

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»
Высшая школа технологии и энергетики
Кафедра материаловедения и технологии машиностроения

МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
РЕШЕНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ
Выполнение курсовой работы

Методические указания для студентов очной формы обучения
по направлению подготовки
15.04.02 — Технологические машины и оборудование

Составитель И. Д. Соколова

Санкт-Петербург
2022

Утверждено
на заседании кафедры материаловедения
и технологии машиностроения
01.06.2022 г., протокол № 5

Рецензент А. А. Таразанов

Методические указания соответствуют программе и учебному плану дисциплины «Методы принятия производственно-технологических решений в машиностроении» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 15.04.02 – Технологические машины и оборудование. Методические указания предназначены для магистров очной формы обучения для выполнения курсовой работы.

Утверждены Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД
в качестве методических указаний

Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016,
по паролю. — Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 19.07.2022 г. Изд. № 5007/22
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
198095, СПб, ул. Ивана Черных, 4.

©ВШТЭ СПбГУПТД, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	5
2. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ	5
3. СОДЕРЖАНИЕ ДОКУМЕНТАЦИИ И РАЗДЕЛОВ РАСЧЕТНО- ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ.....	6
3.1. Структура курсовой работы	6
3.2. Содержание введения	7
3.3. Описание характерных особенностей исследуемых объектов.....	10
3.4. Построение структурной схемы исследуемого объекта	10
3.5. Построение функциональной схемы объекта	10
3.6. Обоснование и выбор критериев сравнения.....	12
3.7. Характеристика объектов сравнения	14
3.8. Определение комплексной оценки для каждого объекта сравнения с использованием экспертных методов	14
3.9. Выделение множества эффективных вариантов сравниваемых объектов.....	17
3.10. Выбор предпочтительного варианта объекта, соответствующего конкретным условиям выбора	19
4. ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА МОДЕЛИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО СТАНКА.....	19
4.1. Анализ исходных данных и формулирование ограничительных условий задачи.....	20
4.2. Выявление множества потенциально приемлемых моделей станка	21
4.3. Выбор предпочтительной модели станка	24
4.3.1. Нормализация параметров станка	25
4.3.2. Многокритериальное описание функции предпочтительности станка	28
4.3.3. Выбор оптимальной модели станка	30
5. МЕТОД ПОЭЛЕМЕНТНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА.....	32
6. МЕТОДЫ ТЕОРИИ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ	36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	41
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	42
ПРИЛОЖЕНИЕ	44

ВВЕДЕНИЕ

Курсовая работа по дисциплине «Методы принятия производственно-технологических решений в машиностроении» выполняется в ходе учебного процесса на заключительном этапе изучения дисциплины. Она является одной из профилирующих дисциплин в учебном плане подготовки магистра. Дисциплина завершает цикл машиностроительных дисциплин, суммирующих знания, полученные студентами на предшествующих стадиях обучения. Знание основ проектирования машин способствует более глубокому пониманию особенностей конструкций оборудования ЦБП и является базой для организации эффективной эксплуатации и ремонта оборудования.

Техническое творчество – процесс получения новых идей в области техники. Поиск идей новых приспособлений, механизмов, машин, сооружений, веществ, идей новых процессов, способов, технологий получения различной продукции относится к области технического творчества. Высшей ступенью творчества, на которой создаются технические новшества, обладающие мировой новизной, является изобретательство.

Техническое творчество и изобретательство, в том числе, должны быть одной из важнейших составляющих деятельности современного инженера. В основе слова «инженер» заключено латинское *ingeniare*, что означает «творить», «создавать», «внедрять». К нему близки по значению русские слова «изобретательный», «искусный», «хитроумный». Также и слово «механик» в первом своем значении применялось к искуснику, изобретателю, создателю машин, а «машина» – к ухищрению. Таким образом, специальность выпускника технического вуза – «инженер-механик» должна пониматься, прежде всего, как «изобретатель».

Принять решение о проектировании новой схемы машины, повысить ее производительность, упростить конструкцию узла или отдельной детали, сделать дешевле, надежнее, технологичнее, функциональнее, повысить срок службы технической системы, – такие задачи позволяют стимулировать у студентов интерес к техническому творчеству, глубже им понять сущность предметов, развивают их логическое и интуитивное мышление.

Курсовое проектирование систематизирует, углубляет и закрепляет знания, полученные студентом во время теоретических и практических занятий. Курсовое проектирование должно научить студента пользоваться справочной литературой, ГОСТами, таблицами, нормами времени и т. д., сочетать умения и навыки, полученные на практических занятиях, с теоретическими знаниями, а также подготовить студента к дипломному проектированию.

В методических указаниях приведены цели и задачи курсовой работы, освещены ее тематика, состав и объем, описана структура и содержание разделов пояснительной записки.

Предназначены для студентов всех форм обучения по направлению 15.04.02 «Технологические процессы и оборудование».

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа выполняется по теме «Принятие решения по совершенствованию объекта (конструкции изделия, механизма оборудования, технологической оснастки, технологического процесса, средств автоматизации и механизации, плана производственного участка или цеха)».

Целью данной курсовой работы является сформировать компетенции обучающегося по применению метода комплексной оценки, выбора предпочтительного варианта и прогнозирования развития технических объектов машиностроения.

Выполняя курсовую работу, студенты учатся:

- обоснованно выбирать параметры и критерии оценки технических объектов, используя функциональный анализ;
- производить сравнительную оценку технических объектов, используя экспертные процедуры;
- производить анализ и выявлять тенденции изменений данного вида изделий.

Необходимость в использовании этих навыков возникает в следующих ситуациях:

- аттестация различных видов изделий с целью определения их соответствия требованиям потребителей и достигнутому мировому уровню;
- определение целесообразности внедрения новой конструкторской разработки;
- формирование «портфеля заказов» на опытно-конструкторские разработки с учетом прогнозируемых тенденций изменения.

Кроме того, такой опыт необходим и во многих других ситуациях, связанных с определением направления научно-технического направления развития предприятий, технического обновления выпускаемой продукции.

2. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сравнительный анализ и выбор предпочтительного варианта по выбору студента и с согласия преподавателя могут проводиться для следующих объектов:

- машины, станки и оборудование машиностроения и других отраслей;
- технологические процессы машиностроения и других отраслей;
- технологическая оснастка;
- средства автоматизации и механизации;
- планы производственных участков и цехов;
- средства транспорта;
- изделия, выпускаемые машиностроительными предприятиями и ЦБП;
- средства вычислительной техники: компьютеры, принтеры, мониторы, элементы вычислительной техники;
- средства программного обеспечения;

- другие.

Требования к объекту исследования заключаются в следующем:

- студент должен достаточно ясно представлять сущность объекта, принцип его работы, структуру, функциональные связи элементов и т.д.;
- объект должен быть интересен студенту;
- число сравниваемых вариантов объектов должно быть не менее шести;
- число критериев оценки не должно быть менее шести, причем один из них – стоимость (цена) объекта;
- студент должен привлечь двух-трех экспертов, способных дать оценку сравниваемым вариантам объекта.

3. СОДЕРЖАНИЕ ДОКУМЕНТАЦИИ И РАЗДЕЛОВ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

3.1. Структура курсовой работы

Курсовая работа должна состоять из следующих элементов:

Титульный лист

Введение

1. Описание характерных особенностей класса исследуемых объектов, их назначение, области применения.

2. Построение структурной схемы исследуемого объекта.

3. Построение функциональной схемы объекта.

4. Обоснование и выбор критериев сравнения.

В этом разделе приводится построение дерева критериев оценки, производится выбор основных критериев сравнения и обоснование отсева второстепенных критериев.

5. Характеристика объектов сравнения с указанием значений критериев оценки, определение диапазона изменения критериев, значений критериев оценки в нормируемом виде.

6. Определение для каждого объекта сравнения комплексной оценки с использованием экспертных методов.

7. Выделение множества эффективных вариантов сравниваемых объектов.

8. Выбор (с обоснованием) предпочтительного варианта объекта, соответствующего конкретным условиям выбора.

9. Построение временного ряда изменения качества зарубежных аналогов и отечественных образцов за рассматриваемый период. Прогнозирование изменения этого показателя в перспективном периоде.

10. Выявление тенденций изменения отдельных критериев исследуемых объектов и прогнозирование их значений в конце прогнозируемого периода.

11. Выводы о соответствии исследуемого объекта мировому уровню или заключение о рациональности начала производства нового варианта исследуемого объекта.

Заключение

Библиографический список

Приложения

Пункты 9-11 выполняются по специальному указанию преподавателя.

3.2. Содержание введения

Введение включает в себя:

а) краткие сведения об объекте;

б) описание проблемы выбора в конкретной ситуации.

Пример 1. В настоящее время один из производителей аудиотехники России решил произвести совершенствование модели аудиоцентра, ориентируясь на известные зарубежные модели с хорошими характеристиками, и за доступную цену. Выпускающийся на предприятии ассортимент аудиотехники не удовлетворял руководство по своему качеству. Для того, чтобы техника с высоким качеством звучания стала доступной для многих потребителей, рассматривались аналоги стоимостью 5000-10000 руб., что соответствует цене самых дешевых моделей техники для профессионалов. Кроме стоимости, для привлечения покупателей планируется обеспечение в новой модели аудиоцентра необходимых параметров качества звучания, выходной мощности и дизайна.

С помощью системного анализа требуется оценить, насколько отличаются друг от друга аудиоцентры, и выбрать предпочтительный вариант в качестве аналога. Исходными данными служит информация о технических характеристиках аудиоцентров, полученная из рекламных проспектов различных фирм.

Пример 2. При проектировании технологических процессов механической обработки вопрос выбора металлорежущих станков занимает одну из ключевых позиций. При проектировании технологического процесса механической обработки быстроходного вала (рис. 1) возникла проблема выбора токарного станка.

Деталь характеризуется хорошей технологичностью: удобными для изготовления габаритными размерами и массой, простой формой, хорошей обрабатываемостью материала, умеренными требованиями к точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей (точность основных поверхностей по 6–8 качеству, шероховатость $R_a \leq 5$ мкм). Тип производства – среднесерийный.

Для изготовления детали задан технологический маршрут, включающий девять операций: отрезание заготовки (прокат); фрезерно-центровальная обработка торцов заготовки; токарная обработка всех наружных диаметральных и торцевых поверхностей вала; фрезерная обработка шпоночных пазов; термическая обработка; шлифование шеек вала и калибровка резьбы; моечная операция; выходной контроль детали. Основной и наиболее трудоемкой операцией технологического процесса является токарная обработка вала.

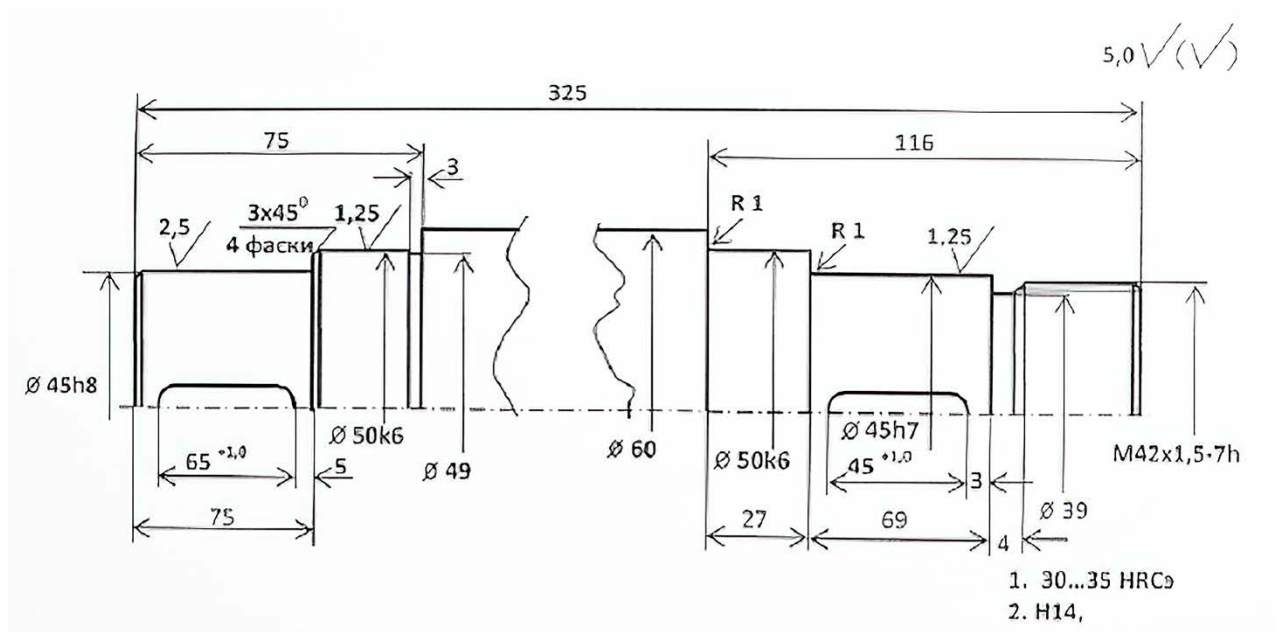


Рис. 1. Эскиз детали «Вал быстроходный»

Требуется выбрать предпочтительную модель токарного станка из числа станков, имеющих в станочном парке цеха изготовителя: 16A20Ф3, 16M30Ф3, ТПК125АФ4, РТ777Ф3.

