

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

---

Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

---

И. Г. КАДИЕВ   Н. И. ЗАОЗЕРСКАЯ   В. Б. ЯКОВЛЕВ

**ПРАКТИКУМ  
ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА  
И УПРАВЛЕНИЮ ПРЕДПРИЯТИЕМ**

Учебное пособие

Санкт-Петербург  
Издательство «СПбГЭТУ»  
2015

УДК 658.5  
ББК 65.291.21я73  
К 13

**Кадиев И. Г., Заозерская Н. И., Яковлев В. Б.**

К 13 Практикум по организации производства и управлению предприятием: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. 90 с.

ISBN 978-5-7629-

На примерах практических бизнес-ситуаций изложены основы методологии анализа, планирования, организации производства и управления предприятием.

Предназначено для студентов технических направлений и специальностей всех форм обучения.

УДК 658.5  
ББК 65.291.21я73

Рецензенты: кафедра предпринимательства и коммерции СПбПУ; д-р экон. наук, доц. М. Г. Григорян (СПбГЭУ).

Утверждено  
редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия

ISBN 978-5-7629-  
© Кадиев И. Г., Заозерская Н. И., Яковлев В. Б.  
© СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015

# 1. ТРЕБОВАНИЯ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

## 1.1. Содержание тем

**Введение.** Предмет, задачи и связь дисциплины с другими организационно-экономическими дисциплинами учебного плана подготовки бакалавров технических направлений и специальностей. Структура и содержание дисциплины, ее эволюция и современное состояние.

**Тема 1. *Предприятие и его среда.*** Предприятие: понятие, место в рыночной экономике. Аспекты рассмотрения хозяйствующего субъекта. Предприятие как целостная система. Предприятие как производственно-технологическая система. Предприятие как система контактов. Предприятие как субъект гражданского права. Организационно-правовые формы предпринимательской деятельности. Среда деятельности хозяйствующих субъектов. Внутренняя среда предприятия. Внешняя среда прямого и косвенного влияния на предприятие.

**Тема 2. *Организация производственных процессов на предприятии.*** Производственный процесс: понятие, структура и принципы рациональной организации. Производственный цикл: состав, структура и длительность. Пути сокращения длительности производственного цикла. Способы организации производственного процесса во времени, их характеристики и условия применения. Последовательный, параллельный и параллельно-последовательный многооперационный циклы. Типы производства и их организационно-экономическая характеристика. Особенности организации производственных процессов в различных типах производства. Организация производственных подразделений предприятия. Организация предметно и технологически специализированных участков. Поточное производство: организационно-экономическая характеристика. Виды поточных линий, порядок расчета основных параметров поточных линий. Организация однопредметных непрерывно-поточных линий. Организация однопредметных прерывно-поточных линий. Организация многопредметных поточных линий. Организация и эффективность гибких автоматизированных производственных систем.

**Тема 3. *Процесс управления: структура и функции.*** Менеджмент: понятие, сущность. Объекты и виды менеджмента. Категории менеджмента. Принципы менеджмента. Функции менеджмента: планирование, организация, мотивация, контроль. Теории и модели мотивации. Связующие процессы: принятие решений и коммуникации. Прогнозирование и планирование

бизнес-процессов. Методы научно-технического прогнозирования. Программно-целевое и тематическое планирование. Календарное планирование. Система сетевого планирования и управления: основные определения, виды сетевых графиков, порядок построения сетевого графика комплекса работ, расчет параметров и оптимизация сетевого графика. Применение средств автоматизации планирования и управления. Оперативное управление и его сущность. Оперативно-календарное, объемное планирование, диспетчирование. Календарно-плановые нормативы. Системы оперативного управления производством: позаказная, комплексно-узловая, комплексно-групповая, «точно в срок».

**Тема 4. Структура предприятия.** Сущность и значение структуры предприятия. Иерархия структурных подразделений хозяйствующих субъектов. Организационная структура предприятия. Типы организационных структур предприятия. Бюрократическая (линейная) организационная структура. Функциональная организационная структура. Комбинированные организационные структуры. Механические и органические (адаптивные) организационные структуры. Матричная структура (проектная) предприятия. Факторы, влияющие на тип организационной структуры предприятия. Производственная структура хозяйствующего субъекта. Факторы производственной структуры. Типы специализации производственных подразделений.

**Тема 5. Организация инновационных процессов в предприятии.** Научно-технические инновации: понятие, содержание, виды инноваций. Этапы инновационного процесса. Факторы, влияющие на инновационную активность. Государственная инновационная политика. Формы организации инновационной деятельности. Малое инновационное предпринимательство, его сущность и роль в современной экономике. Организация венчурного бизнеса и источники финансирования. Инфраструктура венчурного бизнеса: венчурные фонды, инжиниринговые и внедренческие организации. Технопарковые структуры организации инновационной деятельности. Технополисы. Регионы науки и технологий. Организация научных исследований и разработок в крупном инновационном предприятии. Формы крупных промышленных корпораций: концерн, финансово-промышленная группа, глобальная корпорация. Формы научно-технического партнерства: консорциум, стратегический альянс, сетевые союзы. Стратегии промышленных предприятий в сфере исследований и разработок. Стратегический менеджмент, деловая стратегия

предприятия. Основные виды инновационных стратегий. Факторы и условия эффективности инновационных стратегий.

## **1.2. Открытые вопросы для подготовки к тестированию по лекционному материалу**

### ***Введение***

1. Определите понятие «производственный менеджмент».
2. Определите содержание производственной и операционной деятельности предприятия.

### ***Тема 1. Предприятие и его среда***

1. Дайте определение предприятия.
2. Перечислите системные аспекты предприятия.
3. Что входит в состав средств производства предприятия?
4. Определите основные компоненты предприятия как системы.
5. Раскройте понятия открытости и целеактивности предприятия как системы.
6. Определите понятие производственной функции.
7. Определите понятие стратегии концентрации.
8. Определите понятие стратегии интеграции.
9. Определите понятие стратегии диверсификации.
10. Что понимается под эффектом от масштаба производства и эффектом от разнообразия?
11. Определите понятие и содержание транзакционных издержек.
12. Сформулируйте понятие оптимальных размеров предприятия.
13. Определите основное содержание деятельности предприятия как предпринимательской структуры.
14. Определите понятие предпринимательской деятельности в соответствии с ГК РФ.
15. Перечислите правовые формы предпринимательской деятельности без образования юридического лица.
16. Могут ли членами простого товарищества быть юридические лица? Ответ обоснуйте.
17. Определите понятие юридического лица.
18. Определите понятие организационно-правовой формы предпринимательской деятельности.
19. Дайте определение коммерческой организации.

20. Перечислите организационно-правовые формы коммерческих организаций.

21. Перечислите организационно-правовые формы некоммерческих организаций.

22. Определите понятие хозяйственных товариществ и перечислите формы их создания.

23. Дайте определение полного товарищества.

24. Дайте определение товарищества на вере.

25. В чем состоят различия полных товарищей (комплементариев) от вкладчиков (коммандитистов)?

26. Определите понятие хозяйственных обществ.

27. Каковы существенные признаки хозяйственных обществ?

28. Перечислите организационно-правовые формы хозяйственных обществ.

29. Определите понятие общества с ограниченной ответственностью.

30. Определите состав и содержание учредительных документов общества с ограниченной ответственностью.

31. Перечислите компетенции общего собрания участников общества с ограниченной ответственностью.

32. Каковы преимущества общества с ограниченной ответственностью как формы ведения бизнеса?

33. Определите понятие общества с дополнительной ответственностью.

34. В чем отличие распределения ответственности по обязательствам между участниками ООО и ОДО?

35. Определите понятие акционерного общества.

36. Какие существуют формы акционерных обществ и в чем их различия?

37. Чем определяется уставный капитал акционерного общества?

38. В чем различие обыкновенных и привилегированных акций?

39. Перечислите и определите компетенции органов управления акционерным обществом.

40. Определите понятие дочернего общества.

41. Определите понятие зависимого общества.

42. Определите понятие производственного кооператива (артели).

43. Определите понятие унитарного предприятия.

44. Кто является собственником имущества унитарного предприятия?

45. Охарактеризуйте виды унитарных предприятий по праву распоряжения закрепленным за ним имуществом.
46. Назовите учредителя федерального казенного предприятия.
47. Назовите учредителя казенного предприятия субъекта Российской Федерации.
48. Назовите учредителя муниципального казенного предприятия.
49. Кто определяет порядок распределения доходов казенного предприятия?
50. Определите правовой и имущественный статус филиала и представительства.
51. Перечислите формы преобразования юридических лиц.
52. Перечислите и охарактеризуйте методы объединения юридических лиц.
53. Что может служить основанием для разделения общества?
54. В чем различие разделения общества и отделения общества?
55. Что понимается под преобразованием общества?
56. Дайте определение некоммерческой организации.
57. Перечислите и кратко охарактеризуйте организационно-правовые формы некоммерческих организаций.
58. Дайте определение среды деятельности предприятия.
59. Воспроизведите рисунок структуры среды деятельности предприятия.
60. Определите внутреннюю среду предприятия и перечислите ее элементы.
61. Назовите и охарактеризуйте ключевой фактор внутренней среды предприятия.
62. Назовите и охарактеризуйте виды активов предприятия.
63. Определите понятие структуры предприятия и охарактеризуйте ее виды.
64. Определите понятие систем как элемента внутренней среды предприятия.
65. Определите понятие культуры (организационной, корпоративной) и раскройте содержание ее компонентов.

## ***Тема 2. Организация производственных процессов в предприятиях***

1. Дайте определение производственного процесса и охарактеризуйте его факторы.
2. Определите генеральные функции предприятия.

3. Охарактеризуйте виды процессов по их назначению и роли в производстве.
4. Определите стадии основного производства.
5. Дайте определение операции, как части производственного процесса и классифицируйте их.
6. Перечислите принципы рациональной организации производства.
7. Раскройте содержание принципа специализации.
8. Укажите достоинства и недостатки предметной и технологической специализации.
9. Раскройте содержание принципа пропорциональности.
10. Раскройте содержание принципа непрерывности.
11. Раскройте содержание принципа параллельности.
12. Раскройте содержание принципа прямоточности.
13. Раскройте содержание принципа ритмичности.
14. Раскройте содержание принципа гибкости.
15. Дайте определение производственного цикла изготовления изделия и назовите его характеристики.
16. Дайте определение структуры производственного цикла изготовления изделия и раскройте его обобщенный состав.
17. Раскройте состав и содержание активных процессов изготовления изделий.
18. Раскройте состав и содержание состояний пролеживания изделий.
19. Дайте развернутое определение длительности производственного цикла изготовления партии изделий.
20. Перечислите и охарактеризуйте элементы затрат рабочего времени.
21. Дайте определение нормы штучного времени.
22. Охарактеризуйте пути сокращения длительности производственного цикла.
23. Дайте определение партии изделий.
24. Дайте развернутое определение многооперационного цикла изготовления партии изделий и охарактеризуйте его компоненты.
25. Назовите виды многооперационного цикла.
26. Охарактеризуйте последовательный многооперационный цикл.
27. Охарактеризуйте параллельный многооперационный цикл.
28. Охарактеризуйте параллельно-последовательный многооперационный цикл.



29. Дайте понятие типа производства.
30. Назовите основные типы производства и дайте их краткую организационно-экономическую характеристику.
31. Дайте определение коэффициента закрепления операций и свяжите его значение с типами производства.
32. Дайте определение поточного производства и укажите его основные свойства.
33. Классифицируйте виды поточных линий.
34. Определите порядок организации и расчет основных параметров однопредметных непрерывно-поточных линий.
35. Определите порядок организации и расчет основных параметров однопредметных прерывно-поточных линий.
36. Дайте краткую характеристику многопредметных поточных линий.
37. Дайте краткую характеристику гибких автоматических производственных систем.

### ***Тема 3. Процесс управления: структура и функции***

1. Определите понятие «менеджмент».
2. Свяжите понятия вертикального и горизонтального разделения труда с содержанием профессии менеджера.
3. Раскройте существующие подходы к определению содержания управления.
4. Дайте классификацию объектов и видов менеджмента.
5. Определите категории менеджмента.
6. Дайте определение принципов менеджмента.
7. Раскройте содержание принципа системности.
8. Раскройте содержание принципа иерархической упорядоченности.
9. Раскройте содержание принципа целевой направленности.
10. Раскройте содержание принципа научной обоснованности и оптимальности.
11. Раскройте содержание принципа оптимального сочетания централизации и децентрализации.
12. Раскройте понятие организационной структуры менеджмента.
13. Определите субъекты менеджмента, их иерархию.
14. Определите объекты менеджмента.
15. Определите информационное взаимодействие уровней менеджмента.
16. Дайте определение функции менеджмента.

