижение дискомфорта, повышение положительных эмоций.

**Критерий эргономичности** характеризует использование в системе человек-машина физических, психологических и интеллектуальных возможностей человека. Критерий равен отношению реализуемой эффективности системы человек–машина к максимально возможной эффективности этой системы.

**Критерии красоты,** **безопасности и экологичности** характеризуют внешний вид машины, ее безопасность и способность не причинять вреда окружающей среде.

#### 19.2.6. Критерии для оценки деревообрабатывающих машин

1. Общее количество критериев, применяемых для оценки деревообрабатывающих машин, можно разделить на две группы: общие для всех случаев (глобальные) и критерии, характерные для частных случаев [44].
2. Из числа **глобальных** наиболее важными считают следующие:
3. – повышение уровня автоматизации основных технологических операций;
4. – повышение уровня механизации и автоматизации вспомогательных операций;
5. – повышение непрерывности процесса обработки;
6. – увеличение надежности работы станка;
7. – снижение уровня трудозатрат живого труда в изделии;
8. – снижение общей трудоемкости изделия;
9. – повышение уровня технологичности станка;
10. – снижение материалоемкости (металлоемкости) станка;
11. – достижение оптимального расчленения станка на части;
12. – снижение энергопотребления;
13. – уменьшение габаритов станка;
14. – улучшение условий эксплуатации и обслуживания станка;
15. – повышение безопасности работы и обслуживания станка;
16. – улучшение внешнего вида (красоты) станка;
17. – повышение экологичности станка.
18. В качестве **частных критериев**, часто используемых при оценке станков и их узлов, назовем следующие:
19. – высокая скорость резания;
20. – широкий диапазон регулирования подачи;
21. – плавность регулирования подачи;
22. – точность и стабильность базирования;
23. – точность обработки;
24. – качество обработки;
25. – устойчивость к вибрациям;
26. – высокая износостойкость;
27. – защищенность от перегрузок;
28. – низкий уровень шума;
29. – отсутствие монотонности в работе оператора;
30. – легкость обслуживания;
31. – простота системы управления;
32. – отсутствие "капризных" механизмов, требующих частой наладки;
33. – простота и удобство наладки станка.
34. Для каждого конкретного случая проектирования технической системы конструктор подбирает перечень критериев развития из списка глобальных и частных критериев. Основой для выбора служат требования, предъявляемые к проектируемой системе. При этом уже на стадии выбора проектного решения конструктор стремится, чтобы система максимально удовлетворяла всем выбранным критериям.

### Контрольные вопросы и задания

1. Как называют параметры технического объекта, зависимые и независимые от окружающей среды?
2. Что такое критерии развития?
3. Приведите классификацию критериев развития.
4. Как критерии развития учитывают преемственность технических объектов?
5. Поясните сущность критерия расчленения технического объекта на элементы.
6. Что учитывают эргономические критерии развития?
7. Какие критерии называют общими и частными?

### 19.3. Оптимизация технических решений

#### 19.3.1. Общие сведения

Для решения задачи оптимизации необходимо иметь множество возможных (альтернативных) решений *Y* (рис. 35). В этом множестве можно выделить множество допустимых решений *Yд*. Решение называют допустимым, если оно удовлетворяет ограничениям (требованиям, предъявляемым к объекту): ресурсным, социальным и т.д. При этом

*Yд* ⊆ *Y*,

где символ ⊆ означает, что множество *Yд* есть часть или совпадает с множеством *Y* возможных решений. В множестве допустимых решений можно выделить множество эффективных решений *Yэ*, которое включает в себя несравнимые между собой наилучшие решения:

*Yэ* ⊆ *Yд*.

Решение *Yэ* называется оптимальным, если оно обеспечивает экстремум (максимум, минимум) одновременно всех критериев. Оптимальное решение находится в множестве эффективных решений:

*Yо* ⊆ *Yэ*.

Поскольку все критерии одновременно не могут принять экстремальные значения, то при решении многокритериальной задачи находят только рациональное решение.

**Таким образом, задача оптимизации направлена на определение наилучшего (рационального) решения, путем последовательного сужения множеств** *Y*, *Yд*, *Yэ* **в соответствии с допустимыми ограничениями и принятыми критериями** [45, 46]**:**

*Y*

*Yд*

*Yэ*

*Yо*

Рис. 35. Типы решений

*Yо* ⊆ *Yэ* ⊆ *Yд*  ⊆ *Y*.

Чем больше подобрано альтернативных вариантов, и чем более удачно подобраны критерии, тем больше вероятность того, что найденное решение будет самым лучшим.

В инженерной практике оптимизации можно отметить два правила:

* получение желаемого эффекта при минимуме затрат;
* получение максимального эффекта при использовании заданных ограниченных ресурсов.

Эти правила обрели значение экономических законов.

**Субъектом всякого решения является лицо, принимающее решение (ЛПР). Это собирательное понятие, включающее как одно индивидуальное лицо, так и группу лиц (групповое ЛПР)** [47]**.**

ЛРП осуществляет выбор решения. Выбор – это ключевая процедура процесса оптимизации. Выбор может быть критериальный, волевой и случайный.

