

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное агентство по образованию

ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Автоматизация конструкторского и технологического
проектирования**

Методические указания по выполнению лабораторной работы и курсового
проекта
для студентов специальности 230104

Составитель Ю.В.Литовка

Тамбов 2012

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторная работа и курсовой проект по дисциплине "Автоматизация конструкторского и технологического проектирования" предусматривают разработку программного обеспечения автоматизированной системы конструирования и технологической подготовки производства. Работа и проект служат для закрепления лекционного материала, а также для развития умения работать со специальной литературой. Каждый студент выполняет индивидуальное задание в соответствии с вариантом, указанным преподавателем, с использованием вычислительной техники.

Цель лабораторной работы и курсового проекта - создать программное обеспечение для оптимального решения поставленной задачи, выбрать метод организации данных на основе анализа информации о предметной области, создать базу данных и заполнить её информацией, достаточной для работы контрольных примеров, разработать диалоговую подсистему для решения задачи, указанной в задании, разработать подсистему вывода результатов работы, проверить работоспособность созданной подсистемы на контрольных примерах.

Работа созданной подсистемы, выполняющей контрольный пример, демонстрируется преподавателю. Контрольный пример должен выявить все возможности автоматизированной подсистемы и диалоговых средств.

Лабораторная работа

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ

Цель: приобрести навыки разработки подсистемы для решения отдельных задач автоматизированного конструирования машиностроительных объектов.

Задание: разработать программное обеспечение подсистемы автоматизированного конструирования для решения задачи согласно заданию, приведенному ниже.

З А Д А Н И Я

1. Разработка автоматизированной подсистемы компоновки модулей методом полного перебора при конструировании объектов [35 - 38].
2. Разработка автоматизированной подсистемы компоновки модулей последовательным алгоритмом при конструировании объектов [35 - 38].
3. Разработка автоматизированной подсистемы компоновки модулей итерационным алгоритмом при конструировании объектов [35 - 38].
4. Разработка автоматизированной подсистемы компоновки модулей методом случайного поиска [35 - 38].

5. Разработка автоматизированной подсистемы компоновки модулей методом ветвей и границ [35 - 38].

6. Разработка автоматизированной подсистемы трассировки соединений волновым алгоритмом при конструировании объектов [35 – 38, 51 - 53].

7. Разработка автоматизированной подсистемы трассировки соединений двухлучевым алгоритмом при конструировании объектов [35 - 38].

8. Разработка автоматизированной подсистемы трассировки соединений алгоритмом построения кратчайшего связывающего дерева при конструировании объектов [35 - 38].

9. Разработка автоматизированной подсистемы трассировки соединений канальным алгоритмом при конструировании объектов [35 - 38].

10. Разработка автоматизированной подсистемы трассировки соединений итерационным алгоритмом при конструировании объектов [35 - 38].

11. Разработка автоматизированной подсистемы геометрического моделирования при конструировании объектов: решение позиционной задачи определения принадлежности точки замкнутой плоской области [35, 48, 49].

12. Разработка автоматизированной подсистемы геометрического моделирования при конструировании объектов: решение позиционной задачи определения принадлежности точки замкнутой трехмерной области [35, 48, 49].

13. Разработка автоматизированной подсистемы геометрического моделирования при конструировании объектов: решение позиционной задачи пересечения плоских тел в процессе их движения [35, 48, 49].

14. Разработка автоматизированной подсистемы геометрического моделирования при конструировании объектов: решение позиционной задачи касания плоских тел в процессе их движения [35, 48, 49].

15. Разработка автоматизированной подсистемы геометрического моделирования при конструировании объектов: решение позиционной задачи пересечения объемных тел в процессе их движения [35, 48, 49].

16. Разработка автоматизированной подсистемы геометрического моделирования при конструировании объектов: решение позиционной задачи касания объемных тел в процессе их движения [35, 48, 49].

17. Разработка автоматизированной подсистемы геометрического моделирования при конструировании объектов: решение позиционной задачи оценки минимального расстояния между плоскими телами в процессе их движения [35, 48, 49].

18. Разработка автоматизированной подсистемы геометрического моделирования при конструировании объектов: решение позиционной задачи оценки максимального расстояния между плоскими телами в процессе их движения [35, 48, 49].

19. Разработка автоматизированной подсистемы геометрического моделирования при конструировании объектов: решение позиционной задачи оценки минимального расстояния между объемными телами в процессе их движения [35, 48, 49].

20. Разработка автоматизированной подсистемы геометрического моделирования при конструировании объектов: решение позиционной задачи оценки максимального расстояния между объемными телами в процессе их движения [35, 48, 49].

21. Разработка автоматизированной подсистемы геометрического моделирования при конструировании объектов: решение метрической задачи расчета площади поверхности детали [35, 38, 48].

22. Разработка автоматизированной подсистемы геометрического моделирования при конструировании объектов: решение метрической задачи расчета объема детали [35, 38, 48].

23. Разработка автоматизированной подсистемы геометрического моделирования при конструировании объектов: решение метрической задачи расчета массы детали [35, 38].

24. Разработка автоматизированной подсистемы геометрического моделирования при конструировании объектов: решение метрической задачи расчета момента инерции детали [35, 38].

25. Разработка автоматизированной подсистемы геометрического моделирования при конструировании объектов: решение метрической задачи расчета центра масс детали [35, 38, 40].

26. Разработка автоматизированной подсистемы статического силового расчета механизмов при конструировании машин [40 - 42].

27. Разработка автоматизированной подсистемы динамического силового расчета механизмов при конструировании машин [40 - 42].

28. Разработка автоматизированной подсистемы силового расчета статического уравнивания масс механизмов с симметричными звеньями при конструировании машин [40, 43].

29. Разработка автоматизированной подсистемы силового расчета статического уравнивания масс механизмов с несимметричными звеньями при конструировании машин [40, 43].

30. Разработка автоматизированной подсистемы силового расчета динамического уравнивания масс механизмов с симметричными звеньями при конструировании машин [40, 43].

31. Разработка автоматизированной подсистемы силового расчета динамического уравнивания масс механизмов с несимметричными звеньями при конструировании машин [40, 43].

32. Разработка автоматизированной подсистемы определения энергозатрат механизмов при конструировании машин [40, 47].

33. Разработка автоматизированной подсистемы определения истинного закона вращательного движения механизмов при конструировании машин [40 - 42].

34. Разработка автоматизированной подсистемы определения истинного закона поступательного движения механизмов при конструировании машин [40 - 42].

35. Разработка автоматизированной подсистемы прочностного расчета цилиндрических обечаек химико-технологического оборудования [39, 46].

36. Разработка автоматизированной подсистемы прочностного расчета конических обечаек химико-технологического оборудования [39, 46].
37. Разработка автоматизированной подсистемы прочностного расчета днищ химико-технологического оборудования [39, 46].
38. Разработка автоматизированной подсистемы прочностного расчета крышек химико-технологического оборудования [39, 46].
39. Разработка автоматизированной подсистемы прочностного расчета сочетаний цилиндрических и конических частей химико-технологического оборудования [39, 46].
40. Разработка автоматизированной подсистемы прочностного расчета корпусов аппаратов с неразъемными рубашками [39, 46].
41. Разработка автоматизированной подсистемы прочностного расчета элементов кожухотрубчатых теплообменных аппаратов [39].
42. Разработка автоматизированной подсистемы прочностного расчета дисков химико-технологического оборудования [39].
43. Разработка автоматизированной подсистемы расчета валов переменного сечения химико-технологического оборудования [39].
44. Разработка автоматизированной подсистемы расчета и конструирования упругих элементов (пружин растяжения) [44].
45. Разработка автоматизированной подсистемы расчета и конструирования упругих элементов (пружин сжатия) [44].
46. Разработка автоматизированной подсистемы расчета и конструирования зубчатых передач [40 - 42, 45].
47. Разработка автоматизированной подсистемы расчета и конструирования кулачковых механизмов [40 - 42].
48. Разработка автоматизированной подсистемы прочностного расчета станин, корпусов и рам машин [39, 46].
49. Разработка автоматизированной подсистемы прочностного расчета сосудов высокого давления [39, 46].
50. Разработка автоматизированной подсистемы ведения архива конструкторской документации [50].

Методические указания по выполнению работы

Подсистема компоновки (з а д а н и я 1 – 5) состоит из базы данных элементов машины (аппарата, технологической линии), диалоговой программы и программы оптимизации.

Размещаемые элементы аппроксимируются прямоугольниками (плоская задача) или параллелепипедами (объемная задача) со сторонами $a_i, b_i, c_i, i = \overline{1, N}$, N - число размещаемых элементов.

В качестве варьируемых переменных используются координаты базовой точки каждого элемента. В качестве базовой точки могут использоваться

координаты вершины прямоугольника (параллелепипеда) или координаты центра прямоугольника (центра основания параллелепипеда).

В качестве критерия оптимизации может использоваться: а) длина монтажных соединений проводов, трубопроводов или соединительных каналов; б) площадь (объём) размещения всех заданных элементов; в) наиболее общий критерий - приведенные затраты на проектируемый объект. Эти критерии минимизируются.