17. Раскройте сущность процессного подхода к управлению.
18. Определите понятие управленческого цикла.
19. Раскройте содержание функции планирования.
20. Определите этапы процесса планирования.
21. Определите горизонты планирования.
22. Раскройте содержание функции организации.
23. Раскройте содержание функции мотивации.
24. Дайте описание простой модели мотивации.
25. Раскройте сущность содержательных и процессуальных теорий мотивации.
26. Раскройте сущность иерархии потребностей Абрахама Маслоу.
27. Раскройте сущность теории справедливости Стейси Адамса.
28. Раскройте сущность теории ожиданий Виктора Врума.
29. Раскройте содержание функции контроля.
30. Определите этапы процесса контроля.
31. Определите содержание этапа установления стандартов в процессе реализации функции контроля.
32. Определите содержание этапа учета в процессе реализации функции контроля.
33. Определите содержание этапа контроля в процессе реализации функции контроля.
34. Определите содержание этапа анализа в процессе реализации функции контроля.
35. Определите содержание этапа регулирования в процессе реализации функции контроля.
36. Охарактеризуйте виды контроля по времени их проведения.
37. Дайте определение качества продукции.
38. Сформулируйте концепцию всеобщего контроля качества (TQM).
39. Определите понятие связующего процесса коммуникаций.
40. Раскройте содержание прямого коммуникационного процесса.
41. Назовите этапы коммуникационного процесса.
42. Определите виды коммуникаций.
43. Охарактеризуйте коммуникационный процесс с обратной связью и шумом.
44. Назовите трудности в развитии коммуникации.
45. Определите пути улучшения системы коммуникации.

46. Раскройте содержание процесса принятия управленческого решения.
47. Раскройте сущность научно-технического прогнозирования.
48. Назовите и кратко охарактеризуйте методы научно-технического прогнозирования.
49. Дайте понятие метода экстраполяции.
50. Что означают термины «тренд», «лаг»?
51. Для чего применяются экспертные методы?
52. Определите назначение номинальных шкал при экспертном оценивании.
53. Определите назначение порядковых шкал при экспертном оценивании.
54. Определите назначение количественных шкал при экспертном оценивании.
55. Кратко охарактеризуйте методы коллективной экспертизы.
56. Кратко охарактеризуйте методы моделирования.

#### ***Тема 4. Структура предприятия***

1. Дайте понятие структуры предприятия (фирмы) и аспектов ее рассмотрения.
2. Определите понятие организационной структуры предприятия (фирмы).
3. Определите иерархию и состав структурных подразделений крупной фирмы.
4. Определите административно-правовой статус отделения (филиала, производства) в организационной структуре предприятия (фирмы).
5. Определите административно-правовой статус цеха в организационной структуре предприятия (фирмы).
6. Определите административно-правовой статус участка в организационной структуре предприятия (фирмы).
7. Определите административно-правовой статус бригады в организационной структуре предприятия (фирмы).
8. Определите административно-правовой статус элементарной производственно-хозяйственной системы в организационной структуре предприятия (фирмы).
9. Назовите типы организационных структур фирмы.
10. Охарактеризуйте линейную (бюрократическую) организационную структуру.
11. Охарактеризуйте функциональную организационную структуру.

12. Охарактеризуйте линейно-функциональную организационную структуру.

13. Дайте определение дивизиональных организационных структур.

14. Охарактеризуйте продуктовую дивизиональную структуру.

15. Охарактеризуйте организационную структуру, ориентированную на потребителя.

16. Охарактеризуйте региональную дивизиональную структуру.

17. Охарактеризуйте матричную (проектную) структуру.

18. Раскройте наиболее существенные факторы, определяющие выбор организационной структуры фирмы.

19. Как классифицируются организационные структуры с точки зрения характера их взаимодействия с внешней средой?

20. Раскройте понятие механистической структуры.

21. Раскройте понятие органической структуры.

22. Дайте определение производственной структуры фирмы.

23. Раскройте факторы, определяющие производственную структуру фирмы.

24. Раскройте типы специализации производственных подразделений.

25. Определите производственную структуру цеха.

26. Охарактеризуйте виды предметно-замкнутых участков.

### ***Тема 5. Организация инновационных процессов на предприятии***

1. Дайте определение научно-технических инноваций.

2. Раскройте дуализм понятия «инновации».

3. Перечислите основные классификационные признаки инноваций.

4. Охарактеризуйте материально-технические и социальные инновации.

5. Раскройте классификацию инноваций по инновационному потенциалу.

6. Как классифицируются инновации по отношению к своему предшественнику?

7. Раскройте содержание и взаимосвязь этапов инновационного процесса.

8. Классифицируйте виды НИР и НИОКР.

9. Раскройте факторы, влияющие на инновационную активность фирмы.

10. Раскройте основные положения инновационной теории спроса и теории смены технологических укладов.

11. Охарактеризуйте формы реализации государственной инновационной политики.

12. Классифицируйте формы организации инновационной деятельности.

13. Охарактеризуйте венчурное предпринимательство.
14. Охарактеризуйте основные элементы малого инновационного предпринимательства.
15. Раскройте структуру венчурного бизнеса.
16. В чем заключается специфика венчурного финансирования?
17. В чем проявляются достоинства крупных промышленных корпораций при освоении новой наукоемкой продукции и технологий?
18. Охарактеризуйте методы формирования бюджета крупных инновационных корпораций.
19. Раскройте схему формирования портфеля заказов на проведение НИОКР в крупной инновационной фирме.
20. Охарактеризуйте формы научно-технического партнерства крупных инновационных фирм.
21. Раскройте концепцию стратегического менеджмента.
22. Назовите основные виды инновационной стратегии фирмы и раскройте их сущность.
23. Раскройте схему разработки и реализации деловой стратегии фирмы.
24. Охарактеризуйте основные разновидности пассивной стратегии фирмы.
25. Охарактеризуйте основные виды активной инновационной стратегии фирмы.
26. Дайте определение комплексной подготовки производства.
27. Раскройте содержание и взаимосвязь этапов комплексной подготовки производства.
28. Раскройте содержание организационно-плановой подготовки производства.
29. Раскройте содержание социально-психологической подготовки производства.
30. Назовите этапы проведения научно-исследовательских работ.
31. Дайте определение и назовите стадии проведения конструкторской подготовки производства.
32. Раскройте содержание стадии разработки технического задания при проведении конструкторской подготовки производства.
33. Раскройте содержание стадии разработки технического предложения при проведении конструкторской подготовки производства.

34. Раскройте содержание стадии эскизного проектирования при проведении конструкторской подготовки производства.

35. Раскройте содержание стадии технического проектирования при проведении конструкторской подготовки производства.

36. Раскройте содержание стадии рабочего проектирования при проведении конструкторской подготовки производства.

37. Раскройте понятия конструктивности и технологичности изделия.

38. Раскройте содержание понятия унификации изделий.

39. В чем состоит задача отработки конструкции изделия на технологичность?

40. Дайте определение технологической подготовки производства и раскройте содержание работ по проектированию технологических процессов.

41. Определите этапы технологической подготовки производства.

42. Перечислите основные виды технологической документации и раскройте их содержание.

## **2. МАТЕРИАЛЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

### **2.1. Способы организации производственного процесса во времени, их характеристики и условия применения**

Без научно обоснованного расчета длительности производственного цикла (времени от момента запуска сырья и материалов в производство до момента выхода готовой продукции) нельзя правильно составить производственную программу предприятия и его цехов, определить технико-экономические показатели производственной деятельности.

Длительность производственного цикла влияет на сроки подготовки производства инновационной продукции, оборачиваемость средств, является важной величиной при организации оперативно-производственного планирования, материально-технического снабжения и т. д.

Основными направлениями сокращения длительности производственного цикла являются:

- совершенствование технологии в части ее интенсификации;
- замена естественных процессов искусственными;
- совмещение транспортных и контрольных операций с технологическими, что требует, в свою очередь, применения более совершенных транспортных и контрольных средств;
- увеличение сменности с целью сокращения межсменного пролеживания;
- внедрение научной организации труда на рабочих местах;
- использование рациональных способов (видов) сочетания операций (видов движения предметов труда с операции на операцию).

Инновационные изделия в процессе производства проходят сложный цикл и изготавливаются, как правило, партиями. Партия изделий – это группа одинаковых изделий, запускаемых в производственный процесс. Процесс изготовления партии состоит из совокупности операционных циклов, каждый из которых представляет собой выполнение одной операции над всеми предметами труда в данной партии.

Совокупность операционных циклов, а также способ сочетания во времени смежных операционных циклов и их частей образуют структуру многооперационного цикла. Важнейшей характеристикой операционного (многооперационного) цикла является его длительность.

Длительность операционного цикла – это период от момента начала до момента окончания изготовления партии инновационных изделий на одной

технологической операции. Длительность многооперационного цикла – это период от момента начала до момента окончания изготовления партии инновационных изделий на данной совокупности операций.

Выделяют три вида многооперационного цикла:

- 1) последовательный;
- 2) параллельный;
- 3) параллельно-последовательный (смешанный).

Рассмотрим порядок расчета многооперационного цикла на следующем демонстрационном примере.

Производственный процесс состоит из трех операций. В производство запускается партия из пяти изделий. Заданы нормы штучного времени обработки деталей на каждой операции (табл. 2.1).

Таблица 2.1

**Технологический процесс обработки деталей**

Номер операции	1	2	3
Время обработки деталей на операции, мин	1	3	2

Введем обозначения:  $m = 3$  – количество операций многооперационного технологического процесса;  $i = \overline{1, m}$  – номер операции технологического процесса;  $n = 5$  (шт.) – размер партии изделий;  $p$  (шт.) – размер *передаточной партии* изделий: то количество изделий, которое передается на последующую операцию, как единое целое, сразу после завершения предыдущей операции над передаточной партией и  $T_i$  (мин) норма штучного времени операции с номером  $i$ . В общем случае  $n = k \cdot p$ , где  $k$  – целое. Примем  $p = 1$  (поштучная передача).

Будем считать, что время передачи с операции на операцию несущественно по сравнению с длительностью самой операции. Движение изделий по операциям многооперационного цикла представим ленточным графиком в декартовой системе координат; по оси ординат будем откладывать номер операции, а по оси абсцисс – время.

**1. Последовательный** многооперационный цикл заключается в передаче деталей с операции на операцию партиями и только после того, как закончена обработка всей партии на предыдущей операции. Длительность многооперационного цикла ( $\dot{O}_i$ ) при этом имеет вид



$$\dot{O}_1 = n \sum_{i=1}^m \dot{O}_i,$$

где  $\dot{O}_i$  – время обработки одной детали на всех операциях;  $n$  – число деталей в партии.

$$\dot{O}_1 = n \sum_{i=1}^m \dot{O}_i = 5(1 + 3 + 2) = 30 \text{ мин.}$$

Для оценки оборотных средств в незавершенном производстве необходимо рассчитать общее время пролеживания всех изделий партии  $\dot{O}_1$ :

$$\dot{O}_1 = nT_{\text{вн}} = n(n-1) \sum_{i=1}^m \dot{O}_i,$$

где  $T_{\text{вн}} = \dot{O}_1 - T_{\text{сум}} = (n-1) \sum_{i=1}^m \dot{O}_i$ , – общее время внутрипартионного проле-

живания одного изделия на всех операциях,  $T_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^m \dot{O}_i$  – суммарное время

обработки одного изделия на всех операциях.

График движения изделий по операциям последовательного многооперационного цикла представлен на рис. 2.1.

Достоинствами последовательного цикла являются:

- отсутствие перерывов в работе рабочих и оборудования на всех операциях;

- простота организации.

В то же время последовательному циклу присущи и недостатки:

- большое время пролеживания и большой объем незавершенного производства;

- значительная общая длительность из-за отсутствия параллельности в обработке изделий.

Поэтому последовательный способ обработки применяется в единичном и мелкосерийном производстве или при изготовлении небольших партий малотрудоемких изделий.

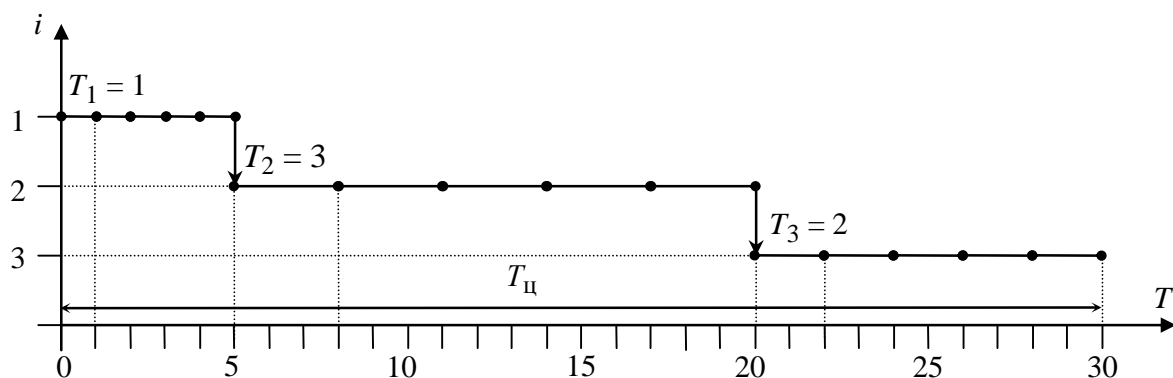


Рис. 2.1. График последовательного многооперационного цикла

2. *Параллельным* называется такой способ организации многооперационного цикла, при котором обработка каждой передаточной партии на последующей операции начинается сразу по завершении предыдущей операции. Оборудование работает непрерывно на наибольшей по длительности (главной) операции.