С помощью критериев решаются одно- и многокритериальные задачи. Выбор с помощью критериев – самый точный.

Волевой выбор решения представляет собой осознанный и ответственный выбор в условиях, когда отсутствует полный комплекс критериев.

Случайный выбор применяется при полном незнании критериев оценки. Им можно пользоваться, когда область допустимых решений минимальна.

#### 19.3.2. Концепция принятия решений

**Концепция принятия решений представляет собою систему взглядов, которая определяет общую направленность и методику принятия решений.** Концепция включает следующие пункты [47].

1. В задаче принятия решений ЛПР выполняет основную роль. Оно принимает решения на основе своих предпочтений и несет за них ответственность.
2. Эксперты выполняют вспомогательную роль. Они несут ответственность только за свои рекомендации.
3. Измерение качества решений осуществляется на основе формирования альтернативных вариантов и их сравнительной оценки. Для оценки нужны альтернативные варианты, хотя бы два. Сравнительная оценка решений является единственным способом измерения предпочтительности в условиях отсутствия эталонов.
4. В условиях неопределенности может не существовать единственного оптимального решения. Для ЛПР, имеющих различные предпочтения, решения будут разными.

#### 19.3.3. Ранжирование

Для облегчения процесса выбора, исследуемые варианты оцениваются количественно и качественно. Количественное измерение важности и предпочтительности вариантов решений выполняется методом ранжирования.

**Ранжирование – это процедура упорядочения.** Выполняется она ЛПР. При ранжировании варианты решений расставляются в порядке предпочтения по отношению к каждому критерию.

Если среди вариантов нет эквивалентных (равнозначных) решений, то из них можно составить последовательность

, (37)

где вариант *х*1 более предпочтителен из всех вариантов;

 вариант *х*2 менее предпочтителен *х*1, но предпочтительнее всех остальных и т.д.

Отношение (1) можно записать отношением чисел

*с*1 > *с*2 > *с*3 >…> *с*m.

Возможна обратная последовательность чисел

*с*1 < *с*2 < *с*3 <…< *с*m. (38)

Если наиболее предпочтительному варианту присвоить число 1, то получим числовую последовательность

1 < 2 < 3 <…< m. (39)

Здесь числа 1, 2, 3,…m называют рангами.

При ранжировании наиболее предпочтительному варианту присваивается ранг, равный единице, второму по предпочтительности – ранг, равный двум и т.д. Для эквивалентных вариантов назначаются одинаковые ранги, равные среднему арифметическому значению рангов. В этом случае, например, ранги *r*1 = *r*2 = *r*3 = (3+4+5)/3 = 4.

#### 19.3.4. Выбор эффективных решений

Выбор решений – это заключительный и наиболее ответственный этап процесса принятия решений. Выбор выполняют путем последовательного сужения области решений и уменьшения неопределенностей. При этом множество допустимых вариантов решений сужается до множества эффективных вариантов решений. Процедура эта выполняется следующим образом.

Пусть множество допустимых решений содержит варианты *Y*1, *Y*2,… *Y*8. Для оценки вариантов подобраны критерии вариантов *А*1, *А*2,… *А*6.

Для определения эффективных решений значения всех критериев развития по вариантам приводят к рангам, и результаты заносят в таблицу (табл. 21).

Таблица 21

**Ранжирование вариантов решений по критериям**

|  |  |
| --- | --- |
| Решения | Критерии развития |
| *А*1 | *А*2 | *А*3 | *А*4 | *А*5 | *А*6 |
| *Y*1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| *Y*2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| *Y*3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| *Y*4 | 4 | 1 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| *Y*5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| *Y*6 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 2 |
| *Y*7 | 4 | 1 | 4 | 4 | 5 | 4 |
| *Y*8 | 5 | 1 | 5 | 5 | 6 | 4 |

Сначала ранжируют варианты решений по критерию *А*1. Для этого надо определить: в каком решении критерий *А*1 наилучшим образом реализован. В приведенном примере предпочтение отдано варианту *Y*1, и ему присвоен ранг 1. Остальные варианты решений менее предпочтительны, и им присвоены ранги в пределах 2…5. Затем решения ранжируют последовательно по остальным критериям.

**Определение области эффективных решений** делается путем попарного сравнения вариантов решений. Сравнение выполняются по принципу Парето, согласно которому одно решение *Yi* предпочтительнее другого решения *Yj*, если выполняется векторное отношение “не хуже”:

(*уi*1, *уi*2, … *уiq*,) ≥ (*уj*1, *уj*2, … *уjq*,).

Таким образом, одно решение предпочтительнее другого, если все значения рангов первого решения не хуже значений соответствующих рангов второго решения и, по крайней мере, для одного критерия имеет место строгое предпочтение.

Будем сравнивать решения попарно. Сравниваем ранги решений *Y*1 и *Y*2. Первое решение будет предпочтительнее второго, так как его ранги выше, а шестой ранг не хуже чем у второго. Второе решение исключается из дальнейшего рассмотрения.