В качестве ограничений могут использоваться: 1) заданные связи между элементами; 2) отсутствие пересечений проводов (трубопроводов); 3) отсутствие размещения нескольких элементов на одном геометрическом месте; 4) заданная площадь (объём) для размещения всех элементов; 5) обеспечение удобства монтажа, ремонта и эксплуатации (последнее ограничение проверяется в диалоговом режиме).

Пример постановки задачи компоновки: разместить заданное множество элементов (найти координаты базовых точек всех заданных элементов), при которых длина всех соединений будет минимальна при выполнении ограничений (1) - (5).

В методе **полного перебора** (з а д а н и е 1) в качестве примера необходимо использовать множество компонуемых элементов малой мощности.

Последовательный алгоритм (з а д а н и е 2) заключается в том, что на каждом этапе выполнения алгоритма в очередной узел добавляется один из элементов схемы. После образования первого узла алгоритм переходит к формированию второго узла и т. д. Метод последовательного размещения включает последовательно выполняемые шаги:

- определение очередности размещения элементов;
- определение мест возможного размещения выбранного элемента;
- определение оптимального по выбранному критерию места размещения.

Очередь размещения элементов формируется на основе критерия "важности", который вычисляется для каждого элемента и зависит от его габарита, веса, стоимости технологических связей элемента и наличия ограничений на размещение элемента.

Выбор позиции для размещения очередного элемента осуществляется в усечённой области, что позволяет повысить быстродействие алгоритма.

Этап назначения элемента в позицию учитывает связи этого элемента как с уже размещёнными, так и с элементами, которые ещё не установлены (делается прогноз).

Итерационные алгоритмы (з а д а н и е 3) аналогичны градиентным алгоритмам параметрической оптимизации в том смысле, что на каждой итерации происходит движение в направлении экстремума целевой функции. Приращения варьируемых переменных в данном случае соответствуют перестановки элементов (парные или групповые) между узлами.

Алгоритмы компоновки модулей **методом случайного поиска** (задание 4) основаны на генерации вариантов размещения случайным образом. В качестве примера необходимо использовать множество компонуемых элементов малой мощности.

В заданиях 6 – 10 необходимо разработать программное обеспечение подсистемы трассировки соединений между элементами объекта.

Исходной информацией для работы подсистемы трассировки соединений будет являться матрица положений элементов. Варьируемыми переменными являются геометрические переменные, характеризующие трассу (путь) соединения элементов между собой. К таким геометрическим переменным относятся координаты начала, конца и точек поворота трассы.

Критерий оптимизации – суммарная длина соединений. Критерий следует минимизировать.

Ограничения: 1) заданные связи между элементами; 2) отсутствие пересечений проводов (трубопроводов); 3) ограничения на длину связей между конкретными элементами (не более заданной); 4) ограничение на количество перегибов (не более заданного).

Постановка задачи трассировки: найти геометрию соединений между элементами, при которых суммарная длина соединений между элементами была минимальной при заданном расположении элементов и ограничениях (1) – (4).

Волновой алгоритм (задание 6) включает в себя два этапа. Этап 1. Построение числовой волны от начальной точки трассы, которая находится в некоторой прямоугольной площадке. Как только числовая волна достигнет конечной точки трассы, процесс распространения числовой волны заканчивается. Каждой площадке присваивается весовое значение, определяющее расстояние от этой площадки до начальной точки трассы.

Этап 2. Непосредственное проведение соединительной трассы с учётом запретных зон на монтажном поле и ограничивающих условий. Перебор прямоугольных площадок начинается от конечной точки трассы так, что на каждом шаге выбирается прямоугольная площадка, имеющая наименьший вес.

Лучевые алгоритмы обеспечивают сокращение затрат машинного времени за счёт того, что просматриваются не все прямоугольные площадки, как это делается в волновых алгоритмах, а только те, которые расположены по некоторым направлениям (лучам).

В структуре соединений можно выделить два вида: простое - связывающее только два элемента, и разветвленное - связывающее три и более элементов, один из которых, как правило, источник, а остальные - стоки или наоборот.

Двухлучевой алгоритм трассировки (задание 7) выполняется в следующей последовательности.

1. В зависимости от взаимного расположения элементов, выбираются по два направления от каждого элемента, по которым будут распространяться лучи.

2. Осуществляется построение трассы от точки входа (выхода) элемента до ближайшего канала.

3. С шагом, равным расстоянию между каналами, осуществляется распространение лучей в соответствии с выбранными направлениями.

4. Распространение лучей заканчивается, если встретятся два разноименных луча.

5. В случае возникновения препятствия, распространение луча в выбранном направлении прекращается, и делается попытка продвижения в другом направлении.

Рассмотрим пример прокладки трассы трубопровода для соединения аппаратов А и В. На рис. 1 показан план этажа цеха с системой взаимно перпендикулярных каналов, которые изображены пунктирными линиями. Заштрихованными квадратами обозначены колонны.

С учётом взаимного расположения аппаратов, местами возможного входа трассы трубопровода в канал будут точки A_1 и A_2 для аппарата А и точки B_3, B_4 для аппарата В.

От каждого аппарата будем распространять два луча: a^1 - от точки А вправо и a^2 - от точки A_2 вверх; b^1 - от точки B_3 влево и b^2 - от B_4 вниз. Если аппарат В будет левее А, то путевые координаты вправо и влево надо поменять местами. Одновременно будем распространять все четыре луча до встречи двух разноименных лучей в точке V, либо до блокирования всех лучей. Продвижение лучей по каналу будем осуществлять с шагом, соответствующим расстоянию между каналами. Для реализации соединения воспользуемся матрицей пересечения каналов:

$$P_{\|i, j\|_{k \text{ np } k \text{ non}}}$$

где $P_{ij} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}$ 0 - не пересекаются, 1 - пересекаются.

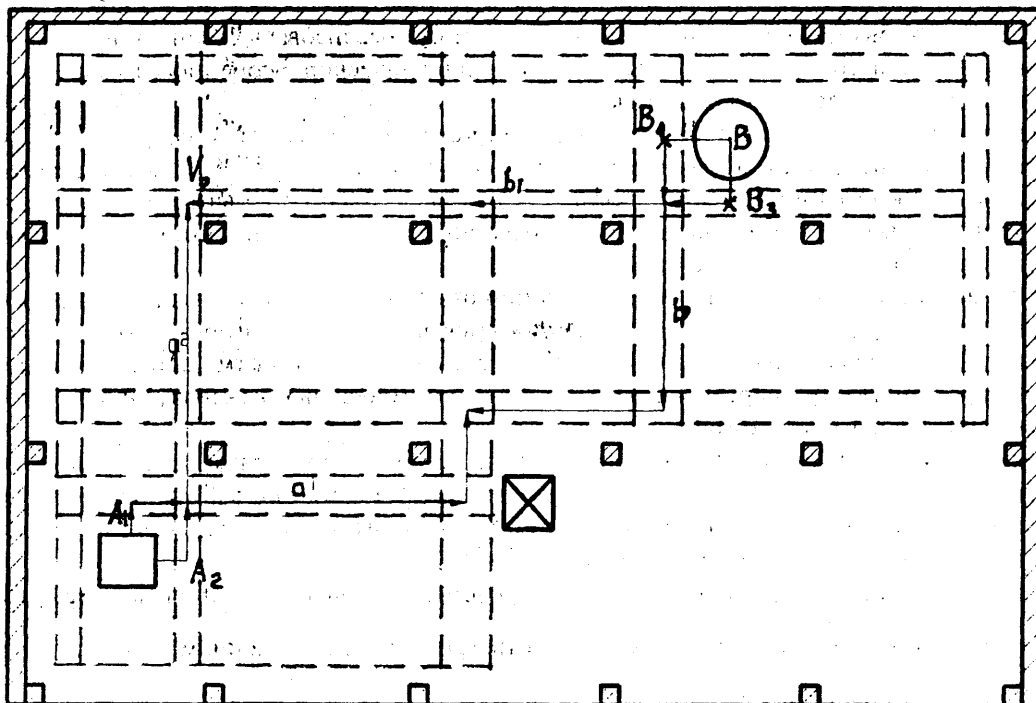


Рис. 1 План этажа цеха

Распределение лучей закончится, когда после очередного шага будет выполнено одно из условий $P_{r(a^1)r(b^2)} = 1$ или $P_{r(a^2)r(b^2)} = 1$, где

$r(a^1), r(a^2), r(b^2), r(b^1)$ - соответственно номера каналов, в которых находятся лучи a^1b^1, a^2b^2 .

Рассмотрим несколько частных случаев.

1. Аппараты А и В размещены в одном продольном ряде. Для соединения аппаратов в этом случае достаточно выполнить условия $r(a^1) = r(b^2)$ или $r(a^3) = r(b^3)$, т.е. трассировка заканчивается, как только лучи попадают в один и тот же канал.

2. Аппараты А и В размещены в одном поперечном ряде (по ширине цеха). При этом случае должно выполняться условие:

$$r(a^2) = r(b^2) \quad \text{или} \quad r(a^4) = r(b^4)$$

3. Аппараты А и В размещены в одной строительной клетке: допускается прямое соединение аппаратов, без выхода в канал.