Длительность параллельного производственного цикла в этом случае рассчитывается по формуле

$$\dot{O}_{\text{пар}} = p \sum_{i=1}^n \dot{O}_i + (n - p)T_{\text{аэ}} = 1(1 + 3 + 2) + (5 - 1)3 = 18 \text{ ÷ ед.в.},$$

где  $p$  – размер передаточной партии изделий, т. е. количество изделий, которое передается на последующую операцию как единое целое, сразу после завершения предыдущей операции;  $T_{\text{аэ}} = \max\{T_i\}$  – операция с наибольшей нормой времени.

Примем  $p = 1$  (поштучная передача).

Структура параллельного цикла представляет собой упорядоченную совокупность операционных циклов обработки передаточных партий, в максимальной степени перекрывающихся во времени на каждой паре смежных операций.

В идеальном параллельном многооперационном цикле каждая деталь партии проходит непрерывную обработку на всех операциях. Поэтому на практике порядок построения графика параллельного процесса (рис. 2.2) заключается в следующем:

- строится график непрерывной обработки первой детали партии на всех операциях;
- определяется наибольшая операция (в примере – это 2-я операция);

- устанавливается последовательность непрерывной обработки остальных деталей партии на наибольшей операции;
- с опорой на построенный график обработки партии на наибольшей операции достраиваются графики обработки деталей партии для всех операций, кроме главной.

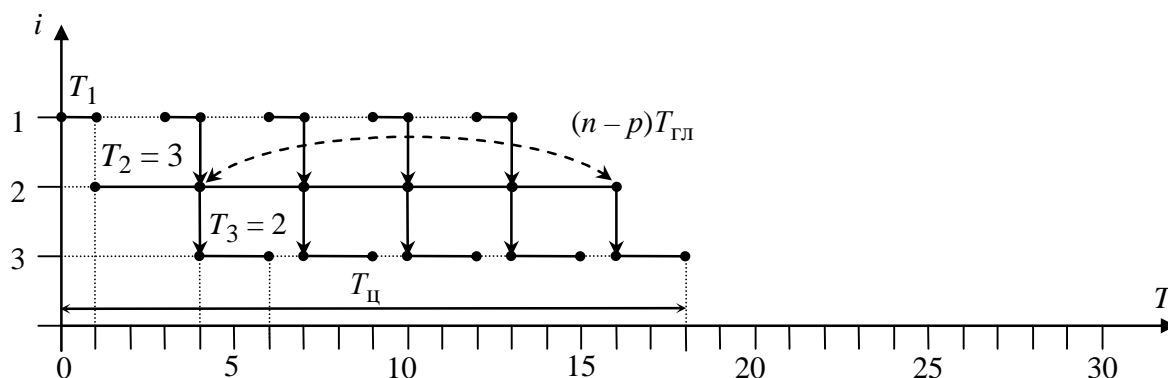


Рис. 2.3. График параллельного многооперационного цикла

Достоинства параллельного способа обработки:

- минимальная длительность многооперационного цикла;
- отсутствие внутриоперационного пролеживания; изделия задерживаются только на первой операции в ожидании очередности и на последней – в ожидании сдачи всей партии;
- выраженная ритмичность процесса.

К недостаткам параллельного метода относятся:

- перерывы в работе оборудования на всех операциях, кроме наибольшей, что вызывает снижение эффективности работы оборудования и рабочих (весь участок занят);
- сложность планирования и координации работы смежных технологических операций.

Вследствие этого параллельный метод применяется для обработки относительно дорогостоящих деталей с большой продолжительностью операций, а также на непрерывно-поточных линиях, где операции хорошо синхронизованы (в идеальном случае все  $\dot{O}_i$  равны).

3. *Параллельно-последовательным* называется такой способ организации многооперационного цикла, при котором передача каждой партии на последующую операцию осуществляется по окончании ее обработки на предыдущей операции. Оборудование на каждой операции работает непрерывно.

Общий принцип определения длительности параллельно-последовательного многооперационного цикла ( $\dot{O}_{\Pi}$ ) состоит в том, что из длительности последовательного многооперационного цикла вычитается сумма времен перекрытий ( $\dot{O}_{i \rightarrow i+1}$ ) на всех парах смежных операций:

$$\dot{O}_{\Pi} = \dot{O}_i - T_{i \rightarrow i+1} ;$$

$$T_{i \rightarrow i+1} = \sum_{i=1}^{m-1} (n-p) \min\{\dot{O}_i, \dot{O}_{i+1}\}$$

$$\dot{O}_{\Pi} = n \sum_{i=1}^m \dot{O}_i - (n-p) \sum_{i=1}^{m-1} \min\{\dot{O}_i, \dot{O}_{i+1}\} = 30 - (5-1)(1+2) = 18 \text{ ÷í } .$$

Структура такого цикла представляет собой структуру последовательного цикла, в которой графики обработки партии изделий на каждой паре смежных операций максимально перекрываются во времени.

В структуре параллельно-последовательного цикла существует два различных варианта сочетания операционных циклов на смежных операциях (рис. 2.3):

1.  $T_i < T_{i+1}$ . Каждая передаточная партия обрабатывается на предыдущей операции *быстрее*, чем на последующей. Сопряжение графиков обработки на этих двух смежных операциях должно осуществляться по моменту окончания обработки первой передаточной партии на предыдущей операции.

2.  $T_i > T_{i+1}$ . Каждая передаточная партия обрабатывается на предыдущей операции *медленнее*, чем на последующей. Сопряжение графиков обработки на этих двух смежных операциях должно осуществляться по моменту окончания обработки последней передаточной партии на предыдущей операции.

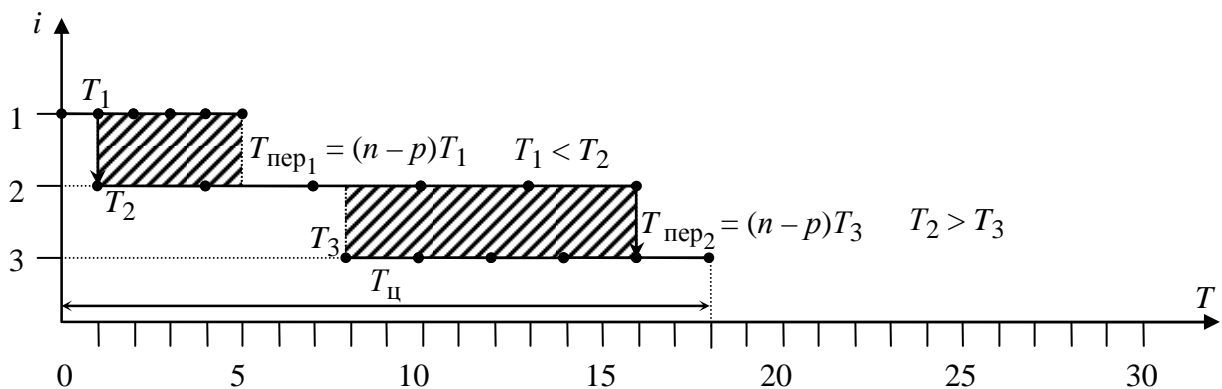


Рис. 2.3. График параллельно-последовательного многооперационного цикла

В обоих вариантах время перекрытия определяется по формуле

В общем случае:  $\dot{O}_{\text{IaB}} \leq \dot{O}_{\text{II}} \leq \dot{O}_{\text{I}}$ .

Достоинства параллельно-последовательного метода заключаются в том, что он позволяет:

- устранить основные недостатки обоих предыдущих методов (сократить длительность цикла по сравнению с последовательным и повысить загрузку рабочих мест по сравнению с параллельным видом);

- совместить достоинства обоих предыдущих методов (непрерывная работа оборудования, как при последовательном методе, и максимальное совмещение во времени работы оборудования и рабочих, как при параллельном методе).

Недостатки параллельно-последовательного метода заключаются:

- в усложнении координации и планирования производственных процессов, что ограничивает его практическую применимость;

- неизбежности внутриоперационного пролеживания, что увеличивает степень связывания оборотных средств и объем незавершенного производства (по сравнению с параллельным способом).

Наиболее часто применяется на прерывно-поточных линиях.

### Задание

1. Производственный процесс состоит из пяти операций. В производство запускается партия из пяти изделий. Заданы нормы штучного времени обработки деталей каждой операции (табл. 2.2).

Таблица 2.2

**Технологический процесс обработки деталей**

Норма штучного времени	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_1$	2	1	4	4	5	6	5	6	1	5
$T_2$	3	5	5	5	6	2	2	1	2	2
$T_3$	4	2	2	3	1	1	3	2	3	5
$T_4$	2	4	4	5	4	4	1	1	5	1
$T_5$	1	3	2	2	1	2	6	3	2	3

Построить графики движения изделия в процессе производства при различных способах технологической обработки: последовательном, параллельном и параллельно-последовательном.

## **2.2. Организация поточного производства**

### ***2.2.1. Поточное производство и виды поточных линий***

*Сущность поточного производства и его свойства.* В современных условиях развитие предметной специализации производственных подразделений закономерно приводит к созданию поточного производства, являющегося наиболее прогрессивной и эффективной формой осуществления производственных процессов. Это обусловлено тем, что оно в наибольшей степени реализует принципы специализации, параллельности, непрерывности, прямо-точности, пропорциональности и ритмичности.

Производственный процесс – процесс преобразования предметов природы в материальные ценности (приборостроение, промышленное производство и т. д.).

Сборочное производство базируется на поставке комплектующих изделий. Это наиболее простой вариант организации производства.

Производственный процесс делится на 3 фазы:

- 1) основная;
- 2) вспомогательная;
- 3) обслуживающая.

В ходе основного процесса происходят изменения размеров, формы, физического состояния деталей (точение, фрезерование, штамповка, гальваника, сушка, старение (чугунная отливка должна пройти процесс естественного старения для снятия внутренних напряжений)).

Вспомогательный процесс – характеристика изделия не меняется, но операции вспомогательного процесса необходимы для организации основного процесса. Обслуживающий процесс – комплектация, складирование, транспортирование, операции учета и контроля и т. д. Эти операции с точки зрения изготовления деталей ничего не добавляют, но они необходимы и без них не организовать основной процесс.

По мере увеличения размера партии изделий приходится разделять операции основного процесса среди нескольких рабочих. Разделение операций на более мелкие позволяет специализировать рабочие места, т. е. закрепить за ними специальное оборудование, инструмент, оснастку. Эта специализация рабочих мест приводит к увеличению производительности труда и для большего увеличения экономического эффекта создается поточное производство.

Поточное производство основано на ритмичной повторяемости согласованных во времени основных и вспомогательных операций, которые осуществляются на специализированных рабочих местах расположенных по ходу технологического процесса (т. е. поток предусматривает направленное движение от начала до конца). Использование поточного производства позволяет резко увеличить производительность труда при организации массового или крупносерийного производства.

Поточным называется производство, в котором в установившемся режиме над упорядоченно движущейся через него совокупностью однородных изделий одновременно выполняются все предусмотренные операции, за исключением, быть может, незначительного их числа с не полностью загруженными рабочими местами.

Таким образом, основополагающим (конституирующим) признаком поточного производства является одновременность выполнения над определенной совокупностью однотипных изделий всех операций, предусмотренных в нем по отношению к этому типу изделий. При этом движение упорядоченной во времени и пространстве совокупности однотипных изделий через все указанные операции как бы образует поток таких изделий, проходящий через рабочие места, реализующие эти операции. Если какое-либо производство указанным признаком не обладает, то оно не является поточным.

Поточное производство в его наиболее совершенной форме обладает совокупностью свойств, отвечающих максимальной степени осуществления принципов рациональной организации производства. Основными такими свойствами являются следующие:

**1. Строгая ритмичность выпуска изделий.** *Ритм выпуска* – это количество изделий или заготовок определенных наименований, выпускаемых в единицу времени.

*Ритмичность выпуска* – это выпуск изделий с постоянным во времени ритмом.

Еще одним выражением ритмичности выпуска в поточном производстве является наличие в нем определенного такта выпуска однотипных изделий, который представляет собой величину, обратную ритму выпуска.

*Такт выпуска* – это промежуток времени, через который периодически производится выпуск одного или одинакового числа изделий определенного типа.

В действительности строгое постоянство ритма может достигаться только в автоматическом производстве, а в ручном механизированном поточном производстве ритм на протяжении рабочего дня может изменяться вследствие различной вработываемости и утомления рабочих в начале, середине и конце смены. Кроме того, существуют варианты поточного производства, в которых в принципе невозможна ритмичность выпуска на уровне отдельных экземпляров изделий.

**2. Строгая регулярность повторения всех поточных операций.** Она состоит в том, что все операции поточного производства определенного типа изделий повторяются через строго фиксированные промежутки времени, создавая предпосылки для ритмичного выпуска этих изделий. Однако на практике строгая регулярность повторения операций поточного производства во многих случаях не имеет места и можно говорить лишь о частичном ее осуществлении.