Затем сравниваем *Y*1 и *Y*3. Все ранги первого решения выше, чем у третьего, но второй ранг хуже и поэтому третье решение исключить из рассмотрения нельзя.

Сравнивая попарно остальные решения, приходим к выводу, что все они хуже, чем решения *Y*1 и *Y*3. Все они исключаются из дальнейшего рассмотрения.

**Таким образом, область допустимых решений сужена до двух эффективных решений *Y*1 и *Y*3.**

#### 19.3.5. Определение единственного решения

Определение единственного решения – заключительный этап процедуры выбора. Для решения задачи нужна дополнительная информация. Если такой информации нет, то решение можно выбрать из области эффективных решений волевым порядком. Волевое решение будет близко к оптимальному.

Дополнительная информация может быть подготовлена группой экспертов, которые могут установить вес *ωj* для каждого выбранного критерия. Вес критерия назначают в пределах 0…1 (1 – существенная значимость критерия; 0,5 умеренная значимость; 0 – несущественная значимость). Для оптимального решения

, (40)

где *Кs* – значения рангов для каждого решения.

Для предыдущего примера результаты выбора рационального решения сведены в табл. 22.

Таблица 22

**Выбор рационального решения**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Решения | Критерии развития |  |
| *А*1 | *А*2 | *А*3 | *А*4 | *А*5 | *А*6 |
| *Y*1 | 1/1 | 2/2 | 1/0,5 | 1/0,4 | 1/0,2 | 1/0,1 | 3,2 |
| *Y*3 | 3/3 | 1/1 | 3/1,5 | 3/1,2 | 3/0,6 | 3/0,3 | 7,6 |
| Вес *ωj* | 1 | 1 | 0,5 | 0,4 | 0,2 | 0,1 |  |
| Примечание. В числителе – значения рангов; в знаменателе произведение значения ранга на вес. |

Оптимальным будет решение *Y*1.

Таким образом, рациональным будет то решение, для которого указанная сумма будет минимальна.

#### 19.3.6. Пример выбора оптимального решения

Дано: на начальной стадии проектирования лесопильной установки для распиловки бревен на пиломатериалы было предложено три варианта установки: лесопильная рама Р, ленточнопильный станок Л, круглопильный станок Ц.

Основные требования, предъявляемые к лесопильной установке:

* минимум энергопотребления;
* максимальная производительность;
* максимальный выход пиломатериалов за счет сокращения доли опилок;
* минимальная металлоемкость;
* надежность, безотказность в работе.

Требуется выбрать для дальнейшего проектирования лучшую лесопильную установку.

**Решение.** За критерии оценки вариантов приняты указанные требования:

К1 – критерий энергопотребления;

К2 – критерий производительности;

К3 – критерий выхода пиломатериалов;

К4 – критерий надежности;

К5 – критерий металлоемкости.

**Определение множества эффективных решений.** Для этого составим табл. 23 и проведем ранжирование вариантов по каждому критерию.

Таблица 23

**Ранжирование вариантов по критериям**

|  |  |
| --- | --- |
| Варианты | Критерии |
| К1 | К2 | К3 | К4 | К5 |
| Р | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 |
| Л | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 |
| Ц | 3 | 1 | 3 | 3 | 2 |

**Критерий К1 –** энергопотребление. Энергопотребление будет меньше для того станка, у которого пила будет тоньше. По энергопотреблению предпочтение отдается ленточнопильному станку и ему присваивается ранг 1. Лесопильная рама менее предпочтительна, а круглопильный станок – самый энергоемкий.

**Критерий К2 –** производительность. Анализ производительности сделан по известным серийно выпускаемым станкам моделей Ц8Д8, 2Р50-3, ЛБЛ-150. Максимальная скорость подачи Vsm приведена к одной пиле:

для круглопильного станка Ц8Д8 – ранг R = 1;

 Vsm = VsZ/1000 = 60 ⋅ 8 = 480 м/мин;

для лесопильной рамы 2Р50-3 – ранг R = 2;

 Vsm = S2xnZ/1000 = 75 ⋅ 360 ⋅ 10/1000 = 270 м /мин;

для ленточнопильного станка ЛБЛ-150 – ранг R = 3; Vsm = 90 м/мин.

**Критерий К3 –** выход пиломатериалов. Предпочтение вариантов связано с толщиной пилы станка. Чем тоньше пила, тем меньше образуется опилок и тем больше выход пиломатериалов.

**Критерий К4 –** надежность, безотказность в работе. О надежности работы станка будем судить по безотказной работе пилы (возможные отказы – обрыв полотна пилы, потеря плоского напряженного состояния).

**Критерий К5 –** металлоемкость. Считаем, что самым легким станком будет ленточнопильный, ему присвоим ранг 1.

Сравнение вариантов ведем попарно по принципу Парето. Согласно принципу Парето первый вариант решения предпочтительнее второго, если ранги первого решения по всем критериям не хуже соответствующих рангов второго решения.

Попарное сравнение вариантов показало, что эквивалентных и заведомо плохих вариантов станков нет. Все варианты можно отнести к эффективным решениям.