Как правило, получается два варианта трассировки. Выбор лучшего варианта осуществляется по критерию минимальной длины трассы. Если длина трасс одинакова, то предпочтение отдается трассе с меньшим числом поворотов.

Алгоритм прокладки трасс для разветвленных соединений выполняется в два этапа:

На первом этапе с использованием алгоритма Краскала производится построение кратчайшего связывающего дерева Прима.

На втором этапе для каждого ребра дерева Прима формируется множество реализующих его вариантов S-ребер (под S-ребром понимается цепь ребер в ортогональном графе Q, имеющая началом и концом две вершины V_i, V_j), покрывающих минимальное дерево Штейнера и выбираем S-ребро, обеспечивающее минимальную суммарную длину дерева Штейнера. Этот процесс повторяется для всех разветвленных соединений.

Алгоритм построения кратчайшего связывающего дерева (задание 8) состоит в следующей последовательности.

1. Для заданного подмножества вершин K^1 , на которых надо построить кратчайшее связывающее дерево, вычисляется расстояние между всеми вершинами и заносится в матрицу $D = \|d_{ij}\|_{k' \times k'}$.

2. Определяется ребро с минимальным весом.

3. Определяется следующее ребро. При этом новое ребро не должно совпадать с уже выбранным.

Процесс повторяется до построения $(k' - 1)$ -го ребра.

Полученный список ребер и является искомым деревом Прима с минимальным весом. Проиллюстрируем сказанное на примере построения кратчайшей связывающей сети в ортогональном графе (рис 2).

Пусть надо построить схему соединений на 3-х вершинах V_{11}, V_{25}, V_{32} . Для простоты расстояние между двумя смежными вершинами возьмем равное 1.

1. Вычисляем расстояние между вершинами:

$$d(V_{11}, V_{25})=5; \quad d(V_{11}, V_{32})=3; \quad d(V_{25}, V_{32})=4.$$

2. Определяем ребра кратчайшего связывающего дерева:

1) $V_{11}-V_{32}$;

2) $V_{32}-V_{25}$.

3. Формируем два варианта S-ребер для каждого из ребер $V_{11}-V_{32}$ и $V_{32}-V_{25}$ по каналам прямоугольной зоны, внутри которой лежат вершины. Это варианты:

$V_{11}, V_{21}, V_{31}, V_{32}$ и $V_{11}, V_{12}, V_{22}, V_{32}$ для ребра $V_{11}-V_{32}$.

$V_{32}, V_{22}, V_{23}, V_{25}$ и $V_{32}, V_{33}, V_{34}, V_{35}, V_{25}$ для ребра $V_{32}-V_{25}$.

4. Каждое S-ребро моделируем в матрице P , увеличивая на единицу значение P_{ij} , если хоть один вариант S-ребра проходит через вершину V_{ij} :

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

5. Окончательно выбираем те варианты S-ребер, которые проходят через вершину с максимальными значениями P_{ij} . В данном примере соответственно получаем S-ребра:

$V_{11}, V_{12}, V_{22}, V_{32}$ и $V_{32}, V_{22}, V_{23}, V_{24}, V_{25}$. Фрагмент V_{22}, V_{32} для этих ребер является общим, что позволяет уменьшить общую длину связывающей сети.

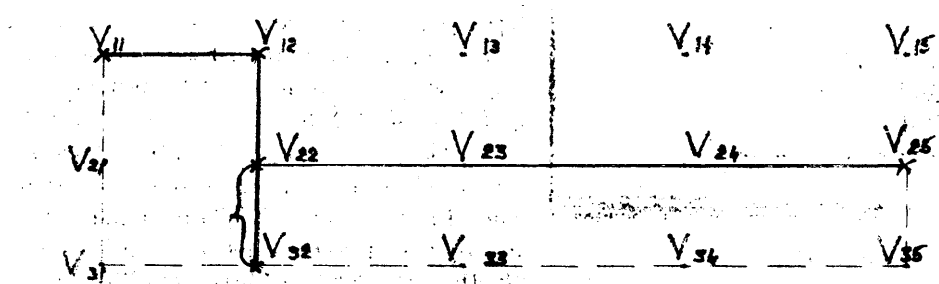


Рис.2. Связывающая сеть

В **канальных алгоритмах** (задание 9) трассы прокладываются не по дискретным площадкам рабочего поля, а по системе вертикальных и горизонтальных каналов. Эти алгоритмы состоят из двух этапов.

Этап 1. Распределение соединений по каналам и оптимизация.

Этап 2. Расположение соединений на магистралях каналов.

В **итерационных алгоритмах** (задание 10) трассировка сначала проводится без учёта взаимного влияния трасс, затем удаляются трассы, которые не удовлетворяют заданным ограничениям по длине, числу пересечений и перегибов. Проводится повторная трассировка с учётом расположения других трасс до тех пор, пока не будут выполнены все ограничения.

Автоматизированные системы, решающие позиционные задачи геометрического моделирования (задания 11 – 20), включают графический редактор и программу расчёта.

Исходными данными являются плоское или объёмное представление объекта конструирования.

При решении задачи принадлежности точки замкнутой плоской (или трёхмерной) области (задания 11,12) в диалоговом режиме задаётся точка и указывается область. После этого необходимо от графического представления перейти к математическому описанию координат точки и заданной области и рассчитать, принадлежит ли точка заданной области.

При решении задачи пересечения (касания) плоских (объёмных) тел или определения расстояния между ними в процессе их движения (задания 13 - 20) необходимо смоделировать перемещение подвижных деталей или узлов. После этого необходимо от графического представления перейти к математическому описанию координат подвижных и неподвижных деталей и рассчитать, будут ли они пересекаться, (касаться), или определить минимальное (максимальное) расстояние между ними.

В качестве примера рассмотрим задачу оценки погрешности обработки деталей на станках с ЧПУ (частный случай задачи по определению кратчайших расстояний между контурами). На рис. 3 показана схема фрезерования участка криволинейного контура детали, где S — контурная скорость; $\rho_3(t_3)$ — радиус-вектор заданного контура; $\rho(t)$ — радиус-вектор полученного контура; t_3 — параметр заданного контура; t — параметр обработанного контура; δ — погрешность обработки контура при $t = t'$, которая определяется как отрезок нормали к полученному контуру, заключенный между заданным и полученным контурами. Формула для вычисления погрешности обработки контура δ включает в себя модуль от разности $\rho_3(t_3)$ и $\rho(t)$:

$$\delta = \max_{t_3} \min_t |\rho_3(t_3) - \rho(t)| \quad (1)$$

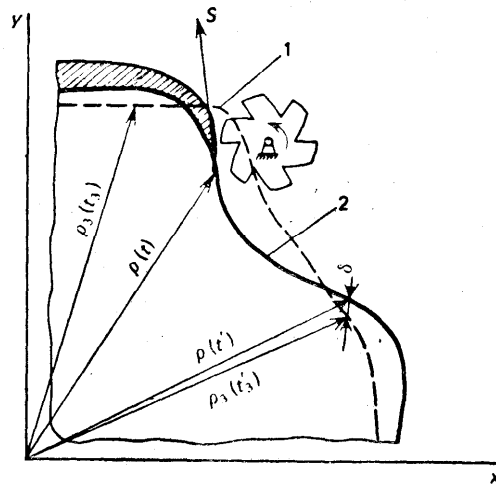


Рис. 3. Схема фрезерования детали на станке с ЧПУ:
1 — заданный контур; 2 — полученный контур.

На первом этапе (определение минимума модуля разности радиус-векторов $\rho_3(t_3)$ и $\rho(t)$ при постоянном значении параметра t_3 и меняющемся значении параметра t) формула (1) реализует процедуру построения нормали к полученному контуру детали, проходящей через некоторую точку на заданном контуре. На втором этапе из погрешностей, найденных для всех точек заданного контура, выбирается наибольшая.

Вычисление δ по (1) возможно лишь при аналитическом задании контуров $\rho_3(t_3)$ и $\rho(t)$, иначе в программе вычисления δ необходимо предусмотреть аппроксимацию заданного и полученного контуров.

Основными параметрами деталей, вычисляемыми при решении **метрических задач** геометрического моделирования (з а д а н и я 21 – 25), являются площади, массы, моменты инерции, объёмы, центры масс и т. д. Для определения этих параметров исходный геометрический объект разбивается на элементарные геометрические объекты. Например, в плоской фигуре выделяются секторы (если в контуре имеются дуги окружности), треугольники и трапеции. Приведем формулы для вычисления метрических параметров некоторых элементарных геометрических объектов. Площадь k -го сектора радиуса r_k

$$S_k = 0,5r_k\Delta\varphi_k,$$

где $\Delta\varphi_k$ - длина k -й дуги, рад.

Координаты центра масс k -го сектора

$$x_k = x_{k0} + [2r_k(\sin \varphi'_k - \sin \varphi''_k)]/(3 \Delta\varphi_k);$$

$$y_k = y_{k0} + [2r_k(\cos \varphi'_k - \cos \varphi''_k)]/(3 \Delta\varphi_k),$$

где x_{k0} , y_{k0} - координаты центра k -й окружности; φ'_k , φ''_k - полярные углы для начальной и конечной точек k -й дуги контура.