**3. Специализация каждого рабочего места на выполнении одной операции по изготовлению изделия определенного типа.** Это свойство реализуется, как правило, в массовом производстве, однако в крупносерийном и серийном типах производства за каждым рабочим местом поточного производства технологически закрепляется выполнение ряда операций по изготовлению одного или нескольких типов изделий.

**4. Строгая пропорциональность в производительности всех операций поточного производства.** Она достигается синхронизацией операций, состоящей в установлении такой длительности каждой операции, которая строго кратна целому числу тактов поточного производства, и установлением на каждой операции такого числа рабочих мест, которое равно этой кратности. В случаях, когда строгой кратности длительности операции целому числу тактов достичь не удастся, пропорциональность в производительности всех операций отсутствует.

**5. Строгая непрерывность движения каждого изделия через все операции поточного производства.** Она означает исключение пролеживаний изделий между операциями и достигается только при строгой кратности продолжительности всех операций целому числу тактов. В противном случае нарушается пропорциональность в продолжительности смежных операций и возникает пролеживание изделий между ними, т. е. непрерывность производства нарушается.



**6. Прямоточность производства**, состоящая в расположении всех рабочих мест строго в последовательности выполнения технологических операций поточного производства. Однако в ряде случаев по определенным причинам достичь полной прямоточности в расположении рабочих мест не удастся, и в движении изделий возникают возвраты и петли.

Внедрение прямоточного производства, например, на предприятиях радиопромышленности обеспечивает повышение производительности труда, сокращение длительности цикла изготовления изделий, уменьшение незавершенного производства, улучшение использования основных фондов и оборотных средств предприятия, повышение качества продукции, снижение брака в производстве и снижение себестоимости продукции.

*Виды поточных линий.* Первичным звеном поточного производства является поточная линия, которая представляет собой наиболее совершенный вид предметно-специализированного участка.

Поточная линия (ПЛ) – обособленная совокупность функционально взаимосвязанных рабочих мест, на которой осуществляется поточное производство изделий одного или нескольких типов.

Конкретные особенности технологических процессов и организационно-технических условий предприятий радиопромышленности привели к созданию различных типов ПЛ, каждый из которых характеризуется определенной совокупностью отличительных признаков: номенклатурой закрепляемых за ПЛ изделий, характером прохождения изделием всех операций ПЛ, характером такта, положением изделия в процессе его изготовления, видом транспортных средств ПЛ, видом планировки ПЛ и т. д.

По номенклатуре закрепляемых за ПЛ изделий различают:

- однопредметные ПЛ, каждая из которых специализирована на производстве изделий одного вида; они характеризуются максимальной специализацией рабочих мест, отсутствием переналадок оборудования и применяются в массовом и крупносерийном производстве;

- многопредметные ПЛ, на каждой из которых одновременно или последовательно изготавливаются изделия нескольких типов, сходных по конструкции и технологии их обработки или сборки. В таких ПЛ переход от изготовления изделий одного типа к изготовлению изделий другого типа сопровождается переналадкой оборудования. Они применяются в серийном производстве, когда объем выпуска изделий одного типа за соответствующий плановый период недостаточен для полной загрузки оборудования и рабочих.

В зависимости от характера прохождения изделиями всех операций производственного процесса различают:

- непрерывно-поточные линии, на которых изделия непрерывно, т. е. без межоперационных пролеживаний, проходят через все операции их обработки или сборки; эта непрерывность обеспечивается тем, что продолжительность каждой операции кратна целому числу тактов ПЛ; применяются такие ПЛ преимущественно на сборке, так как здесь сравнительно легко можно добиться кратности продолжительности операции целому числу тактов;

- прерывно-поточные линии, которые включают межоперационные пролеживания, т. е. прерывность обработки или сборки изделий. Эта прерывность обусловлена некратностью времени выполнения некоторых операций целому числу тактов ПЛ. Такие ПЛ применяются преимущественно в процессах механической обработки изделий, а также в сборочных процессах с применением дополнительного оборудования или с возможностью брака на промежуточных операциях, так как в этих случаях трудно или невозможно добиться кратности продолжительности операций целому числу тактов.

Совместный учет обоих рассмотренных выше отличительных признаков ПЛ позволяет выделить следующие основные виды ПЛ: однопредметные непрерывно-поточные линии (ОНПЛ), однопредметно прерывно-поточные линии (ОППЛ), многопредметные непрерывно-поточные линии (МНПЛ) и многопредметные прерывно-поточные линии (МППЛ).

По характеру такта различают:

- ПЛ с регламентированным тактом, в которых такт задается принудительно с помощью конвейеров, световой или звуковой сигнализации; они применяются в основном в непрерывно-поточном производстве;

- ПЛ со свободным тактом, на которых выполнение операций и передача изделий с одной операции на другую могут выполняться с небольшими отклонениями от установленного (расчетного) такта. Поддержание такта на таких поточных линиях возлагается непосредственно на рабочих путем соблюдения ими заданных норм выработки на операциях. При этом соблюдение установленного такта может обеспечиваться строго определенной производительностью первой операции или запуском изделий в обработку на этой операции через установленный такт.

Многопредметные поточные линии в зависимости от порядка обработки (сборки) на них изделий различных типов делятся:

– на многопредметные поточные линии с последовательно-партионным чередованием партий изделий различных типов, в которых каждый тип изделий монопольно обрабатывается в течение определенного периода, а обработка различных типов изделий осуществляется последовательно чередующимися партиями;

– групповые поточные линии, которые характеризуются одновременной (параллельной) обработкой или сборкой на поточной линии партий изделий нескольких типов. Такие линии могут быть с переналадкой или без переналадки оборудования. Последние основываются на групповых методах обработки изделий с оснащением оборудования групповыми приспособлениями, позволяющими вести обработку изделий различных типов без переналадки оборудования.

### ***2.2.2. Организация однопредметной непрерывно-поточной линии***

Однопредметные непрерывно-поточные линии (ОНПЛ) являются наиболее совершенными поточными линиями, обеспечивающими минимальную длительность производственного цикла изделий и строго ритмичную работу на всех рабочих местах. Они применяются главным образом на сборочных процессах и характеризуются следующим общим регламентом работы:

– каждая ОНПЛ работает с одновременными для всех ее рабочих мест плановыми перерывами на отдых общей продолжительностью до  $t_{\text{н}} = 35$  мин в смену;

– обслуживание рабочих мест ОНПЛ осуществляются специальными рабочими во время перерывов на отдых основных рабочих, в обеденные перерывы или в нерабочее время.

Регламент работы ОНПЛ:

1. Расчет ОНПЛ по  $t_{\text{н}}$  – чистому времени технологической операции.
2. Все рабочие начинают работу одновременно, по звонку.
3. Все перерывы регламентированы, одновременны.
4. Обслуживание рабочих мест вспомогательными рабочими.

*Рассмотрим пример расчета параметров ОНПЛ.* На ОНПЛ собираются калькуляторы. Определить такт линии, количество рабочих мест, рассчитать его параметры и выполнить разметку. Построить график движения поточной

линии. Технологический процесс и исходные данные для расчета приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

**Исходные данные**

Показатели	Единица измерения	Количество
Сменный фонд времени	мин	480
Сменная программа выпуска	шт.	230
Перерывы на отдых	мин	20
Нормы времени по операциям:		
1. Монтаж узла питания	мин	2,2
2. Монтаж микросхемы	мин	3,8
3. Контроль	мин	1,0
4. Монтаж дисплея индикаторов	мин	6,8

Принять длину участка ленты для лентопротяжного механизма равной 2 м и расстояние между двумя смежными рабочими местами 1 м.

*Решение.* Введем обозначения:  $N = 230$  шт. – объем производства продукции;  $\hat{O} = 1 \text{ ÷ } 24 \cdot 60 = 8 \cdot 60 = 480$  – за этот фонд времени изготавливаются 230 выходных трансформаторов;  $t_{\text{п}} = 20$  – за смену – регламентированные перерывы и 4 технологических операций:  $t_{\text{п}1} = 2,2$ ;  $t_{\text{п}2} = 3,8$ ;  $t_{\text{п}3} = 1$ ;  $t_{\text{п}4} = 6,8$ ;  $L_1 = 2$  – длина участка ленты для лентопротяжного механизма;  $l = 1$  – расстояние между рабочими местами.

*Расчет такта ПЛ.* Такт ПЛ  $\tau$  – это расчетный промежуток времени между выпуском каждого следующего изделия. Он определяется выражением

$$\tau = \frac{\hat{O} - t_{\text{п}}}{N} = \frac{480 - 20}{230} = 2$$

*Синхронизация операций и расчет числа рабочих мест и количества рабочих на ОНПЛ.* Синхронизация – это процесс согласования длительности операций с тактом поточной линии для достижения того, чтобы длительности всех операций были равны или кратны целому числу тактов.

Вначале определяется расчетное количество  $C_{\delta_i}$  рабочих мест на каждой операции по формуле

$$C_{\delta_i} = \frac{t_{\text{п}i}}{\tau} \quad (i = \overline{1, m}),$$

где  $m$  – число операций на поточной линии.

$$C_{\delta_1} = \frac{2,2}{2} = 1,1; \quad C_{\delta_2} = \frac{3,8}{2} = 1,9; \quad C_{\delta_3} = \frac{1,0}{2} = 0,5; \quad C_{\delta_4} = \frac{6,8}{2} = 3,4.$$

Значение  $C_{\delta_i}$  получается, как правило, дробным. Однако реальное количество рабочих мест на операциях не может быть дробным числом, поэтому далее осуществляется процесс синхронизации, реализуемый в два этапа.

**Этап 1. Предварительная синхронизация.** Выполняется в период проектирования ОНПЛ и состоит в выборе такого целого числа  $C_i$  рабочих мест на каждой операции, при котором недогрузка или перегрузка каждого рабочего места составляет не более 10 %, т. е. предварительный коэффициент загрузки  $\eta_i$ ; рабочих мест по каждой операции лежит в пределах

$$0,9 \leq \eta_i \leq 1,1 \quad (i = \overline{1, m}). \quad 2.1$$

Для правильного выбора целого числа  $C_i$  рабочих мест по каждой операции рассчитывают два вспомогательных коэффициента:

$$\eta_i' = \frac{C_{\delta_i}}{\lceil C_{\delta_i} \rceil} \text{ при } \lceil C_{\delta_i} \rceil \neq 0; \quad \eta_i'' = \frac{C_{\delta_i}}{\lfloor C_{\delta_i} \rfloor}, \quad 2.2$$

где  $\eta_i'$  – коэффициент перегрузки,  $\eta_i''$  – коэффициент недогрузки,  $\lceil \cdot \rceil$ ,  $\lfloor \cdot \rfloor$  – округления заключенного в скобки числа до ближайшего меньшего и ближайшего большего целых чисел соответственно. При этом фактически принимаемое на каждой операции целое число рабочих мест  $C_i$ , обеспечивающее выполнение условия (2.1), определяется по формуле

$$C_i = \begin{cases} \lceil C_{\delta_i} \rceil & \text{если } 1 \leq \eta_i' \leq 1,1; \\ \lfloor C_{\delta_i} \rfloor & \text{если } \eta_i' \leq 1,1 \text{ и } \lfloor C_{\delta_i} \rfloor = 0 \text{ и } 0,9 \leq \eta_i'' \leq 1. \end{cases} \quad 2.3$$

$$\eta_1' = \frac{C_{\delta_1}}{\lceil C_{\delta_1} \rceil} = \frac{1,1}{1} = 1,1; \quad \eta_1'' = \frac{C_{\delta_1}}{\lfloor C_{\delta_1} \rfloor} = \frac{1,1}{2} = 0,55; \text{ и принимаем } C_1 = 1;$$

$$\eta_2' = \frac{C_{\delta_2}}{\lceil C_{\delta_2} \rceil} = \frac{1,9}{1} = 1,9; \quad \eta_2'' = \frac{C_{\delta_2}}{\lfloor C_{\delta_2} \rfloor} = \frac{1,9}{2} = 0,95; \text{ и принимаем } C_2 = 2;$$

$$\eta_3'' = \frac{C_{\delta_3}}{\left[ C_{\delta_3} \right]} = \frac{0,5}{1} = 0,5;$$

$$\eta_4' = \frac{C_{\delta_4}}{\left[ C_{\delta_4} \right]} = \frac{3,4}{3} \approx 1,13; \quad \eta_4'' = \frac{C_{\delta_4}}{\left[ C_{\delta_4} \right]} = \frac{3,4}{4} = 0,85.$$

Однако при выборе целого числа рабочих мест  $C_i$  по выражению (2.3) возможен случай, когда одновременно  $\eta_i' > 1,1$  и  $\eta_i'' < 0,9$ , т. е. условие (2.1) не выполняется. В рассмотренном примере не выполняется условие (2.1) для третьей и четвертой операций. В этом случае добиваться выполнения условия (2.1) можно одним из следующих путей:

- объединение двух смежных и сходных технологических операций в одну новую;
- разъединение одной технологической операции на две новые;
- полное изменение технологической операции, либо части технологического процесса.

Этими вопросами занимаются технологи.

В рассмотренном примере попробуем объединить 3 и 4 операции в одну новую 3-4.