 **Поиск единичного, наилучшего решения.** Для выбора наилучшего варианта необходимо дополнительно знать весовой коэффициент Кs для каждого критерия. Значения коэффициентов находятся экспертной комиссией на основании личных предпочтений каждого из экспертов. Оптимальное решение находится минимизацией суммы эффективных вариантов (табл. 24):

.

Таблица 24

**Оптимизация вариантов**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Варианты | Критерии |  |
| К1 | К2 | К3 | К4 | К5 |
| Р | 2/1 | 2/0,4 | 2/1 | 1/0,4 | 3/0,9 | 3,7 |
| Л | 1/0,5 | 3/0,6 | 1/0,5 | 2/0,8 | 1/0,3 | 2,7 |
| Ц | 3/1,5 | 1/0,2 | 3/1,5 | 3/1,2 | 2/0,6 | 5,0 |
| Кs | 0,5 | 0,2 | 0,5 | 0,4 | 0,3 |  |

Лучший вариант – ленточнопильный станок.

### Контрольные вопросы

1. При каких условиях возможно решение задачи оптимизации?
2. Поясните содержание концепции принятия решений при оптимизации.
3. Что такое ранжирование? Какова процедура его выполнения?
4. Приведите пример ранжирования.
5. Как осуществляется оценка вариантов по принципу Парето?
6. Как найти наилучший вариант решения задачи?

## 20. Технико-экономическое обоснование проектного решения

*Любая приближенная оценка разрабатываемого технического решения лучше, чем отсутствие оценки*

(Из книги Евланова Л.Г. "Теория и практика применения решений")

1. **Каждое техническое решение, закладываемое в разрабатываемый объект, влечет за собой определенные затраты в изготовлении, эксплуатации и последующей утилизации и поэтому должно быть экономически оправданным.**

Уже в начальной стадии проектирования разработчик имеет дело с вариантами решения задачи. Хорошо бы дать качественную и количественную оценки каждого из этих вариантов. Однако в начале проектирования конструктор не располагает достаточными данными для количественной оценки критериев. Значения критериев можно сосчитать только лишь при детальной проработке интересующего варианта конструкции, на что будет потрачено время и материальные ресурсы. В связи с этим выбор варианта производят по методике, изложенной выше.

Ниже разобран пример решения задачи.

### 20.1. Задача

1. Пусть темой проекта будет разработка линии для сращивания короткомерных пиломатериалов по длине. Информационные исследования уже выполнены и представлены на рис. 12 и 14. Опираясь на них, надо выбрать прототип с целью его улучшения. Это ответственная задача, так как прототип формирует сущность проектного решения. Если прототип будет выбран неудачно, то и проектное решение будет слабым.

Улучшая прототип, надо подготовить множество альтернативных вариантов решения задачи с тем, чтобы из них выбрать наилучшее решение. Алгоритм разработки проектного решения можно представить схемой (рис.36) [14, 43].

**1. Описание проблемной ситуации**. В деревообрабатывающем цехе образуются кусковые отходы сухих пиломатериалов длиной 100 ... 300 мм. Объем отходов – 2 м3 в смену. Сейчас эти отходы не находят применения и сжигаются. Цех несет убытки.

Для разрешения проблемной ситуации кусковые отходы древесины можно склеивать по длине на зубчатые шипы. Так, по крайней мере, делается в мировой практике.

Этому мешает отсутствие необходимого оборудования. Существующие линии, например фирмы Dimter, позволяют склеивать пиломатериалы длиной только 220...1000 мм или 300...2000 мм. Эти линии имеют большую производительность и значительные габариты (ширина их 5 м, а длина 15 м). Линии не пригодны для работы в небольших цехах – они занимают большую производственную площадь, и их невозможно загрузить по производительности.

Решение проблемы позволит дополнительно получить около 1,7 м3 пиломатериалов в смену по одному цеху.

1. **2. Описание** **функции технического объекта**. Обобщенное описание: линия должна обеспечить нарезание зубчатых шипов на обоих торцах заготовок немерной длины, нанесение клея на шипы, сборку и продольное прессование склеиваемых заготовок. Получаемая на выходе бесконечная лента пиломатериала должна раскраиваться на заданный размер по длине.

Количественное описание: размеры склеиваемых заготовок, мм: длина 100...300, ширина 50...150, толщина 25...50, производительность – 2 м3 кусковых отходов в смену.

1. **3. Выбор прототипа и составление списка требований к нему**. На основании имеющейся обобщенной информации (см. рис.12 и 14) можно сделать вывод, что наиболее перспективными являются те линии сращивания пиломатериалов по длине, в которых заготовки складываются в пакет формы "брус" для нарезания зубчатых шипов и нанесения клея, а затем поштучно подаются на сборку и продольное сжатие в продольный пресс.
2. Известна линия сращивания пиломатериалов по длине, включающая ленточный реверсивный конвейер 1, смонтированный на вертикальной оси, с возможностью поворачиваться к упору 2 и пилофрезерному узлу 3 с клеенаносящим устройством 4, смонтированными на суппорте 5 (рис. 37, *а*). За ленточным конвейером расположен механизм поштучной выдачи 6 заготовок, продольный пресс 7 с подающим конвейером и тормозной колодкой 8, а также торцовочный станок 9.