Пример 3. Разработанная конструкция контактной пружины (рис. 2) является частью собранного узла-индуктора (рис. 3).

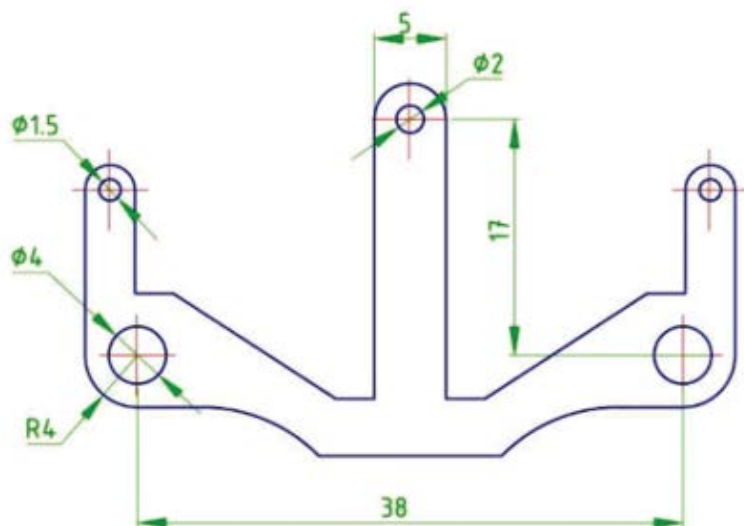


Рис. 2. Контактная пружина

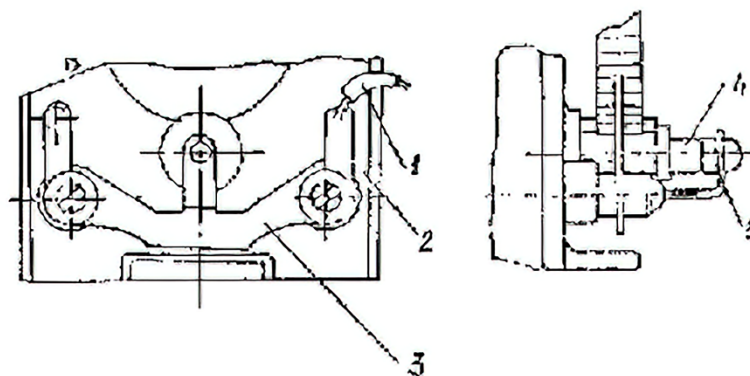


Рис. 3. Индуктор

Эластичная пружина 3 обеспечивает определенное давление на контакт и, благодаря этому, передачу электрического тока от контакта 4 на контакт 5, а затем к проводнику 1. Пружина, закрепляемая на стойке 2 узла, вырубается штампом из ленты металла. При этом для вырубки соседних деталей требуется разворот ленты (рис. 4). Отход металла составляет 59 %.

Эти два недостатка отрицательно сказываются на себестоимости контактной пружины: большой отход металла при ее вырубке штампом из ленты металла и неудачный раскрой (рис. 4) требуют либо переворота ленты при штамповке, что затрудняет автоматизацию штампования, либо изготовления более сложного штампа.

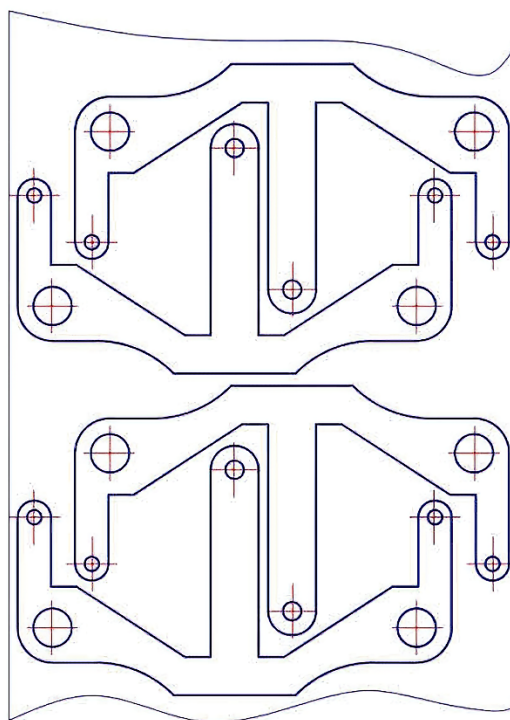


Рис. 4. Схема вырубки контактной пружины из ленты металла

3.3. Описание характерных особенностей исследуемых объектов

В данном разделе должна содержаться информация об объекте исследования:

- назначение объекта исследования;
- область или сфера применения;
- основные производители;
- основные отличия разных типов объекта;
- цель исследований (с какой целью привлекается аппарат системного анализа и принятия решений);
- какой результат предполагается получить в результате проведения исследований.

3.4. Построение структурной схемы исследуемого объекта

Структурная схема объекта – это упрощенное графическое изображение устройства, дающее общее представление о форме, расположении и числе наиболее важных его частей и их взаимных связях. Структурная схема дает общее представление о принципе действия устройства. На ней изображена совокупность звеньев объекта, связь между ними. Каждое звено является частью объекта и отвечает за какую-то элементарную функцию.

Звенья на схеме изображают в виде прямоугольников, которые соединяются линиями взаимосвязи. Каждое звено изделия на схеме должно иметь наименование или обозначение.

Наименование может быть в форме условного обозначения и описывать тип элемента. В структурной схеме допускается использование дополнительных графиков, диаграмм и таблиц, а также можно указывать параметры и характеристики. Структурная схема должна давать представление о взаимодействии звеньев изделия.

На рисунке 5 приведена структурная схема объекта – блок-схемы аудио-центра (Пример 1) в виде иерархической структуры.

3.5. Построение функциональной схемы объекта

Функциональная схема (рис. 6) – логико-графическое изображение состава и взаимосвязей функций изделия, получаемое путем их формулировки и установления иерархического порядка.

Функция – это назначение, цель, ради чего создается изделие или технический объект. Функция может быть определена для любого уровня системы, она не связана с каким-либо определенным техническим решением.

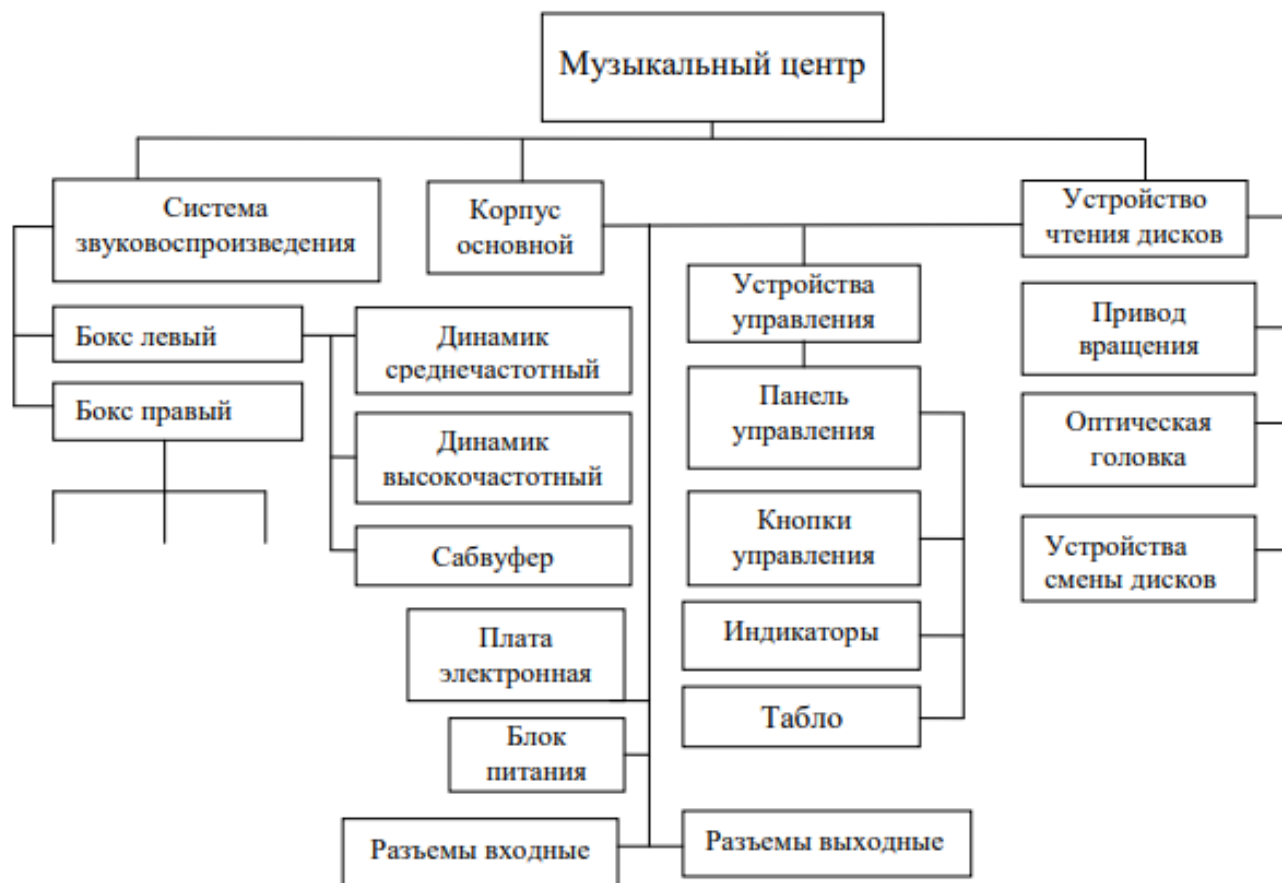


Рис. 5. Структурная схема аудио-центра

Процесс построения функциональной схемы включает в себя:

- формулировку функций;
- группировку функций;
- определение правильности распределения функций;
- графическое изображение функциональных связей в виде иерархической структуры.

При построении функциональной схемы учитывается, что формулировка функций должна:

- обязательно содержать глагол и существительное (например, «обеспечить качественное воспроизведение аудио записи»);
- быть абстрактной и не содержать понятий, отражающих соответствующее техническое решение.

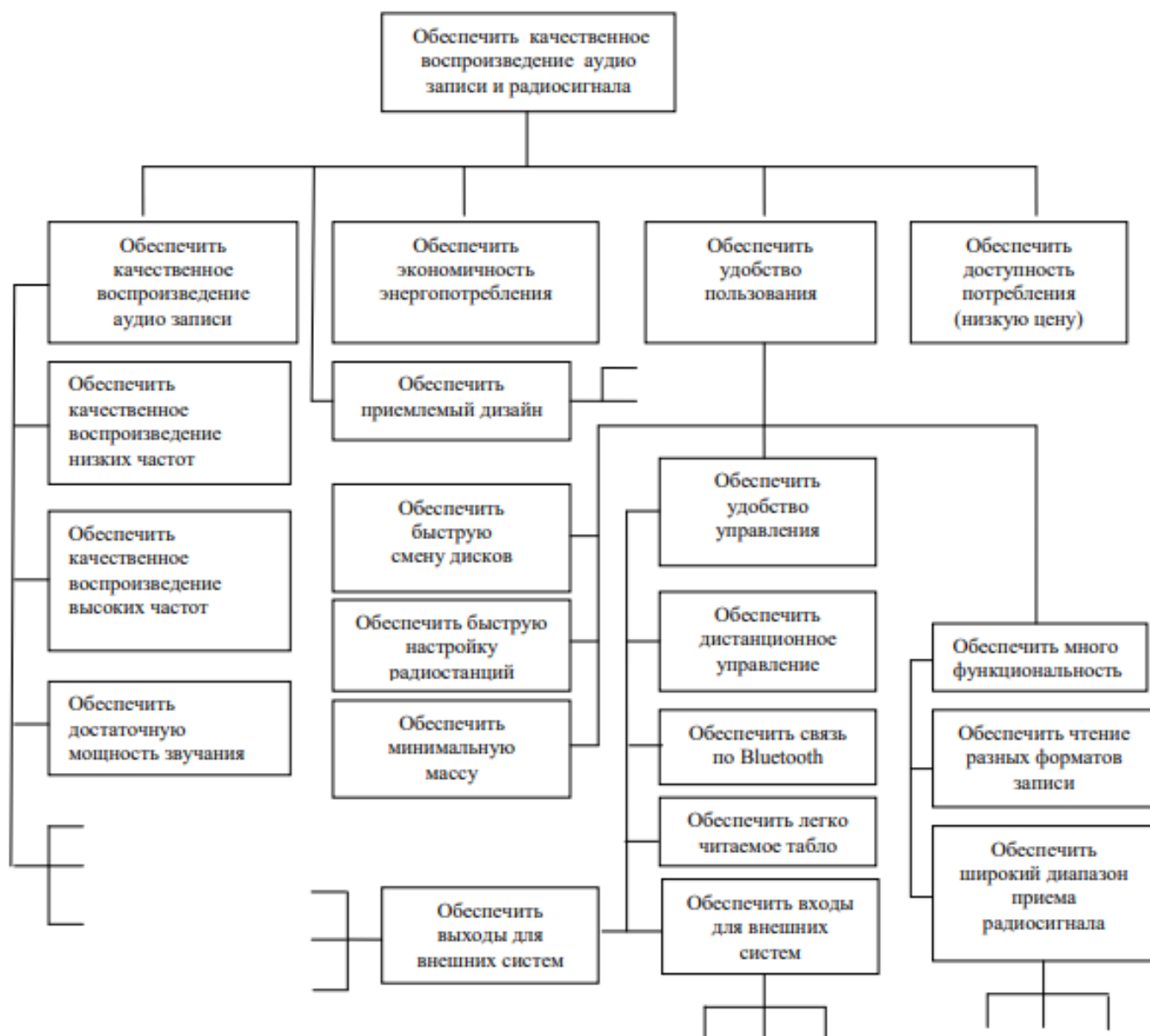


Рис. 6. Функциональная схема аудиоплеера (фрагмент)

3.6. Обоснование и выбор критериев сравнения

Функциональная схема является основой для построения иерархической структуры критериев оценки объекта – дерева критериев. Функции низшего порядка должны сопровождаться описанием требований к ним и количественной составляющей – критерием.