Таким же образом по известным формулам можно вычислить центробежный момент инерции трапеции, моменты инерции сектора, координаты центра масс геометрического объекта, его центральные и главные моменты инерции и т. д.

Вычисление геометрических характеристик пространственных геометрических объектов производится также с помощью их разбиения на простые (типовые) области, для которых известны формулы, определяющие эти характеристики. В некоторых случаях, например при использовании алгебрологических геометрических моделей, для вычисления характеристик деталей применяют метод статистических испытаний.

Подсистема силового расчёта механизмов (з а д а н и я 26, 27) включает графическую диалоговую программу ввода кинематической схемы механизма, диалоговую программу ввода числовой информации и программу расчёта.

Исходные данные: кинематическая схема механизма; массы и моменты инерции всех звеньев и расположение на них центров масс; закон движения механизма; внешнее нагружение (поступательная сила, вращательный момент). Закон движения механизма и зависимости внешних нагружений от угла поворота механизма могут быть заданы таблично либо в виде аналитических выражений.

Цель силового расчета — нахождение *уравновешивающих сил* (моментов) и *реакций в кинематических парах* механизмов. Эти величины являются входными параметрами при расчётах на прочность звеньев механизмов и отдельных деталей машин, узлов трения, при выборе двигателя.

Обычно силовой расчёт выполняют с использованием принципа Даламбера, который позволяет присоединением сил инерции звеньев ко всем внешним силам, действующим на звенья, рассматривать последние условно находящимися в равновесии. Реакции в кинематических парах, найденные с учётом сил инерции, называют *динамическими*, их определяют *кинетостатическим расчётом*. Когда силы инерции незначительны по сравнению с внешними силами, ими можно пренебречь. Расчёты, в которых не учитываются инерционные силы, называют *статическими*.

При выполнении силового расчёта обычно звенья механизмов рассматривают как абсолютно твёрдые тела, пренебрегая вследствие малости деформаций звеньев смещениями точек приложения сил.

Контакт звеньев может быть либо точечным, либо линейным. Силовое взаимодействие звеньев при точечном контакте выражается в виде сосредоточенной силы, при линейном – в виде нагрузки, распределенной по линии контакта.

В результате расчёта необходимо найти силы взаимодействия звеньев механизма. Это могут быть (в зависимости от типа механизма): силовое воздействие на стержень; силовое нагружение на ось; силовое воздействие на плоскость зуба зубчатой передачи и т.д.

Программа расчёта должна содержать математические соотношения для возможности расчёта не менее двух контрольных примеров различных механизмов, например: кулачкового, кривошипно-ползунного, кривошипно-кулисного и т.д.

Подсистема силового расчёта статического уравнивания масс механизмов (задания 28, 29) включает диалоговую программу и программу расчёта уравнивания масс.

Динамические нагрузки, обусловленные силами инерции звеньев, передаются через кинематические пары на станину машины и её фундамент. Они вызывают дополнительные потери на трение в кинематических парах и, поскольку изменяются во времени, могут вызывать вибрацию звеньев и фундамента, быть источником шума. По этой причине при проектировании таких машин необходимо *уравнивание сил инерции* установкой специально рассчитанных противовесов, позволяющих исключить полностью или частично передачу на станину и фундамент динамических нагрузок. Особенно важное значение имеет *уравнивание вращающихся масс* — роторов центрифуг, сепараторов, дробилок, измельчителей и других быстроходных машин.

Входными данными подсистемы являются: кинематическая схема механизма; масса каждого звена и координаты центров масс каждого звена; размеры звеньев.

По исходной информации, прежде всего необходимо рассчитать центр масс механизма.

Программа расчёта уравнивания масс должна решать поставленную задачу не менее, чем двумя способами из следующих: уравнивание механизмов при помощи главной корректирующей массы; уравнивание

механизмов методом нуль-векторов; уравнивание механизмов методом подобия.

Контрольные примеры должны быть выполнены для конкретных механизмов (например, многоцилиндровые машины, кривошипно-ползунные механизмы и т.д.).

Подсистема силового расчёта динамического уравнивания масс механизмов (з а д а н и я 30, 31) включает диалоговую программу и программу расчёта уравнивания масс и момента.

Входными данными подсистемы являются: кинематическая схема механизма; масса каждого звена и координаты центров масс каждого звена; размеры звеньев; ускорения центров масс каждого звена; моменты инерции и угловое ускорение подвижных звеньев кинематической цепи механизма.

Программа расчёта должна реализовывать метод уравнивания главного вектора и первой гармоники главного момента неуравновешенных сил. По результатам расчёта должно быть предложено устройство для уравнивания главного вектора и первой гармоники главного момента неуравновешенных сил.

Задача определения энергозатрат (з а д а н и е 32) заключается в анализе их распределения в элементах системы, в частности нахождение общего и частных коэффициентов полезного действия. Для этого необходимо изучить режим движения механизмов при известных массах их звеньев под действием заданных внешних сил.

Подсистема определения энергозатрат механизмов включает диалоговую программу, программу расчёта коэффициентов полезного действия.

Исходными данными являются силы, приложенные к механизму, и коэффициенты трения.

Результатом работы подсистемы являются рассчитанные значения коэффициентов полезного действия.

Механический коэффициент полезного действия η рассчитывается следующим образом:

$$\eta = A_{\text{пс}} / (A_{\text{пс}} + A_{\text{т}}),$$

где $A_{\text{пс}}$ – полезная работа; $A_{\text{т}}$ – работа, связанная с преодолением сил трения в кинематических парах и сил сопротивления среды. $A_{\text{пс}}$ и $A_{\text{т}}$ определяются за цикл установившегося режима.

Подсистема должна предусматривать возможность расчёта коэффициента полезного действия для нескольких типов отдельных механизмов, а также для системы из этих механизмов, соединённых последовательно или параллельно [47].

Подсистема определения истинного закона движения механизмов (з а д а н и я 33, 34) включает диалоговую программу, программу расчёта приведённых сил и масс, программу решения уравнения движения звена.

Исходными данными являются силы и моменты сил, приложенные к механизму. Далее выбирается звено приведения, точка приведения и рассчитываются приведенные силы.

Полученные значения приведенных сил используются в программе решения дифференциального уравнения движения звена.

Движение вращательного звена описывается уравнением:

$$J(\varphi)(d^2\varphi/dt^2)+0.5(d\varphi/dt)^2(dJ(\varphi)/d\varphi)=M_{\pi},$$

где $J_{\pi} = J(\varphi)$ – приведенный момент инерции звена приведения; M_{π} – приведенный момент; φ - угол поворота звена; t – время.

Поступательное движение звена описывается уравнением:

$$m(x)(d^2x/dt^2)+0.5(dx/dt)^2(dm(x)/dx)=F_{\pi},$$

где $m_{\pi} = m(x)$ – приведенная масса звена приведения; F_{π} – приведенная сила; x – величина линейного перемещения звена.

Результатом работы подсистемы являются графики изменения во времени скорости звена приведения.

Автоматизированная подсистема прочностного расчета (з а д а н и я 35– 43, 48, 49) включает диалоговую программу и программу расчёта на прочность элемента конструкции, указанного в задании.

Исходными данными прочностных расчётов являются температура и давление рабочего процесса. Целью расчётов является выбор конструкционного материала и геометрических параметров элементов аппарата (например, толщины стенки). Расчёту на механическую прочность от внутреннего избыточного или наружного давления и внешних нагрузок (силы тяжести, ветровых, сейсмических и др.) должны подвергаться все основные элементы аппарата (обечайки, днища, крышки и другие несущие нагрузку детали).

Например, для цилиндрических обечаек, нагруженных внутренним избыточным давлением, толщина стенки определяется по формулам:

$$S_R = \frac{p_R D}{2[\sigma]\varphi_p - p_R};$$

$$S \geq S_R + c,$$

где p_R – расчетное давление, D – диаметр, $[\sigma]$ - нормальное напряжение, допускаемое при расчётной температуре, φ_p - коэффициент прочности сварных швов, c – общее значение прибавки, учитывающее коррозию, погрешность изготовления и технологическую ошибку, S – толщина стенки, S_R – расчётная толщина стенки.

Параметры $[\sigma]$, φ_p , c определяются из таблиц [39].

Программа прочностного расчёта должна включать математические соотношения, позволяющие рассчитать геометрические параметры элементов аппарата и выбрать конструкционный материал для всех возможных случаев: задание температуры, внутреннего избыточного, наружного давления и внешних нагрузок. Все варианты должны быть продемонстрированы на контрольных примерах.

Особенность расчёта станин (задание 48) – поиск размеров и местоположения рёбер жесткости, а также усилий затяжки крепежных болтов.

Особенность расчёта сосудов под давлением (задание 49) – использование поправочных коэффициентов, т.к. аппараты, работающие при высоком давлении (больше 10 Мпа) являются объектами повышенной опасности.