Набор известных аналогов, их анализ

1. Вар.1
2. Вар.2
3. Вар.3
4. Вар.4

Выбор одного или нескольких прототипов и их

1. обработка
2. Деление сложной задачи на простые, решение простых задач
3. Вар.1
4. Вар.2
5. Вар.3
6. Вар.4
7. Анализ альтернативных вариантов решений
8. простых задач
9. Синтез рабочего ряда вариантов проектных
10. решений
11. Вар.1
12. Вар.2
13. Вар.8
14. Вар.20
15. Анализ альтернативных вариантов и выбор
16. проектного решения

Рис. 36. Схема процесса поиска проектного решения

Рис. 37. Линия сращивания пиломатериалов по длине (прототип):

*а* – линия;  *б* – схема соединения заготовок

1. Список требований. Улучшенная линия должна обеспечить:
2. – обработку кусковых отходов древесины размерами, мм: длиной 100...300; шириной 50...150 и толщиной 25...50;
3. – образование на линии минимума новых древесных отходов;
4. – снижение энергоемкости пресса;
5. – уменьшение габаритов;
6. – производительность линии около 2 м3 в смену.

 **4.** **Список недостатков прототипа**. Прототип имеет следующие недостатки:

а) на линии невозможно обработать заготовки длиной 100 мм, так как их трудно сбазировать и зафиксировать на конвейере, а затем передать пакет на следующий конвейер. Это объясняется тем, что радиус барабанов, на которые надета лента конвейера, соизмерим с длиной заготовки;

б) шипы на переднем и заднем торцах заготовок нарезаются зеркально, в результате чего после склеивания боковая кромка ленты получается ступенчатой, уходящей в отход при последующей обработке (рис. 37, б);

в) линия имеет большие габаритные размеры и занимает большую производственную площадь;

г) пресс слишком энергоемок.

Указанные недостатки можно ранжировать (расставить по важности) следующим образом: а, б, г, в.

**5. Формулировка задачи**.

**Дано**: Линия для склеивания пиломатериалов по длине на зубчатые шипы включает шипорезный станок с поворотным на вертикальной оси конвейером, упором и механизмом резания на суппорте и продольный пресс с конвейером и тормозной колодкой.

Список требований (изложить кратко): длина заготовок 100...300 мм, количество новых отходов, энергоемкость и габариты линии свести к минимуму, производительность – 2 м3 в смену.

Список недостатков прототипа (изложить кратко): невозможно обработать короткие заготовки, образуется много новых отходов, пресс энергоемок, большие габариты линии.

Требуется изменить прототип и устранить его недостатки при заданных ограничениях.

### 20.2.Преобразование задачи

При решении сложную задачу делят на несколько простых. Количество простых задач равно количеству недостатков. Для каждой простой задачи формулируется техническое противоречие, и подбираются приемы решения.

**Недостаток 1** – невозможно на ленточном конвейере сбазировать и закрепить пакет из коротких заготовок для механической обработки. Обычный способ устранения недостатка (СУ) – уменьшить радиус барабана конвейера. Для идеального случая радиус барабана должен равняться нулю. Нежелательный эффект (НЭ–2), который при этом возникнет – при радиусе барабана, равном нулю, лента конвейера не сможет перемещаться. Технические противоречия: ТП–1 – если радиус барабана конвейера уменьшить до нуля, то короткие заготовки хорошо базируются и фиксируются на конвейере, но лента конвейера не может двигаться (конвейер становится неработоспособным); ТП–2 – если радиус барабана не уменьшать, то конвейер работоспособен, но на нем невозможно сбазировать и зафиксировать короткие заготовки для нарезания шипов. При базировании заготовки с помощью ленты конвейера должны упереться торцами в упор.

Подберем эвристические приемы (см. приложение 1).

ЭП1 – 1.4. Перейти от криволинейных частей к прямолинейным.

ЭП2 – 3.1. Изменить традиционную ориентацию объекта в пространстве: горизонтальное положение на вертикальное.

ЭП3 – 7.12. Выделить в объекте самый нужный элемент и усилить его или улучшить условия его работы.

Использовать стандарты 1.1.1, 1.1.3 (см. п. 7.2).

**Недостаток 2** – из-за зеркального нарезания шипов на заготовках боковые кромки склеенной ленты получаются ступенчатыми, из-за чего образуются новые отходы.

СУ – при перебазировании пакета для нарезания шипов с другой стороны заготовок пакет надо сдвинуть вбок на половину шага шипов. НЭ–2 – усложняется кинематика устройства базирования пакета. Технические противоречия: ТП–1 – если пакет заготовок сдвинуть вбок на полшага шипов, то боковая кромка склеенной ленты будет плоской, и количество отходов при последующей обработке будет сведено к минимуму, но усложняется кинематика устройства для базирования; ТП–2 – если пакет вбок не сдвигать, то кинематика механизма базирования не усложняется, но объем отходов при последующей обработке увеличивается.

Для решения воспользуемся стандартом 1.1.3.