Требования к критериям сравнения:

1. Полнота. Набор критериев является полным, если он способен показать степень достижения общей цели (основной функции), т.е. на его основе лицо, принимающее решение, имеет полное представление о степени достижения общей цели.

2. Действенность. Критерии должны быть сформулированы в терминах, привычных для лиц, выступающих в качестве экспертов, и принимающих участие в решении проблемы.

3. Неизбыточность и минимальная размерность. Критерии должны быть определены так, чтобы не дублировался учет одних и тех же аспектов возможных последствий. Необходимо, чтобы набор критериев оставался настолько малым, насколько это возможно, так как с ростом числа критериев возрастают трудности выбора.

Дерево критериев оценки

Дерево критериев может быть построено на основе функциональной схемы (рис. 7).



Рис. 7. Дерево основных критериев оценки

При этом, например, для функции «Обеспечить качественное воспроизведение высоких/низких частот» название соответствующего критерия будет «Критерий оценки широты частотного диапазона воспроизведения, кГц».

Далее следует произвести отсев маловажных для сравнения критериев. Оставшиеся критерии, представляющие наибольшую важность для сравнения аудиоцентров, как правило, характеризуют качество объекта. Таким образом,

комплексная оценка объекта определяется комплексной оценкой его качества ($W_1^1 \dots W_1^7$) и оценкой его стоимости (W_1^8).

3.7. Характеристика объектов сравнения

В данном разделе требуется сформировать таблицу, где приводятся:

- а) номер варианта объекта;
- б) название каждого варианта (индекс модели, фирма-производитель и т.д.);
- в) значения критериев оценки в размерном и безразмерном (нормированном) виде. Значения критериев оценки в нормируемом виде определяются по зависимости:

$$\bar{y}_i = \frac{y_i - y_{i\text{худшее}}}{y_{i\text{лучшее}} - y_{i\text{худшее}}},$$

где y_i – значение i -го критерия в размерном виде для рассматриваемого варианта; $y_{i\text{худшее}}$ – худшее значение i -го критерия; $y_{i\text{лучшее}}$ – лучшее значение i -го критерия.

Операция нормирования делает равным диапазон изменения для всех критериев. При этом оценка «0» соответствует наихудшему значению критерия, а оценка «1» – наилучшему.

Нормированные значения критериев оценки можно принять за оценку степени достижения соответствующей цели, т.е. считать

$$W_j^1 = \bar{y}_j^1,$$

где $j = 1, \dots, 8$.

3.8. Определение комплексной оценки для каждого объекта сравнения с использованием экспертных методов

Для каждого объекта из группы сравнения определяются комплексные оценки качества с использованием экспертных методов построения оценочных шкал. При этом используется один из методов компенсации. Для его реализации прежде всего строятся графы связанности критериев.

Граф связанности критериев

Необходимо привлечь двух-трех экспертов. Согласно мнению каждого эксперта строится граф связанности. Эксперты должны выбрать (назначить) пары критериев, которые, по их мнению, могут взаимно компенсировать друг друга.

Предположим, что двумя экспертами были построены следующие графы связности критериев оценки (рис. 8).

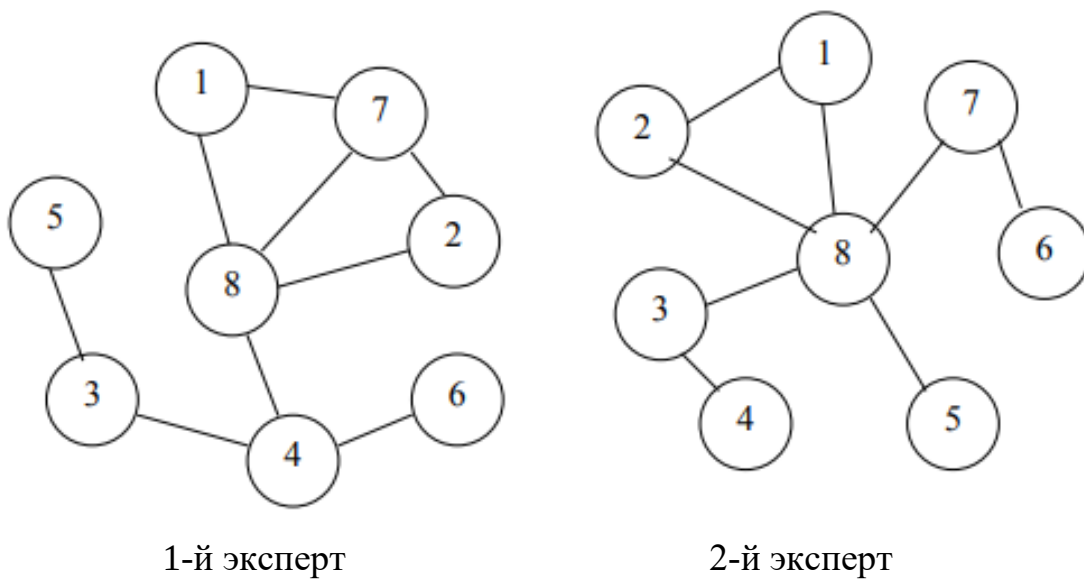


Рис. 8. Графы связности критериев оценки

На основе мнений экспертов строим обобщенный граф связности (рис. 9).

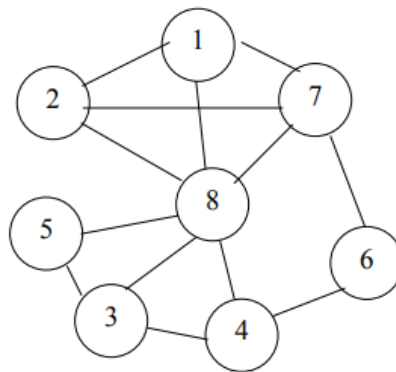


Рис. 9. Обобщенный граф связности

Определение соотношений эквивалентности

Для указанных в обобщенном графе связности пар критериев выбираем наиболее достоверные, по мнению экспертов, и для них определяем соотношения эквивалентности путем попарного сравнения критериев.

Предположим, что эксперт при существующих значениях критериев оценки (1 и 7) и для двух альтернативных вариантов объекта (1 и 2) $W_1^1(1)$, $W_7^1(1)$, $W_1^1(2)$, $W_7^1(2)$ определил вариант 1 как более предпочтительный по сравнению с вариантом 2.

$$\begin{array}{cc} \text{Вариант 1} & \text{Вариант 2} \\ \left[\begin{array}{l} W_1^1(1) = 0,5 \\ W_7^1(1) = 0,5 \end{array} \right] & > \left[\begin{array}{l} W_1^1(2) = 0,2 \\ W_7^1(2) = 0,7 \end{array} \right] \end{array}$$

Изменим значение одного из критериев одного из сравниваемых вариантов с тем, чтобы эксперт признал эти варианты равноценными. Для этого улучшим значение критерия $W_1^1(2)$ в варианте 2 до 0,4. Значение изменяемого критерия, при котором отмечается равнозначность вариантов, будем называть «компенсирующим».

$$\begin{matrix} \text{Вариант 1} & \text{Вариант 2} \\ \left[\begin{matrix} W_1^1(1) = 0,5 \\ W_7^1(1) = 0,5 \end{matrix} \right] & \approx & \left[\begin{matrix} W_1^1(2) = 0,4 \\ W_7^1(2) = 0,7 \end{matrix} \right] \end{matrix}$$

Определяем коэффициенты связности критериев m_{ij} по формуле:

$$m_{17} = \frac{W_7^1(2) - W_7^1(1)}{W_1^1(1) - W_{1\text{комп}}^1(2)} = \frac{0,7 - 0,5}{0,5 - 0,4} = 2.$$

$$m_{71} = \frac{1}{m_{17}}.$$

Далее строим матрицу для обработки графа. Недостающие элементы находим следующим образом:

$m_{ik} = \frac{m_{lk}}{m_{lj}} \cdot m_{ij}$. Например, $m_{12} = \frac{m_{32}}{m_{34}} \cdot m_{14}$. Пример матрицы обобщенного графа связности критериев приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Матрица связности критериев оценки

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1							1,8
2		1						1,67
3			1	0,67	0,44			2,25
4			1,5	1				1,8
5			2,25		1			2,7
6						1	3,33	2,3
7						0,3	1	0,7
8	0,56	0,6	0,44	0,56	0,37	0,43	1,43	1

Определение значений комплексного критерия оценки и относительной комплексной оценки качества

Значение комплексного критерия оценки объекта определяется по формуле:

$$W^0 = \frac{\sum_{j=1}^n W_j^1 \cdot m_{jk}}{A},$$

где n – число частных критериев оценки; W_j – значение j -го частного критерия оценки; k – номер заполненной строки в матрице связности критериев (в приведенной таблице 2 $k = 8$);

$$A = \sum_{j=1}^n m_{jk}.$$

Значение комплексного критерия оценки качества для каждого варианта объекта определяется аналогично, но при этом из матрицы вычеркивается столбец, соответствующий критерию оценки стоимости:

$$\bar{W}^0 = \frac{\sum_{j=1}^{n-1} W_j^1 \cdot m_{jk}}{\underline{A}},$$

где $\bar{W}^0$ – значение комплексного критерия оценки качества объекта, т.е. без учета его стоимости.

Для приведенной таблицы $k = 8$. Поэтому

$$\underline{A} = \sum_1^7 m_{j8} = 4,38.$$

Таким образом, комплексный критерий будет таким:

$$\bar{W}^0 = 0,127 \cdot W_1^1 + 0,137 \cdot W_2^1 + 0,101 \cdot W_3^1 + 0,127 \cdot W_4^1 + 0,085 \cdot W_5^1 + 0,098 \cdot W_6^1 + 0,326 \cdot W_7^1.$$

Правильность расчета весовых коэффициентов (коэффициентов, стоящих перед W_j^1) определяется из условия равенства их суммы единице. Значения комплексных критериев оценки качества сравниваемых объектов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительные значения комплексного критерия оценки и комплексного критерия оценки качества разных моделей объекта

№	Модель аудиоцентра	W^0	$\bar{W}^0$
1	Akai RX771	0,568	0,518
2	LG 313AX	0,850	0,812
3	Sony MHC-RXD3	0,931	0,921
4	Philips MC27	0,528	0,380
5	Samsung MAX920	0,561	0,539
6	Samsung MAX930	0,242	0,225

3.9. Выделение множества эффективных вариантов сравниваемых объектов

Из сравниваемых вариантов выбираются эффективные по Парето варианты по критериям качество – стоимость (рис. 10).