В заданиях 44, 45 требуется разработать автоматизированную подсистему расчёта и конструирования упругих элементов. Подсистема включает базу данных характеристик упругих элементов, диалоговую программу, программу расчёта пружины и программу вывода графической информации (чертёж пружины).

Данная подсистема реализует типовую методику расчёта цилиндрических пружин (ГОСТы 13764-86 - 13769-86). Требуется рассчитать пружину, удовлетворяющую заданным силовым характеристикам при следующих вариантах ограничений: 1) на наружный диаметр пружины; 2) на диаметр пружинной проволоки; 3) одновременно ограничения (1) и (2).

Исходными данными для определения размеров пружин являются силы F_1 и F_2 , рабочий ход h , наибольшая скорость перемещения подвижного конца пружины при нагружении или при разгрузке v_{\max} , выносливость N_F и наружный диаметр пружины D_1 (предварительный).

Если задана только одна сила F_2 , то вместо рабочего хода h для подсчёта берут величину рабочей деформации s_2 , соответствующую заданной силе.

По величине заданной выносливости N_F предварительно определяют принадлежность пружины к соответствующему классу по ГОСТ 13764—86.

По заданной силе F_2 и крайним значениям инерционного зазора δ вычисляют значение силы F_3 по формуле:

$$F_3 = \frac{F_2}{1 - \delta}$$

По значению F_3 , пользуясь табл. 2 ГОСТ 13764—86, предварительно определяют разряд пружины.

По ГОСТ 13766—86-ГОСТ 13776—86 находят строку, в которой наружный диаметр витка пружины наиболее близок к предварительно заданному значению D_1 . В этой же строке находят соответствующие значения силы F_3 и диаметра проволоки d .

Для пружин из закаливаемых марок сталей максимальное касательное напряжение τ_3 находят по табл. 2 ГОСТ 13764—86, для пружин из холодно-тянутой и термообработанной τ_3 вычисляют с учетом значений временного сопротивления R_m . Для холодно-тянутой проволоки R_m определяют по ГОСТ 9389—75, для термообработанной - по ГОСТ 1071-81.

По полученным значениям F_3 и τ_3 , а также по заданному значению F_2 по формулам

$$v_k = \frac{\tau_3 \left(1 - \frac{F_2}{F_3}\right)}{\sqrt{2G_p} 10^{-3}},$$

для трехжильных пружин:

$$v_k = \frac{\tau_3 \left(1 - \frac{F_2}{F_3}\right)}{\sqrt{1,7G_p} 10^{-3}},$$

вычисляют критическую скорость v_k и отношение v_{\max}/v_k , подтверждающее или отрицающее принадлежность пружины к предварительно установленному классу.

При несоблюдении условий $v_{\max}/v_k < 1$ пружины I и II классов относят к последующему классу или повторяют расчёты, изменив исходные условия. Если невозможно изменение исходных условий, работоспособность обеспечивается комплектом запасных пружин.

По окончательно установленному классу и разряду в соответствующей таблице на параметры витков пружин, помимо ранее найденных величин F_3 , D_1 и d , находят величины c_1 и s_3 , после чего остальные размеры пружины и габариты узла вычисляют по соответствующим формулам:

Жесткость пружины c :

$$c = \frac{F_2 - F_1}{h} = \frac{F_2}{s_2} = \frac{F_3}{s_3} = \frac{Gd^4}{8D^3n}$$

Число рабочих витков пружины n :

$$n = \frac{c_1}{c}$$

Полное число витков пружины n_1 :

$$n_1 = n + n_2,$$

где n_2 – число опорных витков.

Средний диаметр пружины D :

$$D = D_1 - d = D_2 + d.$$

Предварительная деформация пружины s_1 :

$$s_1 = F_1/c.$$

Рабочая деформация пружины s_2 :

$$s_2 = F_2/c.$$

Максимальная деформация пружины s_3 :

$$s_3 = F_3/c.$$

Длина пружины при максимальной деформации:

$$l_3 = (n_1 + 1 - n_3)d,$$

где n_3 – число обработанных витков.

Длина пружины в свободном состоянии l_0 :

$$l_0 = l_3 + s_3.$$

Шаг пружины в свободном состоянии t :

$$t = s_3 + d.$$

Напряжение в пружине при предварительной деформации τ_1 :

$$\tau_1 = F_1 \cdot \tau_3 / F_3.$$

Напряжение в пружине при рабочей деформации τ_2 :

$$\tau_2 = F_2 \cdot \tau_3 / F_3.$$

Результаты расчёта: таблицы, графики и чертёж пружины (рис. 4, 5).

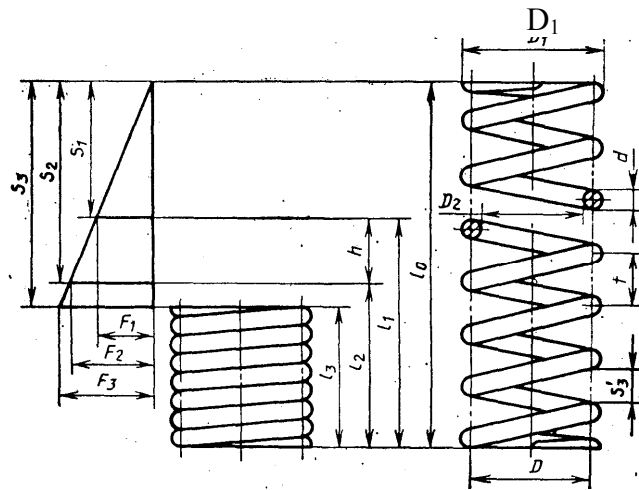


Рис. 4. Пружина сжатия

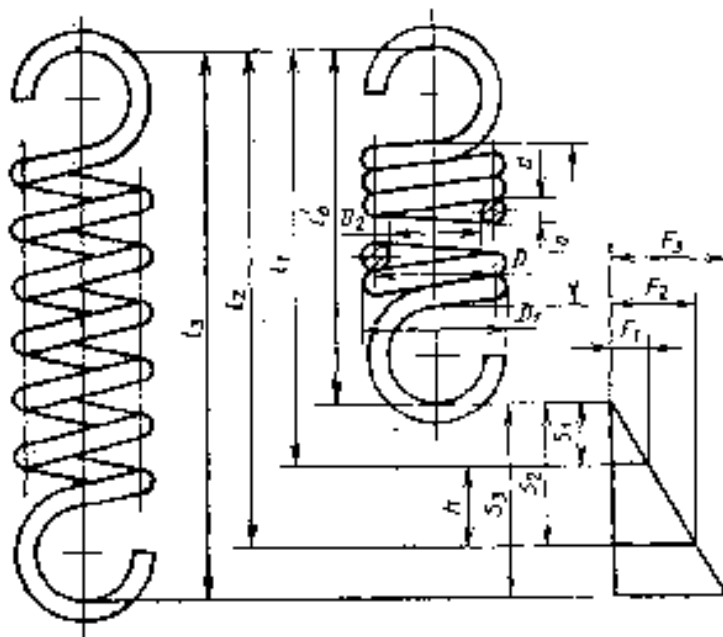


Рис. 5. Пружина растяжения

В задании 46 необходимо разработать автоматизированную подсистему расчёта и конструирования зубчатых передач. Подсистема включает базу данных характеристик зубчатых колёс, диалоговую программу, программу расчёта зубчатых передач и программу вывода графической информации (чертёж зубчатой передачи).

Исходными данными для данной подсистемы являются кинематические (передаточное отношение) и энергетические (модуль зубчатой передачи) параметры на выходе передачи, её материал и термообработка. Результат расчёта – геометрические характеристики каждого колеса зубчатой передачи: радиус делительной окружности; число зубьев; толщина зуба и ширина впадины по делительной окружности; высота зуба; радиус окружности впадин и т.д.

Результат работы подсистемы – таблица и чертёж зубчатой передачи.

Подсистема должна предусматривать возможность расчёта не менее двух видов зубчатых передач (цилиндрической прямозубой, цилиндрической косозубой, конической, гиперboloидной, червячной).

В з а д а н и и 47 необходимо разработать автоматизированную подсистему расчёта и конструирования кулачковых механизмов. Подсистема включает диалоговую программу, программу расчёта кулачковых механизмов и программу вывода графической информации (чертёж кулачкового механизма).

Исходными данными для данной подсистемы являются схема кулачкового механизма и закон движения толкателя.

Результат расчёта – основные размеры механизма (минимальный радиус-вектор кулачка, ход толкателя, радиус ролика и т.д.); теоретический и практический профили кулачка.

Результат работы подсистемы – таблица и чертёж кулачкового механизма.

В з а д а н и и 50 необходимо разработать автоматизированную подсистему ведения архива конструкторской документации. Подсистема должна обеспечивать оперативный поиск требуемой информации по коду и названию; добавление, удаление и коррекцию информации.

Курсовой проект

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДСИСТЕМЫ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Курсовой проект по дисциплине "Автоматизация конструкторского и технологического проектирования" предусматривает разработку алгоритма решения задачи автоматизированного проектирования технологического процесса, создание диалоговой среды и программы вывода полученной технологической информации.