ЭП1 – 5.11. Разделить объект на части, способные перемещаться относительно друг друга.

**Недостаток 3** – пресс слишком энергоемок.

СУ – исследования показывают, что усилие прессования зубчатых шипов можно снизить, если статическое усилие сжатия заменить усилием ударного или вибрационного действия. НЭ–2 – существенно усложняется конструкция тормозного устройства. Технические противоречия: ТП–1 – если тормозное усилие пресса выполнить ударным, то снижается усилие прессования, но усложняется конструкция тормозного устройства; ТП–2 – если тормозное усилие сохранить обычным, то конструкция тормоза не усложняется, но усилие сжатия шипов велико.

ЭП1 – 5.7. Разделить объект на две части – тяжелую и легкую, передвигать только легкую часть.

ЭП2 – 5.14. Компенсировать действие массы объекта соединением его с объектом, обладающим подъемной силой.

Использовать стандарты 1.1.3, 1.1.7.

**Недостаток 4** – большие габаритные размеры.

СУ – заготовки с нарезанными шипами подавать в пресс непосредственно из пакета с позиции нарезания шипов. НЭ–2 – уменьшается производительность. Технические противоречия : ТП–1– если заготовки подавать в пресс из пакета с позиции нарезания шипов, то уменьшаются габариты линии, но убывает ее производительность; ТП–2 – если при загрузке пресса заготовки подавать не из пакета, то производительность линии не уменьшается, но увеличиваются ее габаритные размеры.

Поскольку по условию задачи производительность линии требуется снизить, то можно считать, что данное техническое противоречие не обостренное. Недостаток 4 можно устранить обычным способом: подавать заготовки в пресс непосредственно из пакета.

### 20.3. Поиск новых идей решения

На данном этапе необходимо найти новые идеи решения поочередно всех задач.

**Устранение недостатка 1**. С целью базирования и фиксации пакета заготовок для нарезания шипов можно применить:

1) стол с направляющей линейкой и прижимом, пакет прижимать к упору и разворачивать вручную;

2) то же, но вместо стола использовать трубу прямоугольного поперечного сечения;

3) из ЭП2– 3.1 и стандарта 1.1.1 следует, что нужно использовать для базирования и перемещения пакета имеющееся даровое поле – гравитационное. Это можно сделать, если горизонтальное (традиционное) положение пакета при базировании и нарезании шипов заменить на вертикальное положение.

Используя стандарт 1.1.3, решаем, что стол или трубу следует закрепить на горизонтальном валу с целью разворота стола на 180° с помощью, например, пневмоцилиндра.

**Устранение недостатка 2**. Для смещения пакета заготовок вбок на половину шага зубчатых шипов можно предложить следующие варианты:

1) направляющую линейку стола смещать вбок между регулируемыми упорами пневмоцилиндром;

2) по стандарту 1.1.3, предлагается следующий вариант: если вал стола (трубы) снабдить парой винт-гайка, то при повороте вала на 180° стол сместится вбок на половину шага резьбы винта.

**Устранение недостатка 3**. Для снижения энергоемкости пресса можно применить ударную или вибрационную тормозную нагрузку. Предлагаются следующие варианты:

1) применить маховик с приводом, вращающийся навстречу подаче заготовок в пресс и кратковременно соприкасающийся с заготовками;

2) согласно стандарту 1.1.7 маховик должен соприкасаться с легкой промежуточной деталью, взаимодействующей с заготовками и выполненной из износостойкого материала.

**Устранение недостатка 4**: подавать заготовки в пресс непосредственно из пакета, расположенного горизонтально.

Итак, по задаче создано 8 вариантов разрешения технических противоречий. Проведем их анализ.

### 20.4. Анализ полученных вариантов идей

Анализ вариантов проводится с целью определения их совместимости в разрабатываемой технической системе и возможности нежелательных влияний на другие части системы (табл. 25).

Таблица 25

**Анализ последствий использования новых технических решений**

|  |  |
| --- | --- |
| Отрицательные последствия,влияющие на другие подсистемы | Положительные последствия, влияющие на другие подсистемы |
| 1. Вариант 1. Стол с направляющей линейкой и прижимом:
 |
|  Ручной труд |  Можно обрабатывать детали |
| 1. Вариант 2. Стол в виде трубы прямоугольного сечения:
 |
|  Ручной труд, неудобно обслуживать |  Можно обработать короткие детали |
| 1. Вариант 3. Стол (труба) на поворотном валу:
 |
|  Ручная загрузка пакета | Позволяет базировать, фиксировать и перевертывать пакет |
| Вариант 4. Направляющая линейка, смещаемая вбок: |
|  Усложняет конструкцию | Позволяет правильно базировать |
| Вариант 5. Вал снабдить парой винт-гайка: |
|  Нет |  Позволяет правильно базировать |
| Вариант 6. Маховик с приводом в контакте с заготовками: |
|  Подгорание древесины | Уплотняет шиповое соединение |
| Вариант 7. Маховик в контакте с промежуточной деталью, контактирующей с заготовками в прессе: |
|  Нет | Уплотняет шиповое соединение |
| Вариант 8. Стол (трубу) фиксировать горизонтально для подачи заготовок в пресс: |
|  Нет |  Упрощает загрузку пресса |

### 20.5. Синтез работоспособных технических решений

 Из вариантов идей, анализ которых приведен в табл. 25, попытаемся составить несколько вариантов проектных решений задачи. Цель этого этапа – составить как можно больше работоспособных вариантов системы.