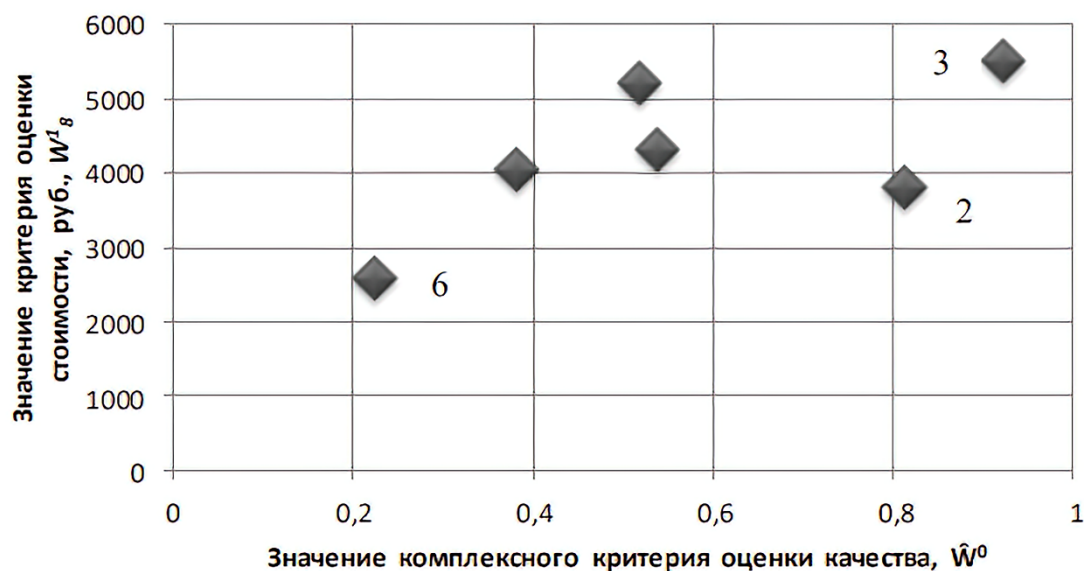


Рис. 10. Определение эффективных вариантов (по Парето)

Из рисунка следует, что эффективными вариантами являются варианты 2, 3 и 6. Если среди эффективных вариантов объекта предпочтительный вариант не определяется, то определяют варианты по значению относительного комплексного критерия оценки объекта качества на единицу стоимости:

$$y^* = \frac{Y}{p_l},$$

где p_l – значение критерия «Стоимость». Относительный комплексный критерий дает некоторую дополнительную информацию для выбора предпочтительного варианта. Эта операция имеет смысл только для эффективных вариантов. В противном случае вариант дешевый и некачественный может получить высокую оценку по этому критерию. Но в выборе он не может участвовать, так как не является эффективным. Тогда для приведенного примера эффективных вариантов получим (табл. 3):

$$y_2^* = \frac{0,802}{155} = 0,00517$$

$$y_3^* = \frac{0,921}{185} = 0,00498$$

$$y_6^* = \frac{0,237}{140} = 0,00169.$$

Таблица 3 – Значение относительного комплексного критерия оценки объекта

№	Модель музыкального центра	$W_{отн}^0$
2	LG 313AX	0,000214
3	Sony MHC-RXD3	0,000167
6	Samsung MAX930	0,000086

3.10. Выбор предпочтительного варианта объекта, соответствующего конкретным условиям выбора

Делается обоснование окончательного выбора предпочтительного варианта на основе сравнения эффективных вариантов по значению комплексного критерия оценки, комплексного критерия оценки качества и относительного комплексного критерия оценки. Допустимо также использовать ссылки на значения частных критериев оценки.

В результате исследования определено, что из представленных моделей аудиоцентров наивысшее качество на единицу стоимости имеет аудиоцентр модели LG 313AX фирмы LG. Из средних по цене аудиоцентров, он наилучший по критерию относительного качества и незначительно уступает варианту 3 по значению комплексного критерия качества (на 10 %), но на 25 % дешевле. Таким образом, для данных условий выбора наиболее предпочтителен вариант 2: аудиоцентр модели LG 313AX фирмы LG.

4. ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА МОДЕЛИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО СТАНКА

В современной практике технологического проектирования выбор модели станка обычно осуществляется по двухэтапной схеме:

1 этап – выявление множества потенциально приемлемых моделей станков;

2 этап – выбор наиболее предпочтительной модели из числа потенциально приемлемых альтернатив.

Выполнение первого этапа требует выявления в исходном семействе станков ограниченного множества станков, которые отвечают задающим ограничительным условиям проектируемой технологической операции.

Выполнение второго этапа требует выбора из ограниченного множества станков наиболее предпочтительной модели по совокупности заданных оценочных критериев.

В настоящее время существуют необходимые теоретические предпосылки для формализации как первого, так и второго этапов выбора. Работы первого этапа могут быть формализованы с применением инструментов сравнительного анализа цифровых и вербальных переменных. Работы второго этапа могут быть формализованы с применением методов многокритериального оптимизационного выбора. Обе названные методологии обладают возможностями для их использования, как в автоматизированном, так и в «ручном» вариантах.

Апробация названных методологий на примере решения практической задачи выбора подтверждает возможность применения обсуждаемых в работе инструментов для формализации процедуры выбора предпочтительной модели станка при проектировании технологических процессов механической обработки.

4.1. Анализ исходных данных и формулирование ограничительных условий задачи

В заданном технологическом процессе операция токарной обработки выполняется за два установа. При этом применяются следующие технологические переходы: подрезание торца (подрезной резец), продольное точение и снятие фасок (проходной упорный резец), прорезание канавки (канавочный резец) и нарезание резьбы (резьбовой резец). Для выполнения токарной обработки назначены режимы, имеющие следующие значения технологических параметров: частота вращения шпинделя – 127–1460 мин⁻¹; продольная подача – 0,14–0,70 мм/об; поперечная подача – 0,05–0,18 мм/об. Обработка на заданных режимах требует, чтобы мощность привода шпинделя была не ниже 4,1 кВт.

В таблице 4 приведем технические характеристики токарных металлорежущих станков с ЧПУ, имеющих в наличии на предприятии.

Таблица 4 – Базовые технические характеристики металлорежущих станков с ЧПУ токарной группы

№ п/п	Параметры станка (технологический аспект)	Модель станка			
		16A20Ф3	16M30Ф3	ТПК125АФ4	РТ777Ф3
1	Класс точности станка	Н	Н	А	Н
2	Тип СУ	Контурная	Контурная	Контурная	Контурная
3	Схема установки детали	Патронно-центровая	Патронно-центровая	Патронная	Патронно-центровая
4	Тип накопителя инструментов	Револьверная головка	Револьверная головка	Револьверная головка	Револьверная головка
5	Тип опорной поверхности станины	Горизонтальная	Горизонтальная	Наклонная	Наклонная
6	Максимальные габариты заготовки, мм	200x1000	320x1000	100x180	400x600
7	Максимальная масса заготовки, кг	25	60	15	80
8	Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	20–2500	8–2000	50–4000	10–3150
9	Мощность привода, кВт	11	30	4	45
10	Величины подач, мм/мин	1–1000	1–4000	1–6000	1–4000
11	Погрешности позиционирования, мм	±0,010	±0,007	±0,002	±0,008
12	Емкость накопителя инструментов, шт.	6, 8, 12	4	6	12
13	Габариты станка, мм	3200x2200x1600	5500x3600x2130	1680x1040x1630	4500x2750x2470
14	Масса станка, кг	4000	16000	1850	9000

Заданные условия изготовления детали «вал быстроходный» накладывают на токарный станок технологические ограничения $P^T = \{p_{j=[1,J]}^T\}$, приведенные в таблице 5.

Таблица 5 – Технологические ограничения на параметры токарного станка-претендента

Набор технологических ограничительных параметров $P^T = \{p_{j=[1,J]}^T\}$		Допустимые значения параметров
Обозначение p_j^T	Наименование параметра	
p_1^T	Тип станка	Токарный, патронно-центровой с ЧПУ
p_2^T	Тип системы управления	Контурная, Ф3 или Ф4
p_3^T	Класс точности	Н (или П, или В, или А)
$p_{4.1}^T$ $p_{4.2}^T$	Габариты обрабатываемой заготовки, мм	Диаметр не менее 70 Длина не менее 350
p_5^T	Масса обрабатываемой заготовки, кг	Не менее 5 кг
$p_{6.1}^T$ $p_{6.2}^T$	Диапазон частоты вращения шпинделя, мин ⁻¹	Нижняя граница – не более 127 Верхняя граница – не менее 1460
p_7^T	Мощность привода шпинделя, кВт	Не менее 4,1
$p_{8.1}^T$ $p_{8.2}^T$	Диапазон регулирования продольной подачи, мм/об	Нижняя граница не более 0,14 Верхняя граница не менее 0,70
$p_{9.1}^T$ $p_{9.2}^T$	Диапазон регулирования поперечной подачи, мм/об	Нижняя граница не более 0,05 Верхняя граница не менее 0,18
p_{10}^T	Емкость оперативного накопителя инструментов	Не менее 6 позиций

Параметры P^T , задающие технологические ограничения рассматриваемой задачи, являются тем набором данных, которые позволяют выделить из исходного семейства станков M^C множества M^A , которое является альтернативным набором моделей, потенциально приемлемых для выполнения проектируемой технологической операции.

4.2. Выявление множества потенциально приемлемых моделей станка

Для рассматриваемой нами конкретной задачи модели исходного семейства станков $\{m_{n=[1,N]}^C\} \in M^C$, в рамках которого должны быть выявлены потенциально приемлемые альтернативны моделей $\{m_{k=[1,K]}^A\} \in M^A$, приведены в таблице 4.

Анализ исходного семейства станков M^C для выявления множества потенциально приемлемых моделей M^A осуществляется сопоставлением технологических параметров $\{p_{j=[1,J]}^T\} \in P^T$, задающих ограничительные условия проектируемой операции, с одноименными параметрами $\{p_{i=[1,I]n=[1,N]}^C\} \in P_n^C$ каждой из моделей, входящих в исходное семейство M^C . Процедура такого сопоставления заключается в проверке справедливости отношений « $\geq$ », « $\leq$ » или « $=$ », задающих условия приемлемости каждой n -ной модели $m_{n=[1,N]}^C$ по каждому из ее параметров p_{in}^C в паре с одноименным ограничительным параметром p_j^T :

$$\text{xor} \left(\begin{array}{l} (p_{in}^C \leq [p_j^{T-min}]) \\ (p_{in}^C \geq [p_j^{T-max}]) \\ (p_{in}^C = [p_j^{T-nom}]) \end{array} \right) \forall i = [1, I] \wedge \forall n = [1, N], \quad (1)$$

где $[p_j^{T-min}]$ – предельное значение числового параметра, задающего технологические ограничения «сверху» (в таблице 2 это $p_{4,5,6,2,7,8,2,9,2,10}^T$); $[p_j^{T-max}]$ – предельное значение числового параметра, задающего технологические ограничения «снизу» (в таблице 2 – $p_{6,1,8,1,9,1}^T$); $[p_j^{T-nom}]$ – номинальное значение вербального параметра, задающего технологическое ограничение условием «равнозначности» (в таблице 2 – $p_{1,2,3}^T$); $j = [1, J]$ – текущий номер параметра p_j^T в списке технологических ограничений P^T ; p_{in}^C – значение i -того параметра n -ной модели станка, входящего в состав исходного семейства M^C ; $n = [1, N]$ – текущий номер модели m_n^C станка в исходном семействе станков M^C ; $\{m_{k=[1,K]}^A\} \in M^A$ – множество потенциально приемлемых альтернативных моделей станка.

Процедура сопоставления каждой единичной пары (p_{in}^C, p_j^T) может иметь один из двух исходов: «выполнение» или «не выполнение» заданного отношения $\text{xor}\{\geq, \leq, =\}$. В зависимости от исходов по совокупности процедур $i = [1, I]$ решается вопрос о включении каждой n -ной модели $m_{n=[1,N]}^C$ семейства M^C в искомое множество M^A (2):

$$\text{If } (1) = \text{True} \rightarrow \text{Then } (m_n^C \in M^A) \text{Else} \rightarrow (m_n^C \notin M^A) \quad (2)$$

Рассмотренная процедура может быть программно реализована на алгоритме, использующем продукционные правила (булевы конструкции «ЕСЛИ, ... ТО...»), реализуемые (рис. 11), например, на операторах условного перехода типа «If ... Then ... Else».