Курсовой проект способствует закреплению лекционного материала и навыков, полученных на лабораторных занятиях, а также развитию умения работать со специальной литературой.

Каждый студент должен выполнить индивидуальное задание в течение семестра с использованием вычислительной техники.

Работа всех программ демонстрируется преподавателю, после чего оформляется отчёт, который должен иметь объём порядка 10-30 страниц и состоять из ряда обязательных разделов.

СОДЕРЖАНИЕ ОБЯЗАТЕЛЬНЫХ РАЗДЕЛОВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

1. Введение. Краткое описание сущности поставленной задачи.
2. Описание алгоритма решения задачи автоматизированного проектирования технологического процесса.
3. Информационное обеспечение разрабатываемой подсистемы.
4. Описание диалоговой подсистемы. Привести примеры диалоговых окон в последовательности работы подсистемы.
5. Примеры полученной технологической информации.
6. Выводы. Кратко обобщить основные результаты работы.
7. Литература. Указать литературные источники, используемые при выполнении курсовой работы в соответствии с ГОСТ 7.1-84: автор, название источника, место издания, издательство, год издания, количество страниц.
9. Приложение: распечатки программ, реализующих разработанную подсистему, и их описание согласно стандарту единой системы программной документации.

Описание программы должно содержать следующие разделы:

- общие сведения (обозначение и наименование программы, языки программирования, на которых написана программа);
- функциональное назначение;
- описание логической структуры (программа разбивается на логически законченные фрагменты - циклы, подпрограммы, ветвления, которые кратко описываются);
- используемые технические средства;
- вызов и загрузка программы;
- входные и выходные данные.

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Выполнение курсового проекта следует начать с изучения поставленной задачи по литературным источникам. После этого работа разбивается на ряд этапов, первый из которых - разработка алгоритма решения задачи автоматизированного проектирования технологического процесса. Здесь следует определить последовательность выполнения вычислительных, информационных и других процедур. Для решения задачи необходимо выбрать критерий оптимальности и варьируемые параметры, установить связь между ними и подобрать эффективный метод оптимизации. Далее следует создать программное обеспечение, реализующее алгоритмы.

Важной компонентой разрабатываемой подсистемы является информационное обеспечение. Требуется выбрать и обосновать метод организации данных, создать базу данных и заполнить её информацией, достаточной для работы контрольных примеров. Для этого использовать промышленные каталоги, классификаторы, справочники, ГОСТы и другие аналогичные источники.

Следующий этап - создание диалоговой подсистемы для удобной работы пользователя с автоматизированной системой технологической подготовки производства. Необходимо выбрать и обосновать наиболее целесообразный тип диалога: вопрос - ответ, меню, заполнение бланков, окно или их сочетание. Создать программное обеспечение, реализующее диалог с пользователем. Считать, что диалоговая подсистема разрабатывается для пользователя-технолога, не владеющего вычислительной техникой и программированием. Для этого предусмотреть подсказки, комментарии; данные и результаты должны выводиться в понятной для пользователя форме, вопросы не должны допускать неоднозначного толкования.

Завершающей частью работы создаваемой подсистемы является вывод полученной технологической информации. Необходимо предусмотреть возможность просмотра для пользователя полученного результата на экране дисплея, вывода его на печатающее устройство или графопостроитель и запоминания в базе данных (архиве).

Разработанная подсистема проверяется на контрольном примере. На этом этапе осуществляется исправление ошибок и неточностей, улучшение диалога и т.д.

Краткие рекомендации по выполнению заданий

В заданиях 1-3 входной информацией является код детали, для которой необходимо сформировать технологический маршрут. Выходная информация - требуемая маршрутная карта. База данных включает маршрутные карты на изготовление деталей, выпускаемых на предприятии (задание 1) либо на детали представители (задания 2, 3). Поиск нужной маршрутной карты в базе данных и её модификация (в заданиях 2, 3) должны осуществляться с минимальными затратами.

В заданиях 4, 5 требуется создать диалоговую подсистему формирования кода детали или технологического маршрута, используя в качестве вводной информации чертёж детали или маршрутную карту. Код должен отражать все особенности детали (конфигурацию, материал, точность обработки и т.д.) или технологического процесса. База данных должна включать классификационные таблицы и фрагменты кода.

Задание 6. При использовании методов управления, вариантного и адаптивного планирования необходимо размещать в базе данных большое количество маршрутных карт. Разработка максимально удобной для пользователей диалоговой подсистемы ввода информации при заполнении архива маршрутных карт - тема данного задания.

Задания 7-24 посвящены разработке АСТПП методом нового планирования в механообработке, а задания 25-30 - в сборочных производствах.

Задание 7. Входной информацией подсистемы автоматизированного обеспечения технологичности конструкций изделия являются различные конструкции узлов, изделий, выполняющих аналогичные функции. Необходимо рассчитать показатели технологичности и выбрать конструкцию, имеющую минимальные затраты на её изготовление.

Задание 8. Входной информацией подсистемы выбора заготовок является чертёж детали. В качестве критериев оптимального выбора могут использоваться: себестоимость изготовления заготовки, себестоимость механической обработки заготовки для получения детали, стоимость отходов металла. База данных включает полную информацию о заготовках. Выходная информация - заполненные строки "М" маршрутной карты.

В задании 9 по чертежу детали необходимо ввести информацию о поверхностях, на основании которой автоматизировать выбор основной и вспомогательных баз. В качестве критерия выбора основной базы можно использовать площадь поверхности. Задача выбора технологических баз трудно формализуемая, поэтому большая нагрузка ложится на диалоговую подсистему.

В заданиях 10 - 11 входной информацией является наименование технологических операций. Требуется спроектировать последовательность технологических переходов, составляющих операцию, оптимизируя один из следующих критериев: себестоимость технологического процесса, производительность, время изготовления. База данных должна включать информацию о технологических переходах. Выходная информация - заполненные строки "А" и "О" маршрутной карты.

В заданиях 12-13 требуется рассчитать глубину резания, скорость резания и определить подачу инструмента, при которых достигается максимальная производительность станка или минимальная стоимость изделия с учётом целесообразного использования режущих свойств инструментов и возможностей оборудования. База данных должна содержать общемашиностроительные нормативы режимов резания.

З а д а н и я 14-16. Входной информацией подсистемы выбора основного оборудования является описание технологической операции, чертёж детали и габаритные размеры заготовки. Необходимо выбрать основное оборудование, выполняющее заданную операцию, способное обработать имеющуюся заготовку и имеющее минимальную стоимость. База данных включает информацию о станках: мощность, максимальные размеры устанавливаемых заготовок, стоимость и т.д. Выходная информация - заполненные строки "Б" маршрутной карты.

В з а д а н и я х 17, 18, 28 проектирование станочных приспособлений и оснастки осуществляется в два этапа. На первом этапе по информации о технологической операции, виде заготовки (или сборочных единиц) осуществляется поиск в базе данных имеющейся стандартной оснастки. База данных заполняется информацией из [33]. В случае отсутствия требуемых приспособлений проектируется новая оснастка. Выходная информация - заполненные строки "Т" маршрутной карты.

В з а д а н и я х 19-22 по информации о технологической операции, используемом основном оборудовании, материале заготовки требуется выбрать из базы данных имеющийся или рассчитать необходимый инструмент. Задача осложняется большой размерностью номенклатуры инструментов, требующей хорошо продуманной организации базы данных. Выходная информация - заполненные строки "Т" маршрутной карты.

З а д а н и я 23, 29. Как правило, после выполнения технологических операций механической обработки или сборки необходимо осуществлять проверку правильности их выполнения. Подсистема проектирования операций контроля по информации об операциях механической обработки или сборки, которые необходимо контролировать, выбирает из базы данных требуемую операцию контроля, нужный инструмент и оборудование и заносит полученную информацию в маршрутную карту.

З а д а н и я 24, 30. Входной информацией подсистемы определения времени для технологических операций механической обработки или сборки является состав технологических переходов, входящих в операции, а также количество обрабатываемых деталей (собираемых изделий) партии. По исходным данным рассчитываются: норма подготовительно-заключительного времени и норма штучного времени на операцию, которые заносятся в соответствующие графы строки "Б" маршрутной карты. База данных содержит нормы времени и требуемые для расчётов коэффициенты.

В з а д а н и я 25 требуется определить набор деталей и узлов, подлежащих сборке. Входной информацией являются сборочные чертежи изделия и план выпуска изделий. По этой информации в диалоговом режиме выявляются возможные варианты расчленения изделия на детали и узлы и формируются наборы всех возможных вариантов сборочных единиц. В качестве критерия оптимальности решения поставленной задачи может быть использовано количество сборочных единиц, которое должно быть минимально. База данных должна содержать информацию об имеющихся на предприятии сборочных единицах и номерах складов или участков, с которых они будут

поступать на сборку. Выходная информация - заполненные строки "К" маршрутной карты.