При разработке вариантов проектных решений широко пользуются методом инверсии. В устройствах иногда бывает выгодно поменять узлы (детали) ролями, например, перемещаемый узел сделать неподвижным, ведущую деталь сделать ведомой. Целесообразно бывает инверсировать формы деталей, например, наружный конус заменить внутренним, выпуклую поверхность – вогнутой [48]. Каждый раз конструкция при этом приобретает новые свойства.

**Вариант 1**. Линия включает суппорт 1 с фрезой 2, столом 3 и устройством для нанесения клея (рис. 38). Над столом смонтирован вал 4, соединенный с кассетой 5 для заготовок в виде трубы прямоугольного поперечного сечения. Пресс содержит подающие вальцы 6, тормозную колодку 7, взаимодействующую с заготовкой и расположенную между упорами, ограничивающими ее ход. Маховик 8 с приводом может кратковременно взаимодействовать с колодкой. Вал 4 имеет винтовую нарезку, взаимодействующую с гайкой. За прессом смонтировано пильное устройство 9.

Рис. 38. Вариант 1 проектного решения линии

При работе линии пачку заготовок немерной длины загружают в кассету. Заготовки падают на стол, и торцы их выравниваются. После этого заготовки зажимают прижимом. Включают суппорт, шипы нарезаются и смазываются клеем. Кассету с помощью вала поворачивают на 180о над столом, при этом винтовая нарезка вала смещает кассету вбок. Нарезают шипы на противоположных торцах заготовок. Кассету ставят в горизонтальное положение, и заготовки поштучно подают в пресс. Маховик ударной нагрузкой упрессовывает шипы. Образуется непрерывная склеенная лента, которую распиливают по длине пильным устройством 9.

**Вариант 2**. Решение отличается от варианта 1 тем, что заготовки вручную базируют по направляющей линейке и крепят на столе каретки, которую вручную перемещают относительно фрезы и клеенаносящих дисков. Стол с помощью эксцентриков может подниматься на половину шага шипов. После нарезания шипов заготовки вручную подают в пресс.

**Вариант 3**. Решение отличается от варианта 2 тем, что в прессе маховик кратковременно взаимодействует непосредственно с заготовкой.

**Вариант 4**. Решение отличается от варианта 2 тем, что стол каретки выполнен ступенчатым, причем одна ступенька выше другой на половину шага шипов.

**Вариант 5**. Решение отличается от варианта 4 тем, что стол выполнен плоским, но для поднятия пакета заготовок на половину шага шипов под пакет кладут прокладку.

Предложенные варианты представляют собою область допустимых решений.

### 20.6. Оценка вариантов и выбор решения

 На этом этапе сначала уточняется область эффективных решений, а затем выбирается окончательный вариант решения задачи, рекомендуемый для дальнейшей конструкторской проработки.

Будем считать, что достижение удачного результата обеспечивают следующие критерии:

*А*1 – увеличение надежности работы линии;

*А*2 – снижение энергопотребления;

*А*3 –повышение уровня автоматизации;

*А*4 – точность и стабильность базирования;

*А*5 – простота и удобство наладки станка;

*А*6 – простота системы управления.

Варианты *Yi* и критерии *Аj* занесем в табл. 26 и произведем ранжирование вариантов.

Таблица 26

**Ранжирование вариантов решений**

|  |  |
| --- | --- |
| Решения | Критерии |
| *А*1 | *А*2 | *А*3 | *А*4 | *А*5 | *А*6 |
| *Y*1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| *Y*2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| *Y*3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| *Y*4 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| *Y*5 | 4 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 |

Сравнивая варианты попарно в соответствии с принципом Парето, отметим, что вариант *Y*2 предпочтительнее вариантов *Y*3, *Y*4, *Y*5, так как каждый его ранг не хуже соответствующих рангов указанных вариантов. Вариант *Y*1 имеет ранги более высокие, чем вариант *Y*2, за исключением рангов по критерию *А*6. Отсюда следует, что в область эффективных решений входят только варианты *Y*1, *Y*2.

Для выбора наилучшего решения нужны дополнительные сведения по весу критериев. Если такие сведения получить трудно, то решение можно принять волевым путем. Из таблицы видно, что более предпочтительно выглядит вариант *Y*1. Его и принимаем за наилучшее решение.

Если все-таки вес критериев можно установить, то сведения об эффективных вариантах и весе критериев надо занести в табл. 27

Таблица 27

**Выбор наилучшего решения**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Решения | Критерии |  |
| *А*1 | *А*2 | *А*3 | *А*4 | *А*5 | *А*6 |
| *Y*1 | 1/0,3 | 1/1 | 1/0,1 | 1/1 | 1/0,8 | 2/1 | 4,2 |
| *Y*2 | 2/0,6 | 1/1 | 2/0,2 | 2/2 | 1/0,8 | 1/0,5 | 5,1 |
| Вес | 0,3 | 1 | 0,1 | 1 | 0,8 | 0,5 |  |

Наилучшее решение соответствует варианту *Y*1, так как для него значение меньше, чем для второго варианта.