Определяем норму времени штучной обработки на данной операции

$$t_{\Pi_{3-4}} = t_{\Pi_3} + t_{\Pi_4} = 1,0 + 6,8 = 7,8 \text{ òé.}$$

Рассчитаем расчетное число рабочих мест на объединенной операции

$$C_{\delta_{3-4}} = \frac{7,8}{2} = 3,9.$$

Определяем коэффициенты загрузки и недогрузки:

$$\eta_{3-4}' = \frac{C_{\delta_{3-4}}}{\left[ C_{\delta_{3-4}} \right]} = \frac{3,9}{3} = 1,3; \quad \eta_{3-4}'' = \frac{C_{\delta_{3-4}}}{\left[ C_{\delta_{3-4}} \right]} = \frac{3,9}{4} \approx 0,98$$

и принимаем  $C_{3-4} = 4$ .

Далее для каждой операции определяют предварительный коэффициент загрузки  $\eta_i$ ; рабочих мест, равный отношению расчетного числа рабочих мест  $C_{\delta_i}$  к принятому их целому числу на данной операции:

$$\eta_{\bar{i} i} = \frac{C_{\delta i}}{C_i} (i = \overline{1, m}).$$

$$\eta_{\bar{i} 1} = \frac{C_{\delta 1}}{C_1} = \frac{1,1}{1} = 1,1; \eta_{\bar{i} 2} = \frac{C_{\delta 2}}{C_2} = \frac{1,9}{2} \approx 0,95 \text{ è } \eta_{\bar{i} 3-4} = \frac{C_{\delta 3-4}}{C_{3-4}} = \frac{3,9}{4} \approx 0,98.$$

Если же одним из указанных путей удалось добиться выполнения условия (2.1) для всех операций, то осуществляется дальнейший расчет ОНПЛ.

**Этап 2. Окончательная синхронизация.** Осуществляется во время отладки ОНПЛ и состоит в полной ликвидации перегрузок рабочих мест, на которых  $1 < \eta_{\bar{i} i} \leq 1,1$ . Достигается совершенствованием технологии, механизации и оснащением рабочих мест приспособлениями.

После устранения перегрузок рабочих мест на соответствующих операциях определяют окончательные коэффициенты  $\eta_{\hat{i} i}$  загрузки рабочих мест на всех операциях по выражению

$$\eta_{\hat{i} i} = \begin{cases} \eta_{\bar{i} i}, & \text{àñë 0,9} \leq \eta_{\bar{i} i} \leq 1,1; \\ 1, & \text{àñë 1 < } \eta_{\bar{i} i}. \end{cases}$$

В нашем случае окончательные коэффициенты получаются следующие:

$$\eta_{\hat{i} 1} = 1; \eta_{\hat{i} 2} = 0,95 \text{ è } \eta_{\hat{i} 3-4} \approx 0,98.$$

Кроме того, поскольку при устранении перегрузок изменяется оперативное время выполнения соответствующих операций, то определяют новые значения оперативного времени  $t_{\bar{i} i}$  всех операций по выражению

$$\bar{t}_{\bar{i} i} = \begin{cases} t_{\bar{i} i}, & \text{àñë 0,9} \leq \eta_{\bar{i} i} \leq 1,1; \\ \tau C_i, & \text{àñë 1 \leq } \eta_{\bar{i} i} \leq 1,1. \end{cases}$$

На этом процесс синхронизации заканчивается, и все результаты проведенных расчетов сводятся в табл. 2.2.

Таблица 2.2

$i$	$t_{\bar{i} i},$ мин	$C_{\delta i}$	$[C_{\delta i}]$	$]C_{\delta i}[$	$\eta_i'$	$\eta_i''$	$C_i$	$\eta_{\bar{i} i}$	$\eta_{\hat{i} i}$	$\bar{t}_{\bar{i} i},$ мин
1	2,2	1,1	1	2	1,1	0,55	1	1,1	1	2
2	3,8	1,9	1	2	1,9	0,95	2	0,95	0,95	3,8
3–4	7,8	3,9	3	4	1,13	0,98	4	0,98	0,98	7,8

Общее количество рабочих мест ОНПЛ

$$C = \sum_{i=1}^m C_i = 1 + 2 + 4 = 7,$$

а явочная численность рабочих ОНПЛ при отсутствии многоагрегатного обслуживания  $\times \dot{y} = \tilde{N} \cdot \hat{E}_{\tilde{n}}$ .

Важной характеристикой ОНПЛ является средний коэффициент загрузки ( $\eta_{\tilde{n}\delta}$ ) ее рабочих мест и рабочих, определяемый выражением

$$\eta_{\tilde{n}\delta} = \frac{1}{C} \sum_{i=1}^m \eta_{\hat{i}} \cdot C_i$$

Для ОНПЛ должно выполняться условие  $\eta \geq 0,95$ . Если оно не выполняется, необходимо добиваться его выполнения теми же путями, которыми обеспечивается выполнение условия (2.1). Если и в этом случае не удастся добиться выполнения указанного условия, то необходимо перейти к расчету ОППЛ.

*Расчет периода оборота ОНПЛ.* Процесс функционирования ПЛ характеризуется определенной периодичностью, и в нем можно выделить так называемый оборотный цикл ПЛ, т. е. регулярно повторяющуюся часть процесса ее функционирования, по истечении которой ПЛ приходит в исходное состояние. В ОНПЛ оборотный цикл представляет собой регулярно повторяющуюся последовательность ее состояний, а каждое состояние ОНПЛ – совокупность состояний всех ее рабочих мест и находящихся на ней изделий в момент наступления очередного такта.

Число различных состояний каждого рабочего места некоторой операции ОНПЛ равно числу рабочих мест на этой операции, а общее число  $\eta_{\hat{i}}$  различных состояний оборотного цикла ОНПЛ, называемое коэффициентом оборотного цикла, равно наименьшему общему кратному (НОК) числа рабочих мест на операциях:

$$n_{\hat{i}} = \hat{\Pi} \hat{E} \quad (\tilde{N}_1, C_2, \dots, C_m) = \hat{\Pi} \hat{E} \quad (1, 2, 4) = 4.$$

Важной характеристикой ПЛ является период оборота  $T_{\hat{i}}$ , т. е. длительность оборотного цикла ПЛ. Поскольку последовательные состояния ОНПЛ сменяют друг друга через интервал времени, равный такту  $\tau$ , а общее число состояний оборотного цикла равно  $n_{\hat{i}}$ , то период оборота ОНПЛ

$$T_{\hat{i}} = n_{\hat{i}} \tau = 4 \cdot 2 = 8.$$



За время, равное периоду оборота  $T_1$ , на ОНПЛ в целом и на каждой ее операции будет выпущено  $n_1$  изделий.

*Выбор транспортных средств и планировки ОНПЛ.* В ОНПЛ перемещение изделий от одного рабочего места к другому осуществляется вручную или с помощью конвейеров. Ручная передача изделий применяется при сборке небольших изделий и малом числе рабочих мест на каждой операции ( $C_i \leq 2, i = \overline{1, m}$ ).

В подавляющем большинстве случаев межоперационное перемещение изделий осуществляется с помощью конвейеров. Выбор типа конвейера является комплексной задачей и зависит от многих факторов.

Расположение рабочих мест относительно оси конвейера выбирается либо двусторонним шахматным при большом числе рабочих мест ( $C > 15$ ) или малой длине производственного помещения, либо односторонним в противном случае.

Расстояние  $l$  между осями двух смежных рабочих мест вдоль конвейера целесообразно выбрать одинаковым для всех рабочих мест, так как это обеспечивает наилучший режим работы ОНПЛ. При одностороннем расположении рабочих мест вдоль конвейера значение  $l$  принимается равным 1–1,5 м, при двустороннем шахматном – 0,5–0,75 м.

Важным параметром конвейера является шаг конвейера  $s$ , т. е. расстояние между осями двух смежных изделий вдоль конвейера. Минимальный шаг  $s$  определяется габаритами изделия вдоль конвейера и необходимым размером зазора между смежными изделиями, максимальный равен расстоянию между рабочими местами  $l$ . Шаг  $s$  должен быть единым для всего конвейера, т. е. между всеми смежными изделиями на конвейере должно выдерживаться одинаковое расстояние  $s$ . Наилучшие условия работы ОНПЛ создаются в случае, когда между двумя смежными рабочими местами располагается целое число шагов, т. е.

$$l = ds, \quad (2.4)$$

где  $d$  – целое число.

В нашем случае  $s$  принимаем равным  $l$ , так как размеры изделий не превышают 1 м и  $l = 1 \cdot 1 = 1$ .

Другим важным параметром конвейера является скорость движения его несущего органа, которая должна быть согласована с тактом ОНПЛ. Для

установления этой скорости вначале определяют расчетную скорость  $v_{\delta}$  из условия, что за время, равное одному такту  $\tau$ , несущий орган конвейера должен переместиться на расстояние, равное шагу конвейера  $s$ :

$$v_{\delta} = \frac{s}{\tau} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ м/мин}.$$

Расчетная скорость  $v_{\delta}$  является одним из параметров для выбора конвейера, однако принятая скорость  $v$  для ряда конвейеров не равна расчетной.

По значению расчетной скорости  $v_{\delta}$  выбирают характер движения несущего органа конвейера. При этом различают:

- конвейер с пульсирующим движением несущего органа, который непрерывно и равномерно движется, перемещая изделия со скоростью, равной расчетной ( $v = v_{\delta}$ );

- конвейер с пульсирующим движением несущего органа, который через каждый такт  $\tau$  рывком перемещается на расстояние, равное шагу конвейера, а остальное время неподвижен. Скорость движения несущего органа в этом случае не равна расчетной, а лежит в интервале 8–12 м/мин. Эта скорость  $v$  выбирается из условия обеспечения сохранности транспортируемых изделий и минимального времени транспортировки.

Пульсирующее движение несущего органа выбирают при малой расчетной скорости  $v_{\delta} < 0,1$  м/мин с целью уменьшения расхода электроэнергии при работе приводного двигателя. Непрерывное движение несущего органа используют в случае, если расчетная скорость движения его лежит в пределах от 0,1 до 5 м/мин. При больших скоростях, т. е. при  $v_{\delta} > 5$  м/мин, для повышения безопасности и удобства работы на конвейере необходимо уменьшить значение  $v_{\delta}$ . Это может быть достигнуто либо увеличением такта  $\tau$  путем увеличения размера передаточной партии  $p$ , либо уменьшением шага конвейера  $s$  при соблюдении условия (2.4).

Далее в зависимости от конкретных условий производства выбирается тип конвейера с учетом таких факторов, как конструктивные и технологические особенности изготавливаемых изделий, наличие производственных площадей и др. В зависимости от места выполнения технологических операций различают рабочие и распределительные конвейеры.

*ОНПЛ с рабочим конвейером* применяется главным образом при сборке крупногабаритных и тяжелых изделий. На рабочих конвейерах изделия одно-

кратно устанавливаются и закрепляются на несущем органе на расстоянии, равном шагу конвейера  $s$ , и не снимаются до их выхода с конвейера. Операции над изделиями производятся непосредственно на несущем органе конвейера. При пульсирующем движении рабочего конвейера операции над изделиями выполняются в период неподвижности несущего органа.

При непрерывном движении рабочего конвейера операции производятся в процессе перемещения изделий. При этом время выполнения операций совмещается со временем их транспортировки. На таких конвейерах для проведения каждой операции выделяется участок каждого рабочего конвейера, называемый операционной зоной. Рабочий выполняет операцию в течение времени  $t_{\text{н}i}$ , перемещаясь вместе с изделием от начала операционной зоны к ее концу, затем возвращается к ее началу и производит ту же операцию над очередным изделием. Длина операционной зоны определяется по формуле

$$\lambda_i = sC_i.$$

*ОНПЛ с распределительным конвейером* применяется в основном на участках механической обработки и сборки изделий малого габарита и массы. На распределительных конвейерах изделия для выполнения над ними операции снимаются с несущего органа, а сами операции выполняются на стационарных рабочих местах. По мере завершения операции изделия возвращаются на несущий орган и перемещаются к последующим рабочим местам для выполнения очередной операции.

После выбора типа конвейера осуществляется расчет длины его несущего органа. Для наиболее распространенных типов конвейеров, имеющих в качестве несущего органа вертикально-замкнутую ленту (рис. 2.1), этот расчет осуществляется следующим образом.

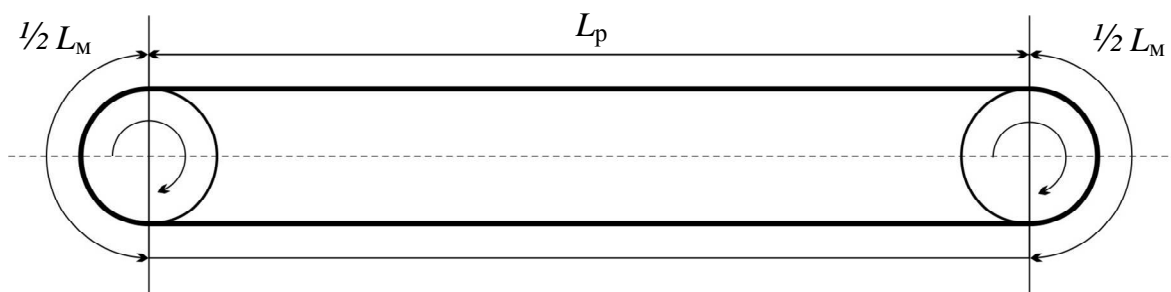


Рис. 2.1. Схема конвейера с вертикально замкнутой лентой

Вначале определяют длину рабочей части  $L_{\delta}$  ленты конвейера по формуле

$$L_{\delta} = l(C + 1) = 1(7 + 1) = 8 \text{ м}.$$

Затем рассчитывают предварительное значение полной длины  $L'_i$  ленты конвейера:

$$L'_i = 2L_{\delta} + L_1 = 2 \cdot 8 + 2 = 18 \text{ м},$$

где  $L_1$  – длина части ленты конвейера, приходящейся на приводной и натяжной механизмы конвейера. Обычно она равна  $L_1 = 2-3 \text{ м}$ .