З а д а н и е 28. Оптимальный набор сборочных единиц является входной информацией подсистемы автоматизированного проектирования технологических схем сборки изделий и узлов. Дополнительно вводится также информация об ограничениях на последовательность сборки и на одновременность установки нескольких деталей. Необходимо в диалоговом режиме выбрать оптимальную схему сборки (т.е. последовательность сборочных операций), используя один из следующих критериев: трудоёмкость, технологическая себестоимость процесса сборки или цикл (время) сборки изделия. База данных должна содержать операции сборки и их характеристики: трудоёмкость, время выполнения операции и т.д. Выходная информация - маршрутная карта и чертёж схемы сборки [24].

В з а д а н и и 27, исходя из сформированной схемы сборки, которая является входной информацией, требуется выбрать последовательность сборочных переходов, минимизирующую время сборочной операции. База данных должна содержать переходы и их характеристики: время выполнения, требуемые приспособления и инструмент и т.п. Выходная информация — операционная карта сборочных работ по ГОСТ 8.1407 - 86 [24].

Проектирование технологических процессов для станков с ЧПУ имеет ряд особенностей по сравнению с технологической подготовкой производства для обычных станков. Это связано с необходимостью создания и проверки управляющих программ. Этой тематике посвящены задания 31-40.

В з а д а н и я х 31—34 требуется разработать подсистему автоматизированного программирования различных типов станков с ЧПУ. Входной информацией для этих подсистем являются координаты контуров и поверхностей деталей, взятые с чертежа. По этой информации рассчитываются траектории движения инструмента, выбирается тип инструмента, число оборотов шпинделя и другие характеристики. Выходная информация — программа в кодах соответствующих станков с ЧПУ.

Полученная программа числового управления станками может иметь синтаксические ошибки, которые должны быть выявлены и исправлены подсистемой автоматизированного тестирования синтаксических ошибок в программах станков с ЧПУ (**з а д а н и я 35-37**).

Следующий этап отладки программ для ЧПУ - проверка правильности закодированной в программах информации. Такую проверку необходимо осуществить при выполнении **з а д а н и й 38 - 40**. Наиболее эффективный метод такой проверки - построение на экране графического дисплея (или на графопостроителе) траектории движения вершины инструмента в системе координат детали. При этом рабочие ходы инструмента изображаются сплошной линией, холостые - пунктирной. Перемещения различного инструмента рекомендуется изображать линиями разных цветов или различной толщины. Подсистема графического моделирования должна иметь возможность диалогового исправления ошибок в программе для ЧПУ.

Наиболее сложные задачи проектирования технологии возникают при технологической подготовке гибких производственных систем (ГПС), которые представляют собой комплекс технологического оборудования, промышленных роботов, транспортных систем, автоматических складов и систем управления, обеспечивающий производство различных изделий по различным технологиям. Одна из таких задач - выбор компоновочной схемы ГПС (з а д а н и е 41). Требуется расположить комплекс из N единиц технологического оборудования, каждое из которых может осуществлять $m(i)$ операций обработки, а также предложить схему связей (последовательных, параллельных, параллельно-последовательных), при которых выбранный критерий оптимален. В качестве критериев оптимальности могут быть использованы: производительность ГПС, затраты на изготовление партии деталей, трудоёмкость и другие. Выходная информация - компоновочная схема.

В з а д а н и и 42 рассматривается вторая задача технологической подготовки гибких производств - составление сменного расписания работы оборудования. Входная информация подсистемы - сменное задание ГПС, включающее номенклатуру обрабатываемых деталей и количество деталей каждого типа, которое необходимо обработать за смену. Выходная информация — расписание работы оборудования и транспортных систем, при котором производительность ГПС максимальна.

В з а д а н и я х 43 - 45 требуется разработать подсистему автоматизированного проектирования технологических процессов производства определённых в заданиях классов деталей. Наиболее целесообразный метод технологической подготовки в этом случае — вариантное или адаптивное планирование.

З а д а н и я 46 — 49: разработать подсистему автоматизированного проектирования определённых в заданиях классов технологических процессов.

З а д а н и е 50 заключается в разработке диалоговой подсистемы формирования технологического чертежа машиностроительной детали по сформированной в процесса подготовки производства маршрутной карте.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

1. Разработка подсистемы автоматизированного формирования технологических карт механической обработки методом управления [5].

2. Разработка подсистемы автоматизированного формирования технологических карт методом вариантного планирования [5].

3. Разработка подсистемы автоматизированного формирования технологических карт механической обработки методом адаптивного планирования [5].

4. Разработка подсистемы кодирования информации о детали при формировании технологических карт механической обработки или сборки методом адаптивного планирования [2-5, 8].

5. Разработка подсистемы кодирования информации о технологическом маршруте при формировании технологических карт механической обработки методом адаптивного планирования [3, 4, 5, 8, 17, 32].

6. Разработка диалоговой подсистемы ввода информации при заполнении маршрутных карт [1-5].

7. Разработка подсистемы автоматизированного обеспечения технологичности конструкции изделия [12, 13, 18].

8. Разработка подсистемы автоматизированного выбора заготовок [1, 4].

9. Разработка подсистемы автоматизированного выбора технологических баз [13].

10. Разработка подсистемы автоматизированного проектирования технологических операций токарной обработки [1, 13, 32].

11. Разработка подсистемы автоматизированного проектирования технологических операций фрезерной обработки [1, 13, 32].

12. Разработка автоматизированной подсистемы расчёта режимов резания технологических процессов токарной обработки деталей [1, 27].

13. Разработка автоматизированной подсистемы расчета режимов резания технологических процессов фрезерной обработки деталей [1, 23].

14. Разработка автоматизированной подсистемы выбора основного оборудования токарной обработки [2, 27].

15. Разработка автоматизированной подсистемы выбора основного оборудования фрезерной обработки [2, 27].

16. Разработка автоматизированной подсистемы выбора основного оборудования операций сверления [2, 27].

17. Разработка подсистемы автоматизированного проектирования станочных приспособлений токарного производства [11, 15, 27, 28, 30, 31].

18. Разработка подсистемы автоматизированного проектирования станочных приспособлений фрезерного производства [11, 15, 30, 31].

19. Разработка подсистемы автоматизированного проектирования инструмента токарного производства [2, 27, 29].

20. Разработка подсистемы автоматизированного выбора режущего инструмента сверлильной обработки [2, 27, 29, 30].

21. Разработка подсистемы автоматизированного проектирования вспомогательного инструмента механической обработки [16, 29].

22. Разработка подсистемы автоматизированного проектирования инструмента фрезерного производства [2, 29].

23. Разработка подсистемы автоматизированного проектирования операций контроля для механической обработки [2, 32].

24. Разработка автоматизированной подсистемы определения времени для технологических операций механической обработки [1, 27].

25. Разработка диалоговой подсистемы определения деталей и сборочных единиц, подлежащих сборке [12 –15].

26. Разработка подсистемы автоматизированного построения технологических схем сборки изделий и узлов [12-15, 24].

27. Разработка подсистемы автоматизированного проектирования технологических операции сборки [12-15, 24, 32].
28. Разработка подсистемы автоматизированного проектирования приспособлений для технологических операций сборки [12-15].
29. Разработка подсистемы автоматизированного проектирования операций контроля механосборочного производства [2, 12-15].
30. Разработка автоматизированной подсистемы определения или расчёта времени для технологических операций сборки [12-15].
31. Разработка подсистемы автоматизированного программирования токарных станков с ЧПУ [5, 10, 26, 34].
32. Разработка подсистемы автоматизированного программирования фрезерных станков с ЧПУ [5, 10, 26, 34].
33. Разработка подсистемы автоматизированного программирования сверлильных станков с ЧПУ [5, 10, 26, 34].
34. Разработка подсистемы автоматизированного программирования многоцелевых сверлильно-фрезерных станков с ЧПУ [5, 10, 26, 34].
35. Разработка системы автоматизированного тестирования синтаксических ошибок в программах для фрезерных станков с ЧПУ [5, 34].
36. Разработка подсистемы автоматизированного тестирования синтаксических ошибок в программах для сверлильных станков с ЧПУ [5, 34].
37. Разработка подсистемы автоматизированного тестирования синтаксических ошибок в программах для токарных станков с ЧПУ [5, 34].
38. Разработка подсистемы графического моделирования траектории движения инструмента для тестирования программ для сверлильных станков с ЧПУ [5, 26, 34].
39. Разработка подсистемы графического моделирования траектории движения инструмента для тестирования программ для токарных станков с ЧПУ [5, 26, 34].
40. Разработка подсистемы графического моделирования траектории движения инструмента для тестирования программ для фрезерных станков с ЧПУ [5, 26, 34].
41. Разработка автоматизированной подсистемы компоновки оборудования при технологической подготовке гибких производств механической обработки [6, 7, 10].
42. Разработка автоматизированной подсистемы формирования расписания работы оборудования при технологической подготовке гибких производств механической обработки [6, 7, 10].
43. Разработка автоматизированной подсистемы технологической подготовки производства деталей типа тел вращения [24, 25].
44. Разработка автоматизированной подсистемы технологической подготовки производства корпусных деталей [24].
45. Разработка автоматизированной подсистемы технологической подготовки производства деталей зубчатых передач [24].
46. Разработка автоматизированной подсистемы технологической подготовки раскройно - заготовительного производства [19].