Итак, вариант проектного решения по теме выбран. Это вариант 1. Далее следует провести подробное описание предлагаемого варианта со ссылками на позиции схемы. На этом технико-экономическое обоснование проектного решения заканчивается.

## Заключение

Изучение предлагаемой книги позволяет читателю приобрести новые знания, умения и навыки в области научных исследований и конструирования. Эти знания могут быть использованы при изучении других учебных дисциплин, а умения и навыки будут закреплены при выполнении студенческих исследовательских работ, а также курсовых и дипломных проектов.

Учебная дисциплина “Научно-техническое творчество” изучает две первые подсистемы единой системы “наука – техника – производство”. Во введении к книге показано, что все части указанной системы тесно взаимосвязаны друг с другом и опираются на потребность.

На основании изложенного в книге материала можно сделать следующие выводы.

1. Учебная дисциплина “Научно-техническое творчество” опирается на научную базу, которая складывалась годами. В книге неоднократно делаются ссылки на историю развития науки и техники. Исторически сложился язык науки, основные понятия и определения, методология.

Изучив и освоив общие сведения о научно-техническом творчестве, обучающийся сможет мыслить и обсуждать различные вопросы на языке науки.

2. Любое новое знание об объекте техники опирается на старое знание. Для получения нового знания исключительную роль приобретает информация. Потоки информации в современном мире настолько велики, что использовать их в полном объеме становится невозможно.

Для того, чтобы облегчить доступ к информации следует на стадии ее подготовки и поиска применять трудосберегающие технологии. Подобранная и обработанная информация должна использоваться многократно различными специалистами. Для этого информация должна быть систематизирована и представлена в виде структурных матриц, обобщенных графов и фактографических графиков.

Основное требование к информации – меньше текста и больше матриц, графов и графиков.

3. Большинство научных, технических, технологических, экологических и других проблем и задач невозможно решить без проведения измерений. Так как любые результаты измерений являются случайными величинами (из-за невозможности исключения ошибок измерения), то подход к ним должен основываться на методах математической статистики и теории вероятностей. Случайные величины подчиняются законам распределения Гаусса, Пирсона, Стьюдента, Фишера и др.

Для оценки результатов измерения надо иметь представление об ошибках измерения: абсолютной и относительной, случайной и систематической и др. Надо освоить законы накопления ошибок.

Спецификой измерений в химии и химической технологии (и особенно при выполнении лабораторных работ) можно считать малое число, а иногда и отсутствие параллельных (повторных, кратных) измерений, что затрудняет оценку погрешностей, проведение анализа и выбор формы представления конечных результатов измерений.

4. Научное исследование часто выполняется путем проведения эксперимента. Эксперимент ставится на модели (экспериментальной установке) по определенному плану. Часто используют четыре типа планов: для применения корреляционного анализа, дисперсионного анализа, регрессионного анализа и для решения оптимизационных задач. Освоив указанные методики, читатель будет уверенно чувствовать себя при проведении и обсуждении научно-исследовательских работ

5. Результаты прикладных научных исследований используются при разработке технических объектов в качестве новых параметров, новых режимов работы устройства, новых компонентов вещества, новых принципов действия устройства и др.

6. Движущей силой процесса совершенствования технического объекта является обостренное техническое противоречие. Технических объектов без противоречий не бывает. При создании нового технического объекта устраняется обостренное противоречие, но одновременно с этим зарождается другое противоречие, которое пока не обостренное. Со временем это противоречие становится обостренным, тормозит желаемое функционирование объекта и его надо будет устранить.

7. Для разработки новых технических объектов разработаны различные методики. Известные методы технического творчества можно объединить по принципу их схожести в несколько групп: **мозговой атаки**, **морфологического анализа,** “**контрольных вопросов**”, **методы эвристических приемов**. Самая сильная группа методов относится к **алгоритмам решения изобретательских задач**, например, АРИЗ-85-В, а также к стандартам на решение изобретательских задач, разработанным Г.С. Альтшуллером.

Таким образом, для решения технических задач имеется достаточное количество методов. При этом первые четыре метода активизируют творческий процесс, а последние два помогают генерировать новые идеи. Для успешной работы, особенно молодым специалистам, достаточно освоить 3…5 методов.

8. В процессе разработки нового технического объекта необходимо подготовить несколько вариантов решения задачи, а затем выбрать несколько (до 15) критериев, с помощью которых будет выбрано оптимальное решение.

Работая с книгой самостоятельно, надо последовательно изучать излагаемый материал. Самоконтроль можно провести с помощью контрольных вопросов. Только после того, как пройденный материал будет надежно усвоен, можно переходить к изучению следующего материала. Для запоминания терминов, определений можно пользоваться глоссарием (приложение 4).