Окончательное значение полной длины  $L_i$  ленты распределительного конвейера должно быть согласовано с условиями распределения изделий на конвейере и устанавливается с таким расчетом, чтобы на ленте разместилось целое число отрезков  $sn_1$ . Это обусловлено тем, что при переходе от одного оборотного цикла ОНПЛ к другому условия распределения изделий по рабочим местам конвейера должны остаться неизменными. За один период оборота ОНПЛ  $T_1$  лента перемещается на отрезок  $sn_1$ , и если количество таких отрезков на ленте не равно целому числу, то после полного оборота ленты условия распределения изделий между рабочими местами конвейера нарушатся.

Если найденная длина  $L'_i$  не удовлетворяет указанному условию, то она увеличивается до ближайшего большего значения, удовлетворяющего этому условию. С этой целью вначале определяют коэффициент кратности  $q$  ленты конвейера, показывающий, сколько раз без остатка отрезок  $sn_1$  должен уложиться на ее полной длине:

$$q = \left\lceil \frac{2L_p + L_1}{sn_1} \right\rceil = \left\lceil \frac{2 \cdot 8 + 2}{1 \cdot 4} \right\rceil = 5.$$

Затем определяют окончательное значение полной длины ленты распределительного конвейера по формуле

$$L_i = qsn_1 = 5 \times 1 \times 4 = 20 \text{ м}.$$

При этом необходимо, чтобы значение  $L_i$  превышало значение  $L'_i$  не более чем на 15 % (в нашем случае 20,7 м). Если это условие не соблюдается, то необходимо добиваться его выполнения изменением шага конвейера  $s$  с соблюдением условия (2.4).

В рабочих конвейерах окончательное значение полной длины ленты конвейера принимается равным ее предварительному значению, т. е.

$L_i = L_i'$ , так как здесь все операции над изделиями выполняются непосредственно на ленте конвейера и не требуется применять специальных мер по обеспечению распределения изделий между рабочими и рабочими местами.

Планировка ОНПЛ тесно связана с выбором средств межоперационного транспорта и проводится совместно с ним. При этом необходимо обеспечить: 1) реализацию принципа прямоточности, т. е. передачи изделий от одного рабочего места к другому по кратчайшему расстоянию и без возвратных движений, 2) удобство подходов к рабочим местам для их обслуживания и ремонта, 3) выделение достаточных площадей для хранения заделов.

По своей конфигурации ОНПЛ бывают прямолинейными, Г-образными, П-образными, зигзагообразными, кольцевыми и т. д. Выбор конкретной конфигурации ОНПЛ определяется структурой производственного помещения, видом выпускаемых изделий, видом используемого технологического оборудования и средств межоперационного транспорта.

Наиболее предпочтительна прямолинейная ОНПЛ ввиду простоты ее организации, обслуживания, монтажа и ремонта. ОНПЛ с другими конфигурациями используются в тех случаях, когда длина ОНПЛ значительно больше длины производственного помещения, когда необходимо обеспечить на ОНПЛ многоагрегатное обслуживание, а также когда для выполнения различных и далеко отстоящих друг от друга операций ОНПЛ необходимо использовать один и тот же дорогостоящий агрегат.

*Разметка несущего органа конвейера ОНПЛ.* В ОНПЛ с распределительным конвейером, имеющим на ряде операций по несколько рабочих мест, необходимо обеспечить соответствующее адресование изделий по рабочим местам. Это обеспечивается либо созданием системы автоматического распределения изделий, либо разметкой несущего органа конвейера. Наиболее часто применяется разметка, которая осуществляется делением несущего органа на участки, длина которых равна шагу конвейера  $s$ , и присвоением каждому участку определенного разметочного знака. При этом за каждым рабочим местом закрепляется лишь некоторая часть всей совокупности разметочных знаков, и на нем выполняются операции только над теми изделиями, которые находятся на участках с разметочными знаками, закрепленными за данным рабочим местом.

Как известно, ОНПЛ имеет  $n_1$  различных состояний, каждому из которых соответствует фиксированное распределение изделий по рабочим ме-

стам. Поскольку все состояния ОНПЛ повторяются через  $n_1$  тактов, то через это же число тактов повторяются условия распределения изделий по рабочим местам. За это время на вход конвейера поступает  $n_1$  изделий, каждое из которых помещается на отдельный участок несущего органа конвейера. При этом в качестве разметочных знаков используются цифры, буквы, цветные флажки и цветная окраска участков несущей части конвейера.

Схема конвейера с прямолинейной планировкой ОНПЛ и односторонним расположением рабочих мест представлена на рис. 2.2.

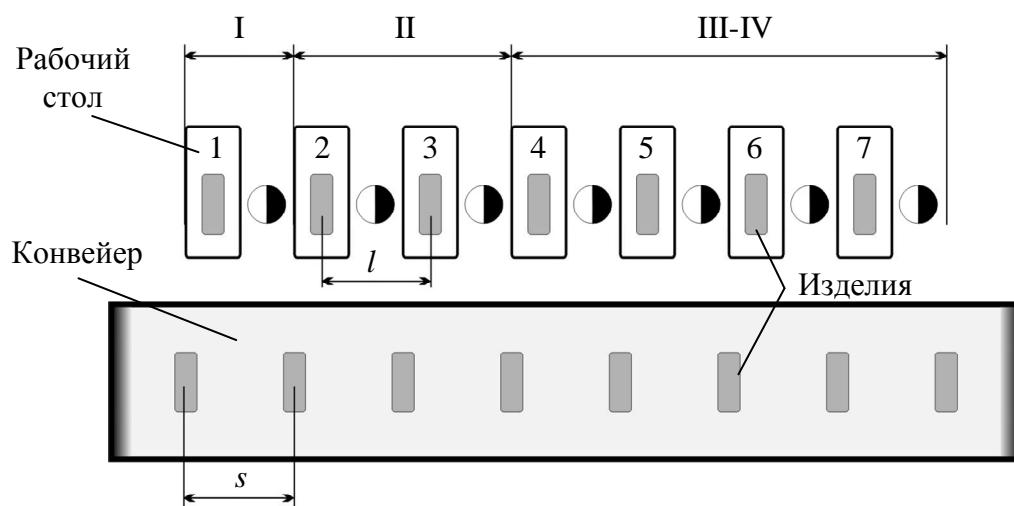


Рис. 2.2. Схема конвейера с односторонним расположением рабочих мест

При  $n_1 = 4$  для разметки ленты требуется четыре цифры, которые наносятся на участки ленты навстречу направлению ее движения  $q$  раз (рис. 2.3).

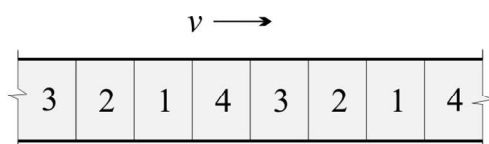


Рис. 2.3. Схема однорядной разметки конвейера

На основе этой разметки и анализа порядка распределения следующих друг за другом изделий по рабочим местам каждой операции составляется таблица закрепления номеров участков ленты за рабочими местами (табл. 2.3).

Таблица 2.3

**Закрепление номеров участков ленты за рабочими местами**

Номер операции	Номер рабочего места	Номера разметочных знаков
I	1	1, 2, 3, 4
II	2	1, 3
	3	2, 4
III-IV	4	1
	5	2
	6	3
	7	4

Разметка распределительного конвейера с одним рядом разметочных знаков называется однорядной. Однако при большом значении коэффициента оборотного цикла  $n_1$  однорядная разметка требует запоминания рабочими большого числа закрепляемых за ними разметочных знаков. В этом случае для уменьшения числа закрепляемых за каждым рабочим местом разметочных знаков выбирают несколько частных коэффициентов разметки, в совокупности охватывающих все операции ОНПЛ. Для каждого коэффициента разметки используется отдельный комплект разметочных знаков, а разметка ленты конвейера имеет столько рядов, сколько выбрано коэффициентов разметки. Разметка распределительного конвейера с несколькими рядами разметочных знаков называется многорядной. Таблица закрепления номеров участков ленты за рабочими местами в этом случае аналогична табл. 2.3, только в ней дополнительно указывается номер ряда, которому принадлежат закрепляемые цифры.

*Определение длительности производственного цикла изделия на ОНПЛ.* Длительность производственного цикла  $T_{\delta}$  изделия на ОНПЛ – это промежуток времени между моментами запуска и выпуска одного и того же изделия на ОНПЛ. Она определяется либо из стандарт-плана, либо аналитически и в общем случае равна сумме неперекрывающихся времен транспортировки  $T_{\delta\delta}$  и выполнения операций над изделием  $t_{\Pi}$ .

Для всех рабочих конвейеров время  $t_{\Pi}$  полностью перекрывается временем  $T_{\delta\delta}$ , поэтому длительность производственного цикла  $T_{\delta}$  равна времени прохождения изделием рабочей части несущего органа конвейера:

$$\dot{O}_{\delta} = \dot{O}_{\delta\delta} = \frac{L_p}{s} \tau = \frac{l}{s} (C+1) \tau. \quad (2.5)$$

На всех распределительных конвейерах время выполнения операций над изделием не перекрывается временем его транспортировки, поэтому здесь  $\dot{O}_{\delta} = t_{\Pi} + \dot{O}_{\delta\delta}$ . Время нахождения изделия на рабочем месте при выполнении над ним  $i$ -й операции равно  $\tau C_i$ , поэтому общее время выполнения над ним всех операций

$$t_{\Pi} = \sum_{i=1}^m \tau C_i = \tau C.$$

Время транспортировки  $T_{\text{дд}}$  изделия на распределительном конвейере также определяется выражением (2.5). Таким образом, длительность производственного цикла изделия на ОНПЛ с распределительным конвейером

$$T_{\text{дд}} = \tau \left( \tilde{N} + \frac{l}{s} (C + 1) \right) = 2 \left( 7 + \frac{1}{1} (7 + 1) \right) = 30 \text{ такт}.$$

*Построение стандарт-плана работы ОНПЛ.* Стандарт-план ОНПЛ – это совокупность графиков работы оборудования и рабочих ОНПЛ и движения  $n_1$  изделий от момента запуска их на ОНПЛ до момента их выпуска. Процесс выполнения операций над изделиями на стационарных рабочих местах изображается на стандарт-плане горизонтальными линиями, процесс транспортировки изделий между рабочими местами безостановочных конвейеров – наклонными линиями, а ручная передача изделий или их транспортировка на пульсирующих конвейерах – вертикальными линиями. По оси абсцисс откладывается время в тактах  $\tau$ , а по оси ординат – номера рабочих мест  $\mu$ .

Стандарт-план ОНПЛ строится на основе анализа протекания во времени и пространстве процессов транспортировки и выполнения операций для каждого из  $n_1$  изделий. Так, на рис. 2.4 графически представлен стандарт-план ОНПЛ с распределительным конвейером с  $n_1 = 4$ .

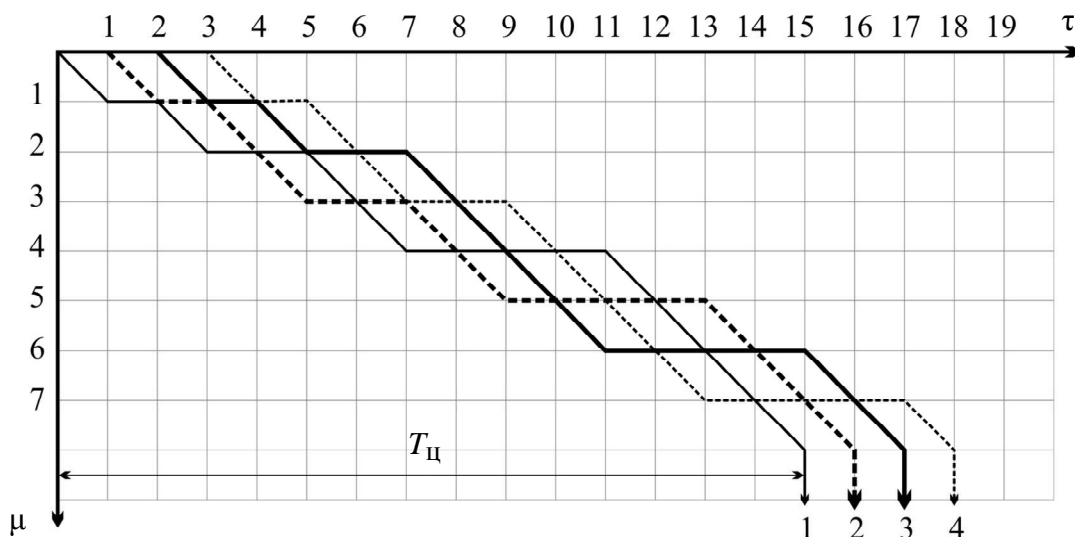


Рис. 2.4. Стандарт-план ОНПЛ с распределительным конвейером

График первого изделия строится в соответствии с тем, что это изделие, будучи положенным на ленту конвейера в момент  $t = 0$ , перемещается один такт до первого рабочего места, обрабатывается на нем один такт, перемеща-



ется один такт до второго рабочего места, обрабатывается на нем два такта, затем перемещается на два такта до четвертого рабочего места, обрабатывается на нем четыре такта и перемещается еще четыре такта до схода с ленты конвейера. Аналогично строятся графики для каждого из  $n_i = 4$  изделий, при этом график пятого изделия повторяет график первого, график шестого повторяет график второго изделия и т. д. со сдвигом на четыре такта.