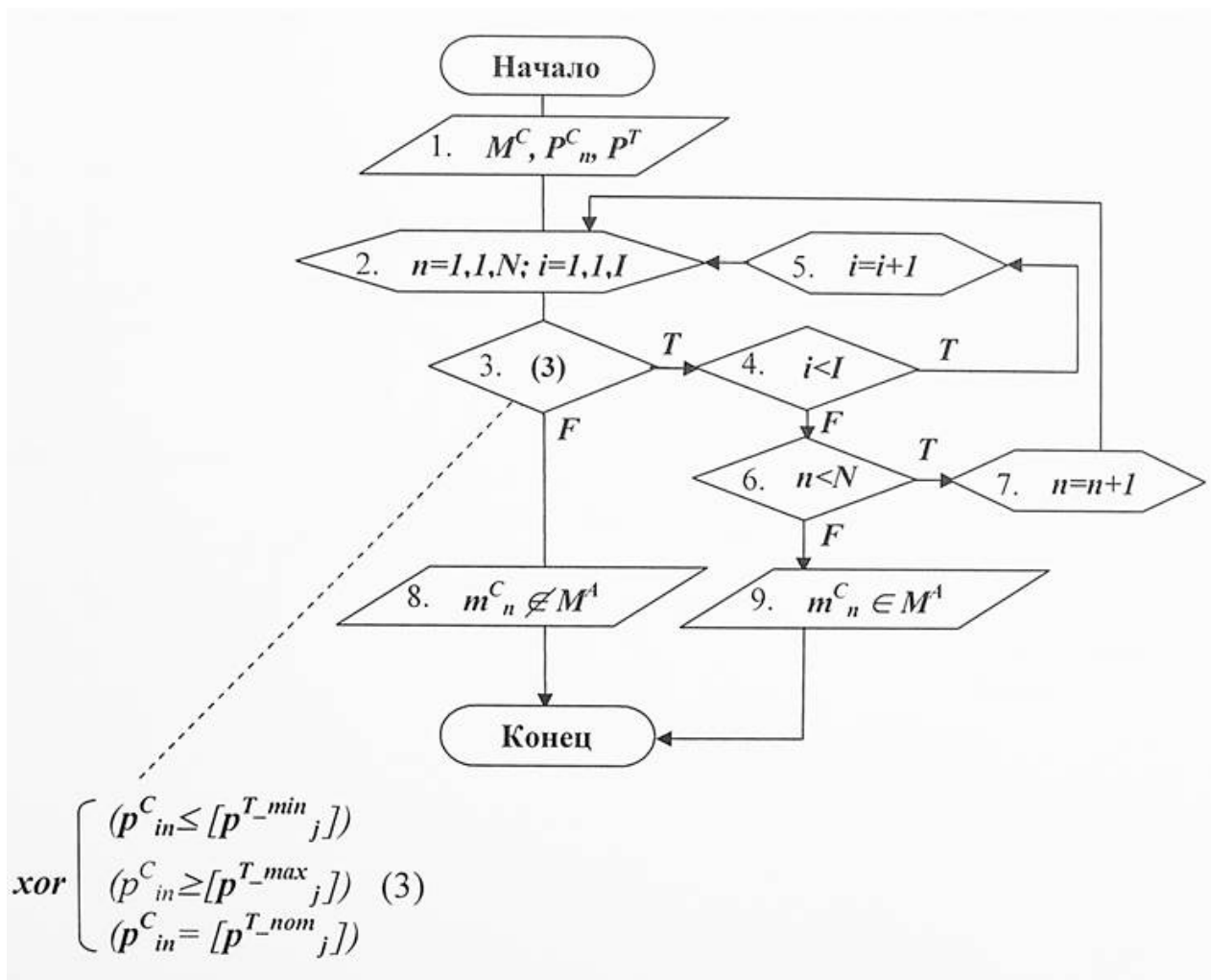


Рис. 11. Алгоритм выявления потенциально приемлемых альтернативных моделей станка

В случае выявления потенциально приемлемых альтернативных моделей станка в неавтоматизированном «ручном» варианте, при котором часть формализованных логических действий алгоритма (рис. 11) выполняется «в уме», процедура выявления множества M^A можно регистрировать, используя «карту соответствия» моделей исходного семейства M^C требованиям технологических ограничений P^T проектируемой операции.

В рассматриваемом примере содержание «карты соответствия» (табл. 6) показывает, что из числа моделей, имеющих в станочном парке цеха-изготовителя, для токарной обработки детали «Вал быстроходный» могут быть применены станки моделей 16A20ПФ3 и РТ777Ф3.

Таким образом, формально заданный перечень ограничительных условий, налагаемых условиями механической обработки детали, позволяет формализовать процедуру выявления множества потенциально приемлемых станков, претендующих на роль оптимального исполнителя проектируемой технологической операции.

Таблица 6 – Карта соответствия станков-претендентов требованиям технологических ограничений

№	Технологические ограничения (табл. 5) $\{p_{j=[1,J]}^T\} \in P^T$	Исходное семейство моделей станков $\{m_{n=[1,N]}^C \in M^C$			
		16A20Ф3	16М30Ф3	ТПК125АФ4	РТ777Ф3
		Выполнение отношений « $\geq$ », « $\leq$ », « $=$ » по (1)			
1	p_1^T	T	T	F	T
2	p_2^T	T	T	T	T
3	p_3^T	T	T	T	T
4	$p_{4,1}^T$	T	T	T	T
5	$p_{4,2}^T$	T	T	F	T
6	p_5^T	T	T	T	T
7	$p_{6,1}^T$	T	T	T	T
8	$p_{6,2}^T$	T	T	T	T
9	p_7^T	T	T	F	T
10	$p_{8,1}^T$	T	T	T	T
11	$p_{8,2}^T$	T	T	T	T
12	$p_{9,1}^T$	T	T	T	T
13	$p_{9,2}^T$	T	T	T	T
14	p_{10}^T	T	F	T	T
Результат сопоставления		$m_1^C \in M^A$	$m_2^C \notin M^A$	$m_3^C \notin M^A$	$m_4^C \in M^A$
Состав множества M^A		$M^A = \{16A20Ф3 \equiv m_1^A, РТ777Ф3 \equiv m_2^A\}$			

4.3. Выбор предпочтительной модели станка

Процесс выбора предпочтительной модели станка базируется на двух аксиоматических допущениях:

1) искомая предпочтительная модель станка $^{OPT}m_k^A$ является элементом множества потенциально приемлемых альтернатив $M^A = \{m_{k=[1,K]}^A\}$ и выбирается из этого множества;

2) степень предпочтительности альтернатив $m_{k=[1,K]}^A$ определяется совокупностью значений параметров $P_n^C = \{p_{i=[1,I]}^C\}_{n=[1,N]}$, характеризующих технологический потенциал каждой рассматриваемой модели $m_{k=[1,K]}^A$. В связи с этим определение предпочтительной модели станка может быть сведено к задаче многокритериального оптимизационного выбора, в которой роль критериев оптимизации играет множество технологических параметров станка $P_n^C = \{p_{i=[1,I]}^C\}_{n=[1,N]}$, а решением задачи является идентификация оптимальной модели $^{OPT}m_k^A$, в множестве $M^A = \{m_{k=[1,K]}^A\}$.

Отличительной особенностью решения такой оптимизационной задачи является то, что оцениваемые в ней критерии оптимизации характеризуются высокой метрологической неоднородностью. Они принадлежат к различным

видам измерительных шкал; имеют числовое и нечисловое измерение, обладают различной физической природой, измеряются в существенно отличающихся диапазонах возможных числовых значений и характеризуются противоречивыми квалиметрическими трендами. В связи с этим процедуре выбора оптимальной альтернативы $^{OPT}m_k^A$ должно предшествовать преобразование параметров станка $P_n^C = \{p_{i=[1,I]}^C\}_{n=[1,N]}$, приводящее их к единой измерительной природе и к единому измерительному масштабу. В роли инструмента для такого преобразования может быть использована процедура нормализации переменных, которая позволяет описать каждую оцениваемую альтернативу m_k^A вектором метрологически однородных критериев $\{q_{i=[1,I]}\}_{k=[1,K]}$, множество которых затем может быть свернуто в обобщенный скалярный показатель предпочтительности.

Таким образом, выполнение стадии «Выбор предпочтительной модели станка» предполагает решение следующих вопросов:

1. Нормализация параметров станка.
2. Многокритериальное описание функции предпочтительности станка.
3. Выбор оптимальной модели станка.

4.3.1. Нормализация параметров станка

Для нормализации числовых параметров станка удобно применить дробно-линейную функцию (4):

$$\left\{ \begin{array}{l} {}^+p_i^C < p_{i \min} \rightarrow q_i = 0 \\ {}^+p_i^C = [p_{i \min}, p_{i \max}] \rightarrow q_i = \frac{{}^+p_i^C - p_{i \min}}{p_{i \max} - p_{i \min}} \\ {}^+p_i^C > p_{i \max} \rightarrow q_i = 1 \\ {}^-p_i^C < p_{i \min} \rightarrow q_i = 1 \\ {}^-p_i^C = [p_{i \min}, p_{i \max}] \rightarrow q_i = \frac{p_{i \max} - {}^-p_i^C}{p_{i \max} - p_{i \min}} \\ {}^-p_i^C > p_{i \max} \rightarrow q_i = 0 \end{array} \right., \quad (4)$$

где ${}^+p_i^C$ – i -тый нормируемый параметр с повышающим трендом; ${}^-p_i^C$ – i -тый нормируемый параметр с понижающим трендом; p_i^C – числовое значение нормализуемого i -того параметра станка в множестве $P^C = \{p_{i=[1,I]}^C\}$; $p_{i \min}^C$ – минимальное значение нормализуемого i -того параметра; $p_{i \max}^C$ – максимальное значение нормализуемого i -того параметра; q_i – нормализованное значение i -того параметра.

Нормализация вербальных параметров станка может быть выполнена с применением вербально-числовой шкалы биэкспоненциальной функции полезности, которая связывает вербальную оценку измеряемой «полезности» с эквивалентной нормализованной числовой оценкой «полезности» этого же параметра (табл. 7).

Таблица 7 – Вербально-числовая шкала функции «полезности»

Вербальная оценка p_i^C	Неприемлемая полезность			Приемлемая полезность			
	Очень плохо	Плохо	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично	Превосходно
Числовая оценка q_i	$>0,0,2$	$>0,2-0,3$	$>0,3-0,37$	$>0,37-0,4$	$>0,4-0,63$	$>0,63-0,8$	$>0,8-1,0$

Таким образом, в результате преобразования исходных параметрических описаний $P_k^C = \{p_{i=[1,I]}^C\}_{k=[1,K]}$ конкурирующих моделей станка для каждой модели $\{m_{k=[1,K]}^A\}$ станка может быть получено нормализованное параметрическое описание $Q_k = \{q_{i=[1,I]}\}_{k=[1,K]}$. При этом нормализованные величины q_i в каждом k -том нормализованном множестве Q_k сохраняют пропорции «полезности», эквивалентные пропорциям «полезности» параметров p_i^C в соответствующем k -том исходном множестве P_k^C . Поэтому нормализованные множества Q_k являются состоятельными эквивалентами множеств P_k^C и могут быть применены для решения задачи сравнительного анализа привлекательности альтернативных моделей m_k^A множества M^A потенциально приемлемых моделей металлорежущих станков.

В рассматриваемой демонстрационной задаче нормализация параметрического описания сравниваемых моделей станков сводится к преобразованию исходных параметрических описаний двух моделей: $M^A = \{16A20Ф3 \equiv m_1^A, РТ777Ф3 \equiv m_2^A\}$. Отметим, что первые пять параметров исходного параметрического описания P_k^C этих станков имеют нечисловую природу, и их нормализация выполняется здесь с применением вербально-числовой шкалы полезности (табл. 8). Остальные параметры имеют числовое измерение и нормализуются с использованием кусочно-линейной функции (4). Следует также учесть, что параметры $^+p_{[7,12]}^C$ и $^+p_{14}^C$ имеют повышающий квалитетический тренд, а параметры $^-p_{13}^C$ и $^-p_{[15,18]}^C$ характеризуются понижающим трендом. После нормализации исходных параметрических описаний станков модели 16A20Ф3 и РТ777Ф3 получим параметрические множества $Q_k = \{q_{i=[1,I=18]}\}_{k=[1,K=2]}$ (табл. 8), которые на последующих этапах решения задачи третьего этапа будут выступать в роли оптимизационных критериев выбора предпочтительной модели $^{OPT}m_k^A$ станка (табл. 8), рекомендуемого для выполнения токарной обработки детали «Вал быстроходный».

Полученные векторы $Q_k = \{q_{i=[1,I=18]}\}_{k=[1,K=2]}$ (табл. 9) могут быть симплифицированы исключением из них критериев q_i , имеющих равные парные значения ($q_{i1} = q_{i2}$). Поскольку симплификация Q_1 и Q_2 не изменит общую картину оптимизационного выбора, но упростит выполнение предстоящих вычислительных операций, ниже в дальнейших процедурах оптимизационного выбора будут использованы векторы симплифицированного вида Q_1^S и Q_2^S .