47. Разработка автоматизированной подсистемы проектирования технологических процессов термообработки деталей [9].

48. Разработка подсистемы автоматизированного проектирования технологических операций холодной листовой штамповки и технологической оснастки штамповочного производства [22, 23].

49. Разработка подсистемы автоматизированного проектирования технологических операций горячей объёмной штамповки и технологической оснастки штамповочного производства [20, 21].

50. Разработка автоматизированной подсистемы формирования технологического чертежа машиностроительной детали [13].

Рекомендуемая литература

1. Рыжов Э.В., Аверченков В.И. Оптимизация технологических процессов механической обработки. – К.: Наук. думка, 1989. - 192 с.
2. Автоматизированное проектирование технологических процессов. /Гордон А.М., Сергеев А.П., Смоленцев В.П. и др. – Воронеж: ВГУ, 1986.-196 с.
3. Горанский Г.К. Кодирование информации о машиностроительных деталях в автоматизированных системах технологического проектирования. Вып.2.- Минск: БелНИИНТИ, 1989. - 184 с.
4. Формирование универсальной базы данных о деталях и технологии их обработки: Метод. рекомендации – М.: ЭНИМС, 1989.- 52 с.
5. Шпур Г., Краузе Ф.Л. Автоматизированное проектирование в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1988. - 648 с.
6. Ямпольский Л.С., Калинин О.М., Ткач М.М. Автоматизированные системы технологической подготовки робототехнического производства. К.: Вища шк., 1987.- 271 с.
7. Технологическая подготовка гибких производственных систем. / Митрофанов С.П., Куликов Д.Д., Миляев О.Н. и др.- Л.: Машиностроение, 1987.- 352 с.
8. Каштальян И.А., Бохан С.Г., Присевок А.Ф. САПР технологических процессов. Конспект лекций Минск: БПИ, 1987.- 66 с.
9. Ткачёва О.Н. Современные автоматизированные системы проектирования технологических процессов в машиностроении. М.: НИИмаш, 1984.- 71 с.
10. Автоматизированные системы технологической подготовки производства для гибких производственных систем механической обработки. Методические рекомендации. - М.: ВНИИТЭМР, 1985.- 108 с.
11. Сорокин А.М. Перспективные методы разработки систем автоматизированного проектирования станочных приспособлений. - М.:ВНИИТЭМР, 1990.- 64 с.
12. Проектирование автоматизированных сборочных процессов на основе оптимальных значений показателей эффективности производства./Ламин И.И., Бухтеева И.В., Самойлов И.И. и др. - М.: ВНИИТЭМР, 1989. - 56 с.
13. Челищев Б.Е., Боброва И.В., Гонсалес-Сабатер А. Автоматизация проектирования технологии в машиностроении. М.: Машиностроение, 1987.- 264 с.
14. Автоматизированная система проектирования технологических процессов механосборочного производства / Зарубин В.М., Капустин Н.М., Павлов В.В. и др.- М.: Машиностроение, 1979.- 247 с.
15. Диалоговое проектирование технологических процессов / Капустин Н.М., Павлов В.В., Козлов Л.А. и др. – М.: Машиностроение, 1983. - 255 с.
16. Фрумин Ю. Л. Комплексное проектирование инструментальной

оснастки. М.: Машиностроение, 1987.- 344 с.

17. Горанский Г.К., Бендерова Э.И. Информационное обеспечение АСТПП, унификация и классификация деталей и элементов технологических процессов. Вып. 3.- Минск: БелНИИНТИ, 1989. - 104 с.

18. Адмиров Ю.А. Технологичность конструкций изделия. Справочник. М.: Машиностроение, 1990. - 768 с.

19. Автоматизация технологической подготовки заготовительного производства / Г.П.Гырдымов, Л.И.Зильбербург, И.Д.Савченко и др. - Л.: Машиностроение, 1990.- 350 с.

20. Тетерин Г.П., Полухин П.И. Основы оптимизации и автоматизации проектирования технологических процессов горячей объемной штамповки. - М.: Машиностроение, 1979. - 284 с.

21. Тетерин Г.П., Алиев Ч.А. Система автоматизированного проектирования технологии горячей объемной штамповки. - М.: Машиностроение, 1987.- 222 с.

22. Автоматизация проектирования штампов для холодной листовой штамповки. /Аникин А.Д. и др. - Л.: Машиностроение, 1986.- 192 с.

23. Григорьев Л.Л. Автоматизированное проектирование в холодной листовой штамповке. - Л.: Машиностроение, 1984.- 280 с.

24. Проектирование технологии. / Баранчукова И.М., Гусев А. А. , Крамаренко Ю.Б. и др. - М.: Машиностроение. 1990.- 416 с.

25. Система технологической подготовки производства деталей типа тел вращения на автоматизированных участках. - М.: Машиностроение, 1982.- 113 с.

26. Сафраган Р.Э. Автоматизированная подготовка программ для станков с ЧПУ. Справочник. - К.: Техніка, 1986. - 191 с.

27. Горанский Г.К. Методика выбора металлорежущих станков, инструментов и режимов резания в автоматизированных системах технологического проектирования. Вып. 6.- Минск: БелНИИНТИ, 1990. - 64 с.

28. Горанский Г.К. Методика выбора универсальных станочных приспособлений в АСТПП. - Вып. 7. - Мн.: БелНИИНТИ, 1990. - 44 с.

29. Проектирование и расчет металлорежущего инструмента на ЭВМ: Учебное пособие для втузов /Таратынов О.В., Земсков Г.Г., Тарамыкин Ю.П. и др. - М.: Высшая школа, 1991 - 423 с.

30. Автоматизированное проектирование средств технологического оснащения /Фещенко А.И., Гордон А.М., Смоленцев В.П. и др. - Воронеж: Центр.-Чернозем. кн. изд-во, 1990. - 94 с.

31. Другакова М.Н., Ракович А.Г. Создание программных средств САПР приспособлений. - Мн.: Навука і техника, 1991. - 88 с.

32. Классификатор технологических переходов машиностроения и приборостроения. 1 89 187. - М.: Изд-во стандартов, 1991.- 120с.

33. Станочные приспособления. Детали и узлы. Сборник ГОСТов.- ч.7- М.: Изд-во стандартов, 1985. - 191 с.

34. Гжиров Р.И., Серебrenицкий П.П. Программирование обработки на станках с ЧПУ: Справочник. - Л.: Машиностроение, 1990 - 588 с.

35. САПР в 9 книгах: кн.6. Капустин Н.М., Васильев Г.Н. Автоматизация конструкторского и технологического проектирования. – Минск: Высшая школа, 1988. – 191 с.
36. Автоматизированное проектирование объемно-планировочных решений компоновки оборудования ГАПС: Метод. Указ./ Сост. С.Я.Егоров, В.Г.Мокрозуб, В.А.Немтинов. – Тамбов: ТГТУ, 1999. – 36 с.
37. Зайцев И.Д. Теория и методы автоматизированного проектирования химических производств. – Киев: Наук. Думка, 1981. – 308 с.
38. Стоян Ю.Г., Гиль Н.И. Методы и алгоритмы размещения плоских геометрических объектов. – Киев: Наук. Думка, 1976. – 248 с.
39. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования: Справочник. Т.1.- Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2002. – 852 с.
40. Теория механизмов и механика машин: Учеб. для втузов/ Фролов К.В., Попов С.А., Мусатов А.К. и др. – М.: Высш. шк., 1998. – 496 с.
41. Воробьев Ю.В., Никитина Л.Х., Промтов М.А. Теория механизмов и машин химических и других производств. Тамбов: ТГТУ, 2003. – 164 с.
42. Белоконев И.М. Теория механизмов и машин. Методы автоматизированного проектирования. – К.: Выща шк., 1990. – 208 с.
43. Щепетильников В.А. Уравновешивание механизмов. – М.: Машиностроение, 1982. – 256 с.
44. ГОСТы 13764-86 - 13769-86.
45. Айрапетов Э.Л., Генкин М.Д., Ряснов Ю.А. Статика зубчатых передач. – М.: Наука, 1983. – 142 с.
46. Конструирование и расчет машин химических производств/ Ю.И.Гусев, И.Н.Карасев, Э.Э.Кольман-Иванов и др. - М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.
47. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. М.: Наука, 1988. – 640 с.
48. Фокс А., Пратт М. Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве. М.: Мир, 1982. – 304 с.
49. Математика и САПР: В 2-х кн. Кн.2. Вычислительные методы. Геометрические методы./ Жермен-Лакур П., Жорж П.Л., Пистр Ф., Безье П. – М.: Мир, 1989. – 264 с.
50. Коннолли Т., Бегг К., Страчан А. Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика. – М.: Издат. дом «Вильямс», 2001. – 1120 с.
51. Компоновка и конструкции микроселектронной аппаратуры/ П.И.Овсищев, И.И. Лившиц и др. – М.: Радио и связь, 1996.
52. Морозов К.К. Автоматизированное проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Радио и связь, 1983.
53. САПР электронной и вычислительной аппаратуры/ И.П.Норенков и др. 1983.