Стандарт-план ОНПЛ с рабочим конвейером представляет собой совокупность наклонных линий, каждая из которых изображает процесс транспортировки соответствующего изделия с одновременным выполнением над ним технологических операций перемещающимися вдоль конвейера рабочими.

*Определение внутрилинейных заделов ОНПЛ.* Ритмичная и бесперебойная работа ОНПЛ обеспечивается созданием на ней определенных запасов изделий, называемых заделами. На ОНПЛ создаются следующие виды заделов: технологический, транспортный и резервный.

Технологический задел – это совокупность изделий, находящихся в каждый момент в стадии выполнения над ними операций на рабочих местах ОНПЛ. В соответствии с этим размер задела  $Z_{\text{т}}^{\text{тех}}$  определяется выражением

$$Z_{\text{т}}^{\text{тех}} = p\tilde{N}.$$

Транспортный задел – это совокупность изделий, находящихся в каждый данный момент в процессе транспортировки на рабочей части несущего органа конвейера ОНПЛ. Следовательно, размер транспортного задела  $Z_{\text{т}}^{\text{тр}}$  определяется выражением

$$Z_{\text{т}}^{\text{тр}} = \frac{L_p}{s} p = (C + 1) \frac{pl}{s}.$$

Резервный задел – это создаваемый на наиболее ответственных и нестабильных по времени выполнения операциях и контрольных пунктах запас изделий, находящихся в той стадии технологической готовности, которая соответствует выпуску изделия с операции, где такой резерв создается. Этот задел служит для компенсации брака и возможных отклонений от заданного такта работы на соответствующих операциях и создается обычно на ОНПЛ с распределительными конвейерами, предназначенными для выпуска небольших и недорогих изделий. Израсходованный резервный задел восстанавливается в периоды регламентированных перерывов, во внерабочее время или на внепоточных участках.

Размер резервного задела  $Z_{pi}$  на каждой из указанных операций устанавливается на основе опытно-статистических данных и в среднем принимается равным

$$Z_{pi} = (0,03 \div 0,05) N \quad (i \in I_p),$$

где  $N$  – объем выпуска изделий за смену;  $I_p$  – множество операций, на которых создаются резервные заделы.

Общий размер резервного задела ОНПЛ

$$Z_p = \sum_{i \in I_p} Z_{pi},$$

а общий размер внутрилинейных заделов ОНПЛ

$$Z_{\text{вн}} = Z_{\text{до}} + Z_{\text{дп}} + Z_{\text{дк}}.$$

### Задание

На ОНПЛ собираются калькуляторы. Определить такт линии, количество рабочих мест, рассчитать его параметры и произвести разметку. Построить график движения поточной линии. Технологический процесс и исходные данные для расчета приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Исходные данные

Показатели	Ед. изм.	Вариант									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сменный фонд времени	мин	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
Сменная программа выпуска	шт.	235	230	155	115	115	235	230	155	115	115
Перерывы на отдых	мин	10	20	15	20	15	10	20	15	20	15
Нормы времени по операциям:											
1. Монтаж узла питания	мин	3,9	6,2	6,2	4,3	8,9	2,1	4,3	8,7	7,6	5,7
2. Монтаж микросхемы	мин	1,9	6,7	9,1	8,5	6,0	4,2	3,2	5,5	3,9	2,8
3. Контроль	мин	3,5	4,1	3,5	3,9	5,7	4,5	3,8	9,7	5,8	7,5
4. Монтаж дисплея индикаторов	мин	2,6	5,7	5,7	8,6	6,7	3,6	1,8	7,5	6,7	1,8

Принять длину участка ленты для лентопротяжного механизма равной 2 м и расстояние между двумя смежными рабочими местами 1 м.

### 2.2.3. Организация однопредметной прерывно-поточной линии

Однопредметные прерывно-поточные линии (ОППЛ) применяются при невозможности добиться полной синхронизации процесса и характеризуются вследствие этого различной производительностью на смежных операциях и прерывностью процесса производства. Они применяются преимущественно в процессах механической обработки, а также в сборочных процессах, оснащенных оборудованием или имеющих значительный брак.

В ОППЛ на каждой паре смежных операций, имеющих различную производительность, создается межоперационный оборотный задел (МОЗ), т. е. запас изделий, поступающих с предыдущей операции на последующую, обеспечивающий непрерывную работу на последней. Наличие МОЗ является показателем прерывности процесса производства на ОППЛ и увеличивает размеры ее незавершенного производства в части, обусловленной межоперационным пролеживанием.

ОППЛ характеризуются следующим регламентом работы:

- время перерывов на отдых каждый рабочий выбирает произвольно;
- обслуживание рабочих мест ОППЛ осуществляется в значительной степени ее основными рабочими.

В соответствии с этим регламентом расчет ОППЛ осуществляется по нормам штучного времени  $t_{\text{шт}} i$ .

*Рассмотрим пример расчета параметров ОППЛ.* Исходные данные:  $T_{\text{пл}} = 1 \text{ н.а.} = 8 \text{ ч} = 8 \cdot 60 \text{ мин} = 480 \text{ мин}$ ;  $N = 120 \text{ экз.}$  и пять технологических операций:  $t_{\text{шт}1} = 6 \text{ мин}$ ;  $t_{\text{шт}2} = 8,4 \text{ мин}$ ;  $t_{\text{шт}3} = 5 \text{ мин}$ ;  $t_{\text{шт}4} = 10 \text{ мин}$ ;  $t_{\text{шт}5} = 3 \text{ мин}$ .

Перечень рассчитываемых параметров:

1. Такт выпуска ПЛ.
2. Необходимое количество рабочих мест.
3. Необходимое количество рабочих.
4. Построение стандарт-плана.
5. Рассчитать изменения МОЗ.
6. График изменения МОЗ.

*Расчет и организация ОППЛ ведутся в следующем порядке.*

1. Такт выпуска

$$\tau_{\text{шт}} = \frac{\Phi}{N},$$

где  $\Phi$  – номинальный фонд времени (примем равным 1 смене = 480 мин);  
 $N$  – расчетный объем выпуска за плановый период = 120 шт.

$$\tau_{\text{âüî}} = \frac{480}{120} = 4 \text{ ìëí.}$$

Такт выпуска имеет чисто расчетное значение.

Определяется расчетное количество  $C_{\delta_i}$  рабочих мест на каждой операции по формуле

$$C_{\delta_i} = \frac{t_{\text{øð } i}}{\tau_{\text{âüî}}} \quad (i = \overline{1, m}),$$

где  $m$  – число операций на поточной линии.

$$C_{\delta_1} = \frac{6}{4} = 1,5; \quad C_{\delta_2} = \frac{8,4}{4} = 2,1; \quad C_{\delta_3} = \frac{5}{4} = 1,25; \quad C_{\delta_4} = \frac{10}{4} = 2,5; \quad C_{\delta_5} = \frac{3}{4} = 0,75.$$

Округляем полученные значения  $C_{\delta_i}$  в меньшую и в большую стороны.

Далее определяем предварительные коэффициенты загрузки рабочих мест

$$\eta'_i = \frac{C_{\delta_i}}{\left[ C_{\delta_i} \right]} \text{ при } \left[ C_{\delta_i} \right] \neq 0.$$

$$\eta'_1 = \frac{1,5}{1} = 1,5; \quad \eta'_2 = \frac{2,1}{2} = 1,05; \quad \eta'_3 = \frac{1,25}{1} = 1,25; \quad \eta'_4 = \frac{2,5}{2} = 1,25.$$

$C_{\delta_i}$  имеет дробное значение. Но у ОППЛ возможности синхронизации существенно ограничены. Осуществляется только окончательная синхронизация.

Выбираем  $C_i$ . В отличие от ОНПЛ допускается недогрузка, а перегрузка – в пределах 10 %. Если не получается, то берем значение  $C_{\delta_i}$  округленное в большую сторону.

$$C_i = \begin{cases} \left[ C_{\delta_i} \right] & \text{ïðë } \eta'_i \leq 1,1; \\ \left\lceil C_{\delta_i} \right\rceil & \text{ïðë } \eta'_i > 1,1. \end{cases}$$

$$C_1 = 2; \quad C_2 = 2; \quad C_3 = 2; \quad C_4 = 3; \quad C_5 = 1.$$

Далее рассчитываем предварительные коэффициенты загрузки выбранных рабочих мест:

$$\eta_{i\ i} = \frac{C_{\delta i}}{C_i}.$$

$$\eta_{i\ 1} = \frac{C_{\delta 1}}{C_1} = \frac{1,5}{2} = 0,75; \quad \eta_{i\ 2} = \frac{C_{\delta 2}}{C_2} = \frac{2,1}{2} = 1,05; \quad \eta_{i\ 3} = \frac{C_{\delta 3}}{C_3} = \frac{1,25}{2} = 0,625;$$

$$\eta_{i\ 4} = \frac{C_{\delta 4}}{C_4} = \frac{2,5}{3} \approx 0,833; \quad \eta_{i\ 5} = \frac{C_{\delta 5}}{C_5} = \frac{0,75}{1} = 0,75.$$

Рассчитываем окончательные коэффициенты загрузки рабочих мест:

$$\eta_{i\hat{e}\ i} = \begin{cases} \eta_{i\ i}, & \text{если } \eta_{i\ i} \leq 1; \\ 1, & \text{если } \eta_{i\ i} > 1. \end{cases}$$

$$\eta_{i\hat{e}\ 1} = 0,75; \quad \eta_{i\hat{e}\ 2} = 1; \quad \eta_{i\hat{e}\ 3} = 0,625; \quad \eta_{i\hat{e}\ 4} = 0,833; \quad \eta_{i\hat{e}\ 5} = 0,75.$$

Кроме того, поскольку при устранении перегрузок изменяется оперативное время выполнения соответствующих операций, то определяют новые значения оперативного времени  $t_{i\ i}$  всех операций по выражению

$$\bar{t}_{\emptyset\ i} = \begin{cases} t_{\emptyset\ i}, & \text{если } \eta_{i\ i} \leq 1; \\ \tau_{\hat{a}\ i} C_i, & \text{если } \eta_{i\ i} > 1. \end{cases}$$

На этом процесс синхронизации заканчивается, и все результаты проведенных расчетов сводятся в табл. 2.6.

Таблица 2.6

**Расчет количества рабочих мест на операциях и их загрузка**

$i$	$t_{\emptyset\ i}$	$C_{\delta i}$	$\lceil C_{\delta i} \rceil$	$\lfloor C_{\delta i} \rfloor$	$\eta'_{i\ i}$	$C_i$	$\eta_{i\ i}$	$\eta_{i\hat{e}\ i}$	$\bar{t}_{\emptyset\ i}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	6,0	1,50	1	2	1,50	2	0,750	0,750	6
2	8,4	2,10	2	3	1,05	2	1,050	1,000	8
3	5,0	1,25	1	2	1,25	2	0,625	0,625	5
4	10,0	2,50	2	3	1,25	3	0,833	0,833	10
5	3,0	0,75	-	1	-	1	0,750	0,750	3

Несогласованность в производительности рабочих мест приводит к недогрузке более производительных станков, а рабочие вынуждены совмещать операции, т. е. переходить на другие рабочие места, но предварительно они должны создать МОЗ, чтобы не простаивало следующее по потоку рабочее место.

Далее определяем период оборота ОППЛ.

Важнейшей характеристикой ОППЛ является период ее оборота  $T_o$ , т. е. времени, по истечении которого ОППЛ возвращается в исходное состояние:

$$T_o = n_o \tau_{\text{опл}}.$$

При этом коэффициент оборотного цикла  $n_o$  интерпретируется как количество тактов в периоде оборота или как количество изделий, после выпуска которых с ОППЛ в целом и с каждой ее операции повторяется исходное состояние ОППЛ.