Таблица 8 – Нормализация параметрического описания сравниваемых станков

Наименование параметров		Значения параметров					
		У класса станков*		У станка 16A20Ф3 $\equiv m^A_1$		У станка РТ777Ф3 $\equiv m^A_2$	
		$p_{i\min}$	$p_{i\max}$	p^C_{i1}	q_{i1}	p^C_{i2}	q_{i2}
Класс точности	$^+p^C_1$	Н	А	Н	0,40	Н	0,40
Тип системы управления	$^+p^C_2$	Ф1	Ф4	Ф3	0,50	Ф3	0,50
Схема установки детали	$^+p^C_3$	Пт	ПтЦн	ПтЦн	0,50	ПтЦн	0,50
Тип накопителя инструментов	$^+p^C_4$	РГ	М	РГ	0,40	РГ	0,40
Опорная поверхность станины	$^+p^C_5$	Гр	Нк	Гр	0,40	Нк	0,50
Мах диаметр заготовки, мм	$^+p^C_6$	100	630	200	0,19	400	0,57
Мах длина заготовки, мм	$^+p^C_7$	180	3000	1000	0,30	800	0,22
Мах масса заготовки, кг	$^+p^C_8$	12	200	25	0,05	80	0,36
Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	$^+p^C_9$	1600	4000	2500	0,38	3150	0,65
Мощность привода шпинделя, кВт	$^+p^C_{10}$	4	50	11	0,15	45	0,89
Мах подача по X, мм/мин	$^+p^C_{11}$	500	5000	1000	0,00	4000	0,33
Мах подача по Z, мм/мин	$^+p^C_{12}$	1000	10000	1000	0,00	4000	0,33
Погрешность позиционирования, мкм	$\bar{p}^C_{13}$	10	3	10	0,00	8	0,29
Емкость накопителя инструментов, шт.	$^+p^C_{14}$	4	12	12	1,00	12	1,00
Габарит станка по длине, мм	$\bar{p}^C_{15}$	1680	10000	3200	0,82	4500	0,66
Габарит станка по ширине, мм	$\bar{p}^C_{16}$	1040	3100	2200	0,44	2750	0,15
Габарит станка по высоте, мм	$\bar{p}^C_{17}$	1600	2600	1600	1,00	2470	0,10
Масса станка, кг	$\bar{p}^C_{18}$	1850	16000	4000	0,85	9000	0,49
Нормализованные параметрические описания станка 16A20Ф3 $\equiv m^A_1$ и станка РТ777Ф3 $\equiv m^A_2$: $Q_1=\{0,40, 0,50, 0,50, 0,40, 0,40, 0,19, 0,30, 0,05, 0,38, 0,15, 0,00, 0,00, 0,00, 1,00, 0,82, 0,44, 1,00, 0,85\}$ $Q_2=\{0,40, 0,50, 0,50, 0,40, 0,50, 0,57, 0,22, 0,36, 0,65, 0,89, 0,33, 0,33, 0,29, 1,00, 0,66, 0,15, 0,10, 0,49\}$							

*) Значения параметров $p_{i\min}$ и $p_{i\max}$ установлены из характеристик станков 16A20Ф3, 16Б16Т, 16М30Ф3, ТПК125А1-1, РТ777Ф3, САТ150, САТ630, СТМ100П40С, 1П756Ф3.

Таблица 9 – Векторы критериев оптимизационного выбора

Q_k	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7	q_8	q_9	q_{10}	q_{11}	q_{12}	q_{13}	q_{14}	q_{15}	q_{16}	q_{17}	q_{18}
Простые векторы оптимизационных критериев Q_k																		
Q_1	0,4 0	0,5 0	0,5 0	0,4 0	0,4 0	0,1 9	0,3	0,0 5	0,3 8	0,1 5	0,0 0	0,00	0,00	1,00	0,82	0,44	1,00	0,85
Q_2	0,4 0	0,5 0	0,5 0	0,4 0	0,5 0	0,5 7	0,2 2	0,3 6	0,6 5	0,8 9	0,3 3	0,33	0,29	1,00	0,66	0,15	0,10	0,49
Симплифицированные векторы оптимизационных критериев Q_k^S																		
Q_1^S					0,4 0	0,1 9	0,3 0	0,0 5	0,3 8	0,1 5	0,0 0	0,00	0,00		0,82	0,44	1,00	0,85
Q_2^S					0,5 0	0,5 7	0,2 2	0,3 6	0,6 5	0,8 9	0,3 3	0,33	0,29		0,66	0,15	0,10	0,49

4.3.2. Многокритериальное описание функции предпочтительности станка

Рассмотренные выше материалы показывают, что нормализованные описания станков $Q_k = \{q_{i=[1,I]}\}_{k=[1,K]}$ являются по своей сути векторами состоятельных критериев выбора предпочтительной альтернативы $^{OPT}m_k^A$, образованных из множества сравниваемых альтернатив $M^A = \{m_{k=[1,K]}^A\}$. Заметим, что в тех случаях, когда все критерии q_i вносят равноценный вклад в «полезность» оцениваемой альтернативы, для определения интегрального скалярного показателя «полезности» U_k каждой k -той альтернативы обычно применяется простое аддитивное свертывание векторов множества Q_k на модели вида $U_k = \sum_{i=1}^I q_i$. Однако в подавляющем большинстве случаев встречаемся с доминированием одних критериев над другими. В таких случаях для измерения вклада каждого критерия q_i в интегральную оценку предпочтительности U_k значимость критериев q_i корректируется коэффициентами весомости w_i . В результате первоначальный вектор критериев $Q_k = \{q_{i=[1,I]}\}_{k=[1,K]}$ преобразуется в вектор произведений критериев на коэффициент весомости $Q_k = \{q_i \cdot w_i\}_{k=[1,K]}$.

Рассматриваемый демонстрационный пример относится ко второму случаю, предусматривающему «взвешивание» критериев оптимизации. Обычно коэффициенты весомости оптимизационных критериев назначаются либо методом прямого экспертного оценивания, либо методом экспертного оценивания в сочетании с одним из методов парного сравнения. Последнее более предпочтительно, так как применение парных сравнений позволяет снизить влияние фактора экспертной субъективности и, следовательно, позволяет повысить достоверность значений искомых коэффициентов весомости w_i . При использовании метода парных сравнений Уэйя на множестве критериев $Q = \{q_{i=[1,I]}\}$ формируется матрица $D = \|d_{ii^*}\|$. Элементами d_{ii^*} матрицы D является экспертная оценка результата парного сравнения каждого из критериев q_i текущей i -той строки с каждым из критериев q_{i^*} текущего i^* -того столбца матрицы. Причем результат сопоставления каждой пары $(q_i; q_{i^*})$ оценивается на трехбалльной шкале и

может принимать одно из трех значений $d_{ii^*} = \text{xor}[0V1V2]$: $d_{ii^*} = 2$, если $q_i \succ q_{i^*}$; $d_{ii^*} = 1$, если $q_i \equiv q_{i^*}$ и $d_{ii^*} = 0$, если $q_{i^*} \succ q_i$. После формирования полного множества элементов матрицы D можно расчетным путем (5) определить величины коэффициентов весомости для каждого из критериев q_i , что позволяет учесть значимость каждого критерия q_i умножением его на найденную величину w_i .

$$D = \|d_{ii^*}\| \mid d_{ii^*} \in \{0,1,2\}$$

$$\begin{aligned} q_i \succ q_{i^*} &\rightarrow d_{ii^*} = 2 \\ q_i \equiv q_{i^*} &\rightarrow d_{ii^*} = 1 \\ q_{i^*} \succ q_i &\rightarrow d_{ii^*} = 0, \end{aligned} \quad (5)$$

$$w_i = \frac{\sum_{f=1}^I d_{if^*}}{\sum_{i=1}^I \sum_{i^*=1}^I d_{ii^*} = [1, I]}$$

где D – матрица парных сравнений; d_{ii^*} – оценка результата парного сравнения критерия q_i текущей i -той строки и критерия q_{i^*} текущего i^* -того столбца матрицы D ; w_i – весовой коэффициент i -того критерия оптимизации q_i оцениваемого объекта.

Найдем значения весовых коэффициентов w_i для критериев оптимизации q_i рассматриваемой демонстрационной задачи. При этом введем два условных ограничения, которые не нарушат общей логической картины оптимизационного выбора модели станка, но позволят упростить вычислительные процедуры, выполняемые здесь «вручную»:

1. Будем рассматривать симплифицированный вариант Q_k^S векторов оптимизационных критериев.

2. В множестве критериев вектора Q_k^S ограничимся исследованием группы критериев $\{q_{i=[6,13]}\}$, характеризующих технологический потенциал сравниваемых моделей.

После введения таких ограничений мощность вектора Q_k^S будет снижена до восьми. При этом экспертно установленное доминирование критериев $\{q_{i=[6,13]}\}$ образует убывающий вариационный ряд: $(q_9 \wedge q_{10}) \succ q_{13} \succ (q_{11} \wedge q_{12}) \succ (q_1 \wedge q_2) \succ (q_6 \wedge q_7)$. В этом случае коэффициенты весомости w_i и матрица парных сравнений D будут иметь вид, показанный в таблице 10.

Таблица 10 – Определение весовых коэффициентов методом парных сравнений

$D = \ d_{ii^*}\ \mid d_{ii^*} \in \{0,1,2\}$									w_i
	q_6^*	q_7^*	q_8^*	q_9^*	q_{10}^*	q_{11}^*	q_{12}^*	q_{13}^*	
q_6	1	1	2	0	0	0	0	0	$w_6 = 0,04$
q_7	1	1	2	0	0	0	0	0	$w_7 = 0,04$
q_8	0	0	1	0	0	0	0	0	$w_8 = 0,02$
q_9	2	2	2	1	1	2	2	2	$w_9 = 0,23$
q_{10}	2	2	2	1	1	2	2	2	$w_{10} = 0,23$
q_{11}	2	2	2	0	0	1	1	0	$w_{11} = 0,13$
q_{12}	2	2	2	0	0	1	1	0	$w_{12} = 0,13$
q_{13}	2	2	0	0	0	2	2	1	$w_{13} = 0,18$

Обобщение полученных выше данных позволяет описать многокритериальную функцию полезности станка выражением (6), которое аддитивно свертывает вектор $Q_k^S = \{q_i \cdot w_i\}_{i=1,K}$ в интегральный скалярный показатель предпочтительности U_k :

$$U_k = \sum_{i=1}^I (q_{ik} \cdot w_i). \quad (6)$$

4.3.3. Выбор оптимальной модели станка

Таким образом, при решении задач оптимизационного выбора предпочтительной модели станка, в качестве меры предпочтительности сравниваемых моделей может быть применена интегральная функция полезности. При этом искомая оптимальная модель, очевидно, должна иметь наибольшее значение показателя предпочтительности U_k . Поэтому процедура оптимизационного выбора (7) сводится к расчету величины показателя U_k для каждой из сравниваемых моделей m_k^A , а также из идентификации модели с максимальным значением показателя U_k , которая может быть реализована на базе продукционной модели (7):

$$If \left(\exists U_{k=g} = \max U_k | \forall k = ([1,K] \setminus k = g) \right) \rightarrow Then \left({}^{OPT}m_k^A = m_{k=g}^A \succ m_{\forall k = ([1,K] \setminus k = g)}^A \right) \quad (7)$$

В рассматриваемой нами задаче требуется сделать выбор токарного станка из двух моделей: $16A20\Phi3 \equiv m_1^A$ и $PT777\Phi3 \equiv m_2^A$. Для этих моделей интегральные показатели предпочтительности U_1 и U_2 равны:

$$U_1 = \sum_{i=6}^{13} (q_{i1} \cdot w_i) \text{ и } U_2 = \sum_{i=6}^{13} (q_{i2} \cdot w_i),$$

$$\begin{aligned} U_1 &= \sum_{i=6}^{13} (q_{i1} \cdot w_i) \\ &= (q_{6,1} \cdot w_6) + (q_{7,1} \cdot w_7) + (q_{8,1} \cdot w_8) + (q_{9,1} \cdot w_9) \\ &\quad + (q_{10,1} \cdot w_{10}) + (q_{11,1} \cdot w_{11}) + (q_{12,1} \cdot w_{12}) + (q_{13,1} \cdot w_{13}) \\ &= (0,19 \cdot 0,04) + (0,30 \cdot 0,04) + (0,05 \cdot 0,02) + (0,38 \cdot 0,23) \\ &\quad + (0,15 \cdot 0,23) + (0,00 \cdot 0,13) + (0,00 \cdot 0,13) + (0,00 \cdot 0,18) \\ &= 0,142 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_1 &= \sum_{i=6}^{13} (q_{i2} \cdot w_i) \\ &= (q_{6,2} \cdot w_6) + (q_{7,2} \cdot w_7) + (q_{8,2} \cdot w_8) + (q_{9,2} \cdot w_9) \\ &\quad + (q_{10,2} \cdot w_{10}) + (q_{11,2} \cdot w_{11}) + (q_{12,2} \cdot w_{12}) + (q_{13,2} \cdot w_{13}) \\ &= (0,57 \cdot 0,04) + (0,22 \cdot 0,04) + (0,36 \cdot 0,02) + (0,65 \cdot 0,23) \\ &\quad + (0,89 \cdot 0,23) + (0,33 \cdot 0,13) + (0,33 \cdot 0,13) + (0,29 \cdot 0,18) \\ &= 0,585 \end{aligned}$$

В результате вычисления значений U_1 и U_2 получаем следующий результат:

$$U = \{U_1, U_2\} = \{0,142, 0,585\},$$

$$\max U_{k=2} \rightarrow k = g = 2 \rightarrow m_{k=g=2}^A \succ m_{\forall k=(\{1,K\} \setminus k=g)}^A \rightarrow {}^{OPT}m_2^A.$$

Поэтому, в соответствии с правилом (7), для обработки детали «Вал быстроходный» выбираем станок РТ777Ф3 $\equiv m_2^A$.

Полученный результат показывает, что процедура выбора модели станка, являясь областью интеллектуальной инженерной деятельности, поддается формализации и, следовательно, обладает необходимыми предпосылками для автоматизации в составе САПР ТП.

Общий алгоритм рассмотренного в работе формализованного подхода к выбору оптимизационного выбора предпочтительной модели станка представлен на рисунке 12.

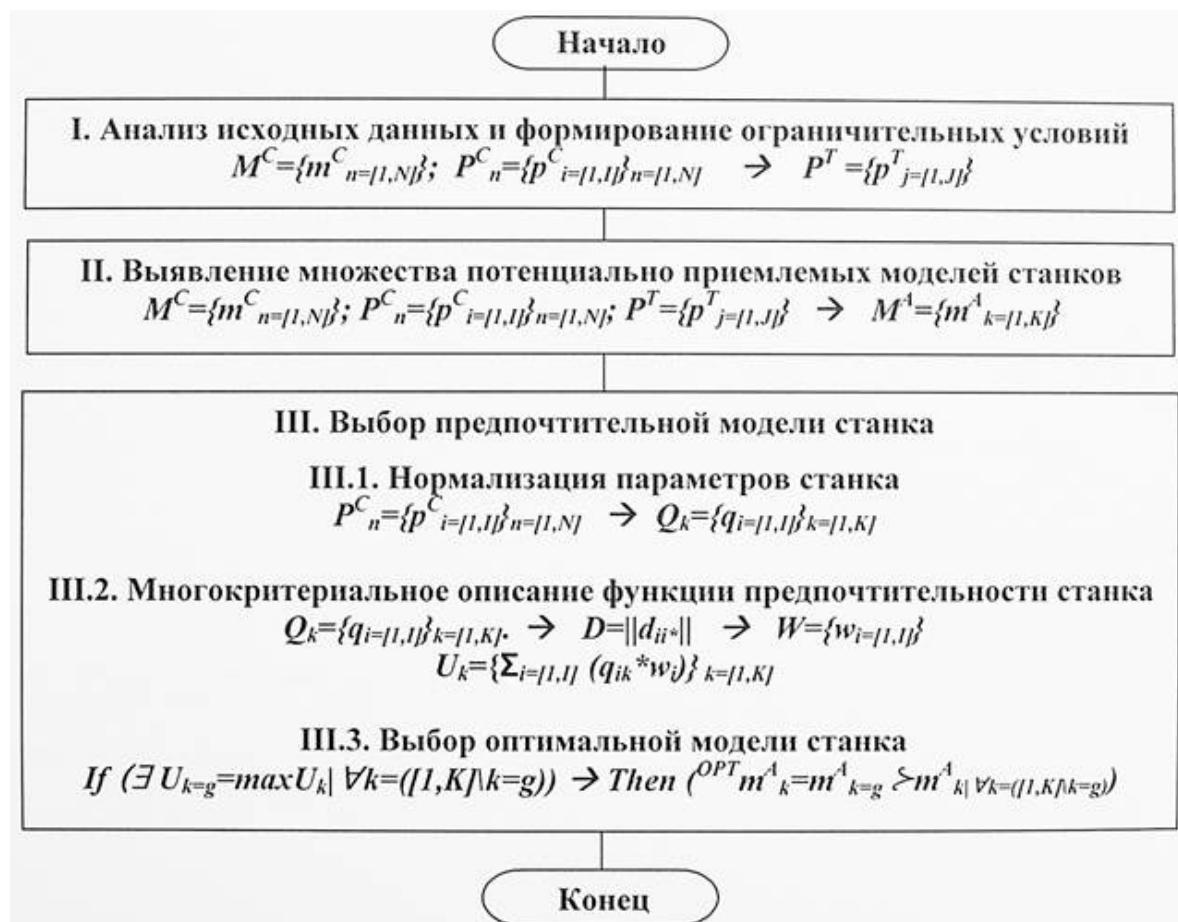


Рис. 12. Общий алгоритм выбор модели металлорежущего станка

В современной практике технологического проектирования выбор модели станка обычно осуществляется по двухэтапной схеме: этап 1 – выявление множества потенциально приемлемых моделей станка; этап 2 – выбор наиболее предпочтительной модели из числа потенциально приемлемых альтернатив. Выполнение первого этапа требует выявления в исходном семействе станков ограниченного множества станков, которые отвечают задающим ограничительным условиям проектируемой технологической операции.

Выполнение второго этапа требует выбора из ограниченного множества станков наиболее предпочтительной модели по совокупности заданных оценочных критериев.

В настоящее время существуют необходимые теоретические предпосылки для формализации как первого, так и второго этапов выбора. Работы первого этапа могут быть формализованы с применением инструментов сравнительного анализа цифровых и вербальных переменных. Работы второго этапа могут быть формализованы с применением методов многокритериального оптимизационного выбора. Обе названные методологии обладают возможностями для их использования, как в автоматизированном, так и в «ручном» вариантах.

Апробация названных методологий на примере решения практической задачи выбора подтверждает возможность применения обсуждаемых в работе инструментов для формализации процедуры выбора предпочтительной модели станка при проектировании технологических процессов механической обработки.

5. МЕТОД ПОЭЛЕМЕНТНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Для решения Примера 3 используются методы технико-экономического анализа конструкций. К этой категории относится метод поэлементного экономического анализа (ПЭА).

Метод поэлементного экономического анализа формулируется следующим образом:

1. Анализируемый объект делится на отдельные элементы. Под элементом понимают любую конструктивную составляющую, имеющую определенное назначение, выполняющую определенную функцию. Для сборок таким элементом может быть деталь, для детали – отверстие, резьба, фаска, зуб, паз, кольцевая проточка. Но элемент – не обязательно материальный объект. Элементами являются также размеры, допуски, материал, чистота поверхности, то есть все то, что влияет на функционирование объекта анализа, его качество, конечную стоимость.
2. Элементы разбивают на две группы: основную и вспомогательную. К основной группе относят те элементы, от которых непосредственно зависит функционирование системы, которые непосредственно влияют на ее работоспособность. Во вспомогательную группу входят элементы, которые играют второстепенную роль, не влияют непосредственно на выполнение технической системой ее полезных функций и служат для полного конструктивного оформления технической системы.
3. Проводят тщательный анализ и отработку элементов основной и вспомогательной группы. Элементы анализируются с конструктивной, технологической и экономической точек зрения. Каждый элемент должен качественно выполнять возложенную на него функцию, быть технологичным в изготовлении, а также максимально простым и дешевым.

Элементы основной группы должны быть сохранены и обеспечивать выполнение полезных функций. Элементы вспомогательной группы можно удалять и преобразовывать. Обращается внимание на правильность выбора материалов, допусков на размеры, чистоты обработки поверхностей, конструкторских, технологических, метрологических баз, возможность использования нормализованного и стандартизованного инструмента. Особое внимание уделяется элементам вспомогательной группы, которые обычно слабо отрабатываются конструкторами в процессе проектирования. Эти элементы содержат больше возможностей для получения ощутимых результатов.

4. После отработки всех без исключения элементов проводится анализ результатов проделанной работы и синтез нового объекта.

Цель применения метода ПЭА – достижение максимально эффективного функционирования объекта при минимальных затратах.

Проведем с применением метода поэлементного экономического анализа отработку детали – контактной пружины (рис. 2).

Покажем процесс анализа и отработки: разбивку детали на элементы, разделение элементов на основную и вспомогательную группы, контрольную проверку функции детали. Подчеркнем: показывается влияние вспомогательных элементов на рациональный расход материала.

В первоначальном варианте (рис. 4) деталь вырубается штампом из ленты металла. При этом для вырубки соседних деталей требуется разворот ленты. Отход металла составляет 59 %.

Перед конструктором стояла задача создать узел-индуктор, в том числе эластичную пружину, обеспечивающую определенное давление на контакт, и, благодаря этому, передачу электрического тока от контакта 4 на контакт 5, а затем к проводнику 1 (рис. 3). Пружину необходимо было укрепить на стойке 2 узла.

Используя метод поэлементного экономического анализа, проанализируем функции каждого элемента, его вклад в затраты и по результатам попытаемся при отработке элементов устранить оба недостатка.

Как отмечалось, назначение детали – передача электрического тока от контакта якоря к схемному кабелю аппарата. К детали предъявляются определенные требования: пружина должна обеспечивать нужное давление на контакт, быть устойчивой в работе, прочно закрепляться на стойке, иметь место для пайки передающего ток проводника.

Применяя наш метод, выделим основные и вспомогательные элементы пружины (рис. 2). К основным элементам относим:

1) отверстия диаметром 4 мм для крепления детали к стойке и расстояние между ними (38 мм);

2) отверстие диаметром 2 мм для крепления контакта и расположение его относительно отверстий крепления;

3) расстояние от плоскости крепления пружины до плоскости крепления контакта – изгиб пружины (длина средней рабочей части 10 мм);

- 4) рабочее сечение пружины (5 x 0,4 мм);
- 5) паяльный лепесток с отверстием диаметром 1,5 мм для припайки проводника;
- 6) минимальные запасы прочности материала вокруг отверстий.

В связи с тем, что необходимо сохранить взаимозаменяемость новой детали и деталей, ранее выпущенных, и тем, что качество работы пружины вполне удовлетворяет предъявляемым требованиям, не будем изменять основные элементы, а путем поэлементно-экономического анализа попытаемся обосновать и отработать вспомогательные элементы детали.

Наиболее простым и удобным для автоматизации штампования будет штамп с одним вырубным пуансоном и работа без переворота ленты. Поэтому расположим развертки детали в один ряд, друг за другом, как показано на рисунке 13. Раскрой получается исключительно невыгодным, гораздо худшим, чем на принятом в производстве штампе с переворотом ленты.

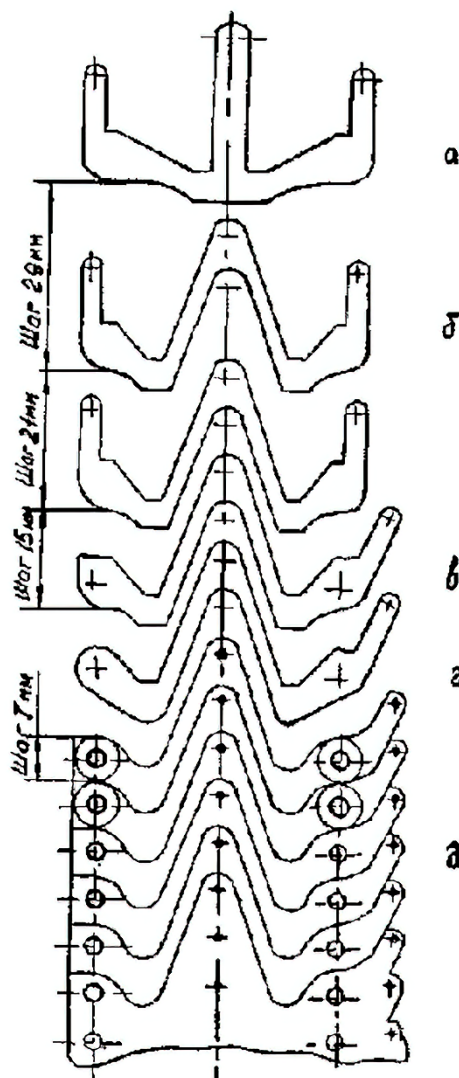


Рис. 13. Последовательные этапы отработки пружины

Но это расположение позволяет увидеть, что минимальное допустимое расстояние (перемычка между деталями) получается между основным элементом нижней вырубки и вспомогательным элементом верхней вырубки.

Поскольку решается проблема экономии материала, то невольно напрашивается новое конструктивное решение вспомогательного элемента, позволяющее уменьшить шаг штампа. Среднюю часть пружины раздваиваем для сближения вырубок.

Изменив среднюю часть пружины, сблизим вырубки и вновь расположим их друг за другом (рис. 13, б). Отход металла сократится до 46,1 %. Теперь дальнейшему сближению мешает не средняя часть пружины, а паяльные лепестки, которые упираются в условно обозначенные окружности минимального запаса прочности материала вокруг крепежных отверстий. Уменьшение этих окружностей недопустимо.

Анализируя работу и расположение узла в общей конструкции изделия, приходим к выводу, что один из паяльных лепестков пружины не является необходимым. Проводник всегда припаивается только к правому лепестку, второй остается нерабочим. Следовательно, его можно убрать.

Расположение оставшегося лепестка не оговорено в требованиях к детали, не влияет на выполнение возложенных на лепесток функций и зависит от других деталей. Лепесток, мешающий сближению разверток, можно отвести под углом в сторону (рис. 13, в). Таким образом, паяльный лепесток остается, хотя конструктивное оформление его стало несколько другим. Это дало возможность еще больше сблизить вырубки пружины, раскрой стал более экономичным, а отход сократился до 30 %. Теперь уже нет лишних площадей отходов, осталась только перемычка между вырубками, которая необходима при обычном штамповании.

С этого момента обработка вспомогательных элементов, создающих конфигурацию детали, может идти по двум направлениям, обусловленным чисто технологическими соображениями:

1. Стремление к безотходному раскрою.
2. Стремление к наиболее простому изготовлению штампа при сохранении уже достигнутой экономичности расположения вырубок в ленте (если по каким-либо причинам невозможно безотходное штампование).

Прорабатывая элементы конфигурации детали так, чтобы максимально упростить изготовление штампа, получаем конфигурацию пружины, показанную на рисунке 13, г. Если считать, что пружина будет изготавливаться обычным штампованием, при котором вырубка происходит сразу по всему периметру и между вырубками остаются перемычки, то деталь можно считать доработанной.

Для безотходного двухшагового штампования, наиболее экономичного и производительного, вспомогательные элементы профиля пружины прорабатываются еще более тщательно. Верхнюю и нижнюю части контура делают одинаковыми, что позволяет убрать перемычку между деталями.

Тщательно отработанный верхний профиль нижней вырубке полностью вписывается в нижний профиль верхней вырубке и получается безотходный, максимально экономичный раскрой (рис. 13, д). Шаг штампа доведен до минимума – 7 мм; теперь он равен диаметру условного кольца минимального запаса прочности. Уменьшение его не представляется возможным. Отход материала (отверстия и боковой нож) доведен до минимума – 7,5 %.

Такая степень использования материала (92,5 %) вполне реальна, но говоря о безотходном штамповании, следует подчеркнуть, что внедрение его требует высокой культуры инструментального производства, высокой точности штампов.

Теперь можно подвести итог. На рисунке 14 показана пружина новой конфигурации.

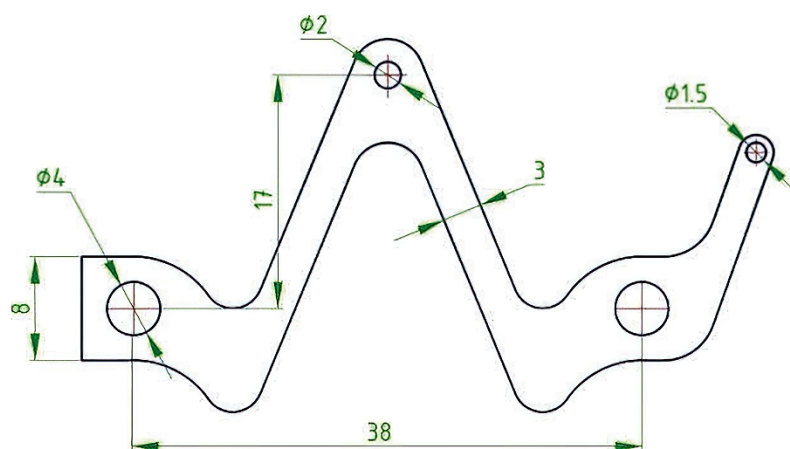


Рис. 14. Контактная пружина после отработки по методу ПЭА

Верхний профиль пружины полностью совпадает с нижним профилем, и верхняя пружина вкладывается без зазора в нижнюю пружину. Это позволило перейти от вырубки профиля пружины из ленты с помощью штампа к безотходной рубке ленты фигурным ножом. Все основные элементы пружины, влияющие на работу узла, остались без изменения. Один из основных элементов – сечение рабочей части пружины – несколько изменился. Но все конструктивные требования, предъявленные к функции данной детали и узла, сохранены полностью. Обеспечена взаимозаменяемость новой детали и деталей, ранее выпущенных заводом. Между тем новая конфигурация детали, полученная только за счет изменения вспомогательных элементов, позволила сократить отход материала при обычном штамповании на 29 % и при безотходном штамповании – на 51,5 %.

6. МЕТОДЫ ТЕОРИИ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ

Основной вклад в создание методов решения изобретательских задач (ТРИЗ) сделал ее основоположник Г. С. Альтшуллер. Методы ТРИЗ

разрабатывались постепенно в течение нескольких десятков лет. В их основе лежат исследования патентного фонда изобретений, выявление закономерностей совершенствования технических систем, приемов преобразования технических систем, которыми пользуются изобретатели.

К основным методам ТРИЗ относят изобретательские приемы, изобретательские стандарты, изобретательские эффекты, алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ). Как самостоятельный метод решения задач используют также вепольный анализ, который входит в состав изобретательских стандартов. Есть методика функционально-идеального моделирования, диверсионный анализ, метод маленьких человечков, линии развития технических систем, метод РВС (размеры – время – стоимость), приемы фантазирования и множество других методик, предлагаемых в рамках ТРИЗ разными авторами. Сами законы развития техники, механизмы законов, открытые в ТРИЗ, также являются действенным инструментом технического творчества.

Ограничимся кратким рассмотрением наиболее эффективных базовых методов, составляющих ТРИЗ: изобретательских приемов.

Изобретательские приемы – это правила преобразования технических систем, которыми пользуются изобретатели в своей работе.

Изобретательские приемы – методика, с которой связано начало развития ТРИЗ. Они были получены на основе анализа большого количества изобретений в разных областях техники. Как оказалось, миллионы изобретений созданы с помощью довольно ограниченного списка приемов.

Многие изобретатели на протяжении всего своего творческого пути пользуются достаточно эффективно всего лишь несколькими изобретательскими приемами. Известный советский физик-экспериментатор Петр Леонидович Капица был очень хорошим изобретателем и часто пользовался приемом, который можно назвать принципом «Проскока». Основная идея принципа заключается в том, чтобы проводить процесс на огромной скорости, такой, чтобы проявились нужные нам свойства или исчезли ненужные свойства. Принцип «Проскок» входит в современный список изобретательских приемов, используемый в ТРИЗ.

В 1950-х годах путем анализа патентного фонда изобретений были впервые выделены наиболее сильные приемы, используемые изобретателями при решении технических проблем. Приемы были оформлены в виде таблицы 11, позволяющей осуществлять их выбор в зависимости от проблемной ситуации.

В левой колонке таблицы описываются проблемы, которые возникают в технической системе, указываются параметры системы, связанные с проблемой. В каждой строке таблицы содержатся приемы, которыми можно устранить соответствующую проблему.

Таблица 11 – Таблица изобретательских приемов

	Количественные изменения	Изменение условий работы	Разделение объекта	Принцип совмещения	Компенсация нежелательных факторов	Принцип «наоборот»	Принцип «динамики» объектов
1	2	3	4	5	6	7	8
Недопустимое увеличение веса объектов		Изменить условие работы так, чтобы не приходилось поднимать и опускать объекты	Разделить объект на «тяжелую» и «легкую» части, последнюю перемещать	Передать объекту дополнительные функции, чтобы уменьшить вес других объектов, работающих совместно с данными	Компенсировать вес внешними силами (магнитными, центробежными, аэродинамическими и т.п)	Сделать движущиеся части неподвижными и, наоборот, неподвижные части движущимися	В процессе работы уменьшить вес объекта (например, отбрасывая отработанные части)
Недопустимое увеличение длины объекта			Разделить объект на части, соединенные гибкими связями			Положить объект на бок	Изменить длину объекта при переводе его в рабочее состояние
Недопустимое увеличение площади объекта				Перейти от «одноэтажной» компоновки к многоэтажной			Изменить в процессе работы площадь работы

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5	6	7	8
Недопустимое изменение формы объекта		Изменить положение объекта в пространстве (наклонить, перевернуть, положить на бок, вывести из плоскости)	Разделить объект на части, соединенные гибкими связями		Создавать предварительное изменение формы, противоположное недопустимому	Выполнить объект из материала, допускающего изменение формы при работе	Перейти от постоянной формы объекта к переменной
Недопустимый расход мощности материалов, энергии объекта		Перейти от механической схемы к электрической или оптической	Разделить объект на части, приблизить каждую часть к тому месту, где она работает	Машина должна не только выполнять основную работу, но и себя обслуживать (например,	Компенсировать расход энергии получением какого-либо дополнительного эффекта		Перейти от непрерывной подачи к мощности к периодической (например, импульсной)
Недопустимое снижение надежности объекта	Создать легко используемый запас рабочих органов	Дорогостоящую долговечность заменить дешевой недолговечностью	Разделить объект на части, чтобы при выходе из строя одной части объект в целом был работоспособен				

Окончание таблицы 11

1	2	3	4	5	6	7	8
Недопустимое снижение производительности	Увеличить число одновременно действующих объектов	Перейти от прерывного процесса к непрерывному, от от прямолинейного к вращательному	Разделить объект на части, обрабатывать, грузить и т.д. каждую часть отдельно, а затем производить сборку	Перейти от последовательного введения этапов процесса к одновременному (например, само нарезающийся винт)			
Противоречивое сочетание требований к условиям работы объекта		Изменить цвет объекта. Сделать объект прозрачным	Разделить объект на части, поставить каждую часть в благоприятные для ее работы условия	Совместить несовместимое оптически (например, стереоскопическая рентгеносъемка)			Объект должен менять свои свойства при изменениях условий работы
Возникновения вредных факторов, например, вредных сил		Изменить агрегатное состояние объекта	Выделить вредное свойство объекта и изолировать его. Выделить наиболее полезное свойство и использовать его без объекта	Ликвидировать вредные факторы за счет частей объекта, имеющих другое основное назначение	Компенсировать вредные факторы за счет них. Использовать вредные факторы для выполнения полезной работы	Усилить или преобразовать в вредные факторы так, чтобы они перестали быть вредными (шумный звук перевести в ультразвук)	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В методических указаниях описана методика выполнения курсовой работы по дисциплине «Методы принятия производственно-технологических решений в машиностроении», приведены подробные указания по построению структурной и функциональной схем исследуемого объекта, обоснованию и выбору критериев сравнения, выделению множества эффективных вариантов сравниваемых объектов, выбору предпочтительного варианта объекта.

Подробно рассматривается пример решения задачи методом морфологического анализа.

Особое внимание уделено применению инструментов ТРИЗ при решении творческих задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Балакин, А. А. Численные методы и математическое моделирование : учебное пособие / А. А. Балакин. – Долгопрудный : Издательский Дом «Интеллект», 2022. – 287 с. – ISBN 978-5-91559-297-0. – Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/119663.html> (дата обращения 31.05.2022). – Режим доступа для авторизир. пользователей.
2. Барабаш, С. Б. Методы оптимальных решений : учебное пособие / С. Б. Барабаш. – Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2021. – 354 с. – ISBN 978-5-4497-1175-5. – Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/108236.html> (дата обращения 31.05.2022). – Режим доступа для авторизир. пользователей.
3. Граецкая, О. В. Информационные технологии поддержки принятия решений: учебное пособие / О. В. Граецкая, Ю. С. Чусова. – Ростов-на-Дону, Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2019. – 130 с. – ISBN 978-5-9275-3123-3. – Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/95779.html> (дата обращения 31.05.2022). – Режим доступа для авторизир. пользователей.
4. Гулай, Т. А. Методы оптимальных решений : учебное пособие / Т. А. Гулай, А. Ф. Долгополова, В. А. Жукова. – Ставрополь : Секвойя, 2021. – 126 с. – ISSN 2227-8397. – Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/121674.html> (дата обращения 31.05.2022). – Режим доступа для авторизир. пользователей.
5. Никонов, О. И. Математическое моделирование и методы принятия решений: учебное пособие / О. И. Никонов, С. В. Кругликов, М. А. Медведева. – Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2015. – 100 с. – ISBN 978-5-7996-1562-8. – Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/69624.html> (дата обращения 31.05.2022). – Режим доступа для авторизир. пользователей.
6. Орлов, А. И. Основы теории принятия решений : учебное пособие / А. И. Орлов. – Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 66 с. – ISBN 978-5-4497-1423-7. – Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/95779.html> (дата обращения 31.05.2022). – Режим доступа для авторизир. пользователей. – DOI: <http://doi.org/10.23682/117037>.
7. Орлов, А. И. Теория принятия решений : учебник / А. И. Орлов. – Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 826 с. – ISBN 978-5-4497-1467-1. – Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/117047.html> (дата обращения 31.05.2022). – Режим доступа для авторизир. пользователей. – DOI: <http://doi.org/10.23682/117047>.
8. Сазонова, С. А. Надежность технических систем и техногенный риск : учебное пособие / С. А. Сазонова, С. А. Колодяжный, Е. А. Сушко. – Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2021. – 147 с. – ISBN 978-5-4497-1147-2. – Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/108311.html> (дата обращения 31.05.2022). – Режим

доступа для авторизир. пользователей.

9. Сладкова, Л. А. Физическое моделирование технических систем : учебное пособие / Л. А. Сладкова, П. А. Григорьев, М. В. Горелова. – Москва : Российский университет транспорта, 2021. – 102 с. – ISBN 978-5-4497-1147-2. – Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/116103.html> (дата обращения 31.05.2022). – Режим доступа для авторизир. пользователей.
10. Химченко, А. В. Компьютерное моделирование технических систем : учебное пособие / А. В. Химченко, Н. И. Мищенко. – Саратов : Вузовское образование, 2021. – 165 с. – ISBN 978-5-4487-0794-0. – Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/110116.html> (дата обращения 31.05.2022). – Режим доступа для авторизир. пользователей.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна»
Высшая школа технологии и энергетики

Факультет _____

Кафедра Материаловедения и Технологии Машиностроения

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

(фамилия, имя, отчество)

1. Тема курсовой работы _____

2. Срок сдачи студентом законченной работы _____
3. Необходимые данные для выполнения работы

4. Содержание пояснительной записки (перечень вопросов для разработки) _____

5. Список графического материала (блок-схемы, чертежи) _____

6. Дата выдачи задания _____

Руководитель _____

Студент _____