Выбор величины  $T_o$  при фиксированной величине  $\tau_{\text{опл}}$  является одновременно выбором величины  $n_o$  и осуществляется с учетом следующих условий:

– с одной стороны, с увеличением  $T_o$  растет  $n_o$  и, следовательно, растет величина межоперационного задела на ОППЛ, что весьма нежелательно;

– с другой стороны, с увеличением  $T_o$  увеличивается период концентрированных простоев рабочих и оборудования на не полностью загруженных рабочих местах, что расширяет возможности их догрузки внепоточными работами;

– величина  $T_o$  должна быть равна целому числу полусмен, т. е.

$$T_o = 0,5kT_{\text{см}},$$

или, что то же самое, величина  $n_o$  должна быть равна целому числу полусменных выработок ОППЛ:

$$n_o = 0,5kN,$$

где  $T_{\text{см}} = 480$  – длительность смены;  $N = \frac{T_{\text{см}}}{\tau_{\text{опл}}}$  – сменная выработка

ОППЛ;  $k$  – (целое) число полусмен: на практике, как правило,  $k = 1 \div 6$ .

Наиболее часто выбирают  $T_1 = T_{\text{см}}$  и  $n_1 = N$ .

*Построение стандарт-плана ОППЛ.* Стандарт-план ОППЛ – это совокупность графиков работы оборудования и рабочих на всех операциях ПЛ в течение всего периода ее оборота. Стандарт-план показывает также и изменение МОЗ.

Проблемы: недогрузка рабочих мест и число рабочих мест больше числа работников. Причина в том, что сборочные операции можно дробить (ОНПЛ), а у операций на технологическом оборудовании этого сделать невозможно.

Стандарт план строится в следующие этапы:

**Этап 1. Закрепление рабочих мест за рабочими и определение общего количества рабочих и их загрузки**

После установления общего числа рабочих мест оказывается, что на ряде операций ПЛ есть недогрузка –  $\eta_{\hat{e}i} < 1$  (в нашем примере это операции 1, 3, 4, 5).

Условия закрепления операций:

– за 1 рабочим закрепляются технологически однородные, примерно одинаковой сложности операции;

– рабочий загружается наиболее полно, но без перегрузок;

– количество операций, закрепляемых за 1 рабочим, не более 3-х.

В нашем примере это 1, 3, 4 и 5 операции. Для каждой из них устанавливаем полную загрузку рабочих мест в течение всего периода оборота  $T_0$ .

Для загрузки недогруженного рабочего места определяем коэффициент его загрузки  $\eta_{\hat{e}i}$  и  $T_{\hat{e}i}$  – период его работы за смену:

$$\eta_{\hat{e}i} = \begin{cases} C_i - C_{\hat{e}i}, & \text{если } \eta_{\hat{e}i} < 1; \\ -, & \text{если } \eta_{\hat{e}i} = 1. \end{cases} \quad T_{\hat{e}i} = \begin{cases} \eta_{\hat{e}i} T_0, & \text{если } \eta_{\hat{e}i} < 1; \\ -, & \text{если } \eta_{\hat{e}i} = 1. \end{cases}$$

Результаты заносим в табл. 2.7.

Таблица 2.7

**Коэффициенты загрузки недогруженного рабочего места**

$i$	$C_{\hat{e}i}$	$C_i$	$\eta_{\hat{e}i}$	$\eta_{\hat{e}i}$	$T_{\hat{e}i}$
1	1,50	2	0,750	0,50	0,50 $T_0$
2	2,10	2	1,000	-	-
3	1,25	2	0,625	0,75	0,75 $T_0$
4	2,50	3	0,833	0,50	0,50 $T_0$
5	0,75	1	0,750	0,25	0,25 $T_0$

Очевидно, что совмещаем 1 и 4, а также 3 и 5 операции:

$$\eta_{\hat{e}1-4} = \eta_{\hat{e}1} + \eta_{\hat{e}4} = 0,5T_0 + 0,5T_0 = T_0,$$

$$\eta_{\hat{e}3-5} = \eta_{\hat{e}3} + \eta_{\hat{e}5} = 0,75T_0 + 0,25T_0 = T_0.$$

Определяется численность Ч рабочих ОППЛ. Считаем, что каждый рабочий за смену отрабатывает 8 часов:

$$\times = \frac{N \sum_{i=1}^n \bar{t}_{\emptyset \emptyset i}}{T \hat{\eta}} = \frac{120(6+8+5+10+3)}{480} = 8 \text{ } \partial \grave{a} \acute{a} \acute{f} \div \grave{e} \tilde{o} .$$

Если Ч получается дробным числом, то округляем его в большую сторону и загружаем одного рабочего на внепоточных работах.

**Этап 2. Установление порядка работы и переходов рабочих по обслуживаемым рабочим местам**

Взаимные положения периодов работы  $T_{1i}$  на недогруженных рабочих местах могут быть самыми различными, а число этих положений бесконечно велико. Однако эти положения не эквивалентны друг другу с точки зрения возникающих на смежных операциях МОЗ: при одном положении МОЗ получается большим, при другом – малым.

Так, на рис. 2.5, представлен стандарт-план ОППЛ без МОЗ.

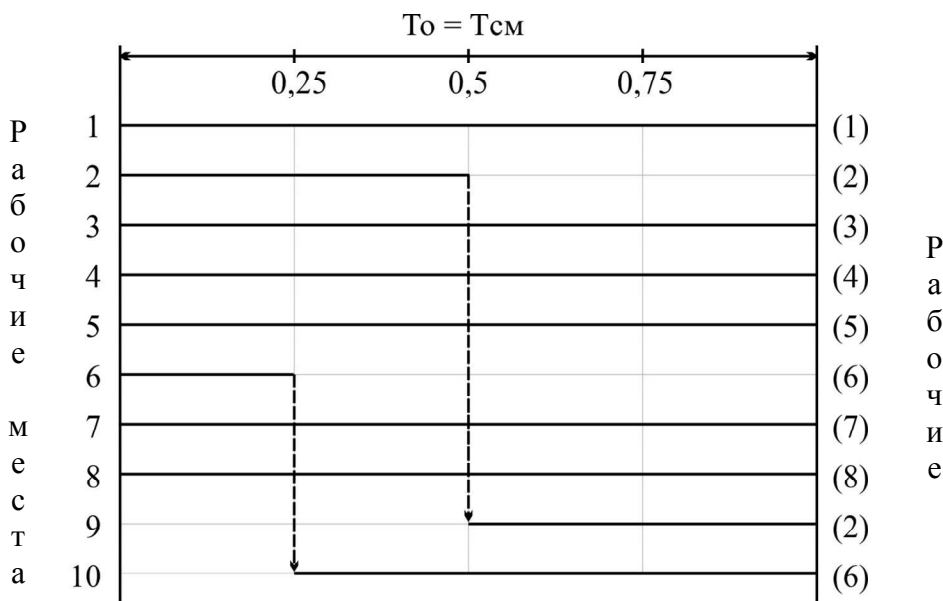


Рис. 2.5. Стандарт-план ОППЛ

Режим работы полностью загруженного рабочего места на операции в течение всего периода оборота обозначается на стандарт-плане сплошной линией.

Отрезки – продолжительность работы каждого рабочего-совместителя на каждой, последовательно закрепленной за ним, операции.

Стрелки показывают переход рабочих с операции на операцию.

Для уменьшения величины МОЗ на ОППЛ необходимо руководствоваться следующим правилом: если на некоторой паре смежных операций



$(i, i + 1)$  предыдущая операция производительнее последующей, т. е.  $\bar{t}_{\phi\delta i} < \bar{t}_{\phi\delta i+1}$ , то необходимо по возможности обеспечить совмещение моментов начала периодов работы  $T_{1i}$  и  $T_{1i+1}$  недогруженных рабочих мест на этих операциях (рис. 2.6, а), в противном случае, т. е. при  $\bar{t}_{\phi\delta i} > \bar{t}_{\phi\delta i+1}$  необходимо по возможности обеспечить совмещение моментов окончания этих периодов работы (рис. 2.6, б). Выбор других взаимных положений периодов работы недогруженных рабочих мест на смежных операциях приводит к увеличению МОЗ.

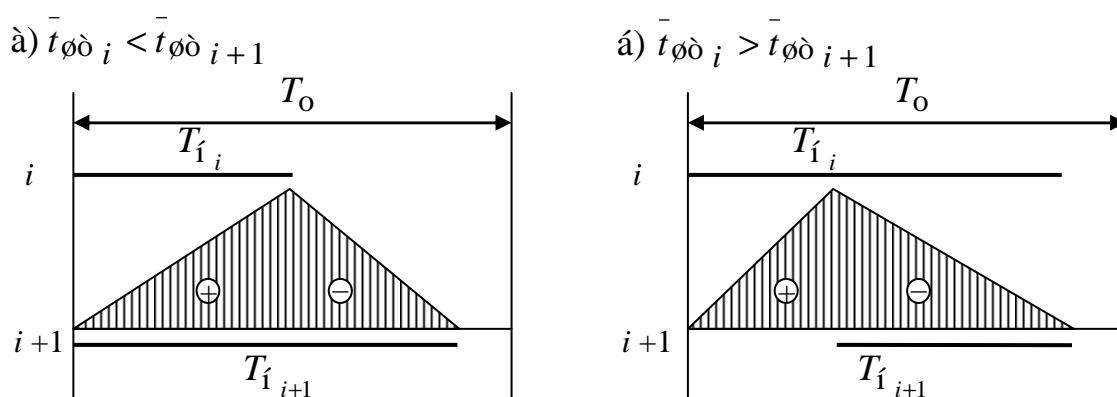


Рис. 2.6 Схема работы недогруженных рабочих мест:  
а) с совмещением моментов начала периодов работы;  
б) с совмещением моментов окончания периодов работы

Однако в ряде случаев указанное правило не может быть полностью реализовано ввиду ограничений, накладываемых последовательным обслуживанием рабочими-совместителями закрепленных за ними недогруженных рабочих мест.

Рекомендуется следующий порядок установления регламента работы и переходов рабочих-совместителей по обслуживаемым рабочим местам:

а) сначала устанавливается режим работы полностью загруженных рабочих мест путем нанесения на стандарт-план сплошных линий, каждая из которых характеризует время работы одного рабочего места на одной операции в течение всего периода оборота  $T_0$ ;

б) затем устанавливается режим работы и переходов с операции на операцию рабочих-совместителей путем нанесения на стандарт-план отрезков, показывающих продолжительность работы каждого рабочего-совместителя на каждой закрепленной за ним операции, и стрелок, показывающих направ-

ление перехода этих рабочих с операции на операцию. При этом следует придерживаться следующих рекомендаций:

- за одним совместителем закрепляется не более 3-х операций;
- закрепляемые за одним совместителем операции должны иметь технологическое подобие, соответствующее специальности и квалификации рабочего;
- если не удастся полностью загрузить совместителя работами на поточной линии, то вся недогрузка относится на начало или конец периода оборота, что позволяет организовать в удобном режиме работы, связанные с выполнением этим рабочим заданий, не связанных с программой загрузки поточной линии.

### ***Этап 3. Определение размеров и динамики МОЗ. Построение графиков изменения МОЗ***

Все расчеты и построения этого этапа выполняются отдельно для каждой пары смежных операций. Уже отмечалось, что появление МОЗ обусловлено тем, что в течение периода оборота изменяются соотношения производительностей оборудования на смежных операциях из-за несовпадения их графиков работы. В случаях, когда графики работы оборудования на смежных рабочих местах совпадают, МОЗ отсутствуют, и данная пара смежных операций работает в режиме ОНПЛ (полной синхронизации).

Расчеты выполняем в следующей последовательности:

1. Период оборота  $T_o$  разобьем на интервалы времени  $T_{ij}$ , на протяжении которых сохраняются одинаковые соотношения активных рабочих мест  $C_{ij}, C_{i+1,j}$ . В рассматриваемом примере:

– для операций 1 и 2 таких периодов два:  $T_{11} = 0,5T_o = 240$  мин, соотношение активных рабочих мест:  $C_{11} = 2, C_{21} = 2$ ;  $T_{12} = 0,5T_o = 240$  мин, соотношение активных рабочих мест:  $C_{12} = 1, C_{22} = 2$ ;

– для операций 2 и 3 таких периодов два:  $T_{21} = 0,25T_o = 120$  мин, соотношение активных рабочих мест:  $C_{21} = 2, C_{31} = 2$ ;  $T_{22} = 0,75T_o = 360$  мин, соотношение активных рабочих мест:  $C_{22} = 2, C_{32} = 1$ ;

– для операций 3 и 4 таких периодов три:  $T_{31} = 0,25T_o = 120$  мин, соотношение активных рабочих мест:  $C_{31} = 2, C_{41} = 2$ ;  $T_{32} = 0,25T_o = 120$  мин, соотношение активных рабочих мест:  $C_{32} = 1, C_{42} = 2$ ;  $T_{33} = 0,5T_o = 240$  мин, соотношение активных рабочих мест:  $C_{33} = 1, C_{43} = 3$ ;

– для операций 4 и 5 таких периодов три:  $T_{41} = 0,25T_0 = 120$  мин, соотношение активных рабочих мест:  $C_{41} = 2$ ,  $C_{51} = 0$ ;  $T_{42} = 0,25T_0 = 120$  мин, соотношение активных рабочих мест:  $C_{42} = 2$ ,  $C_{52} = 1$ ;  $T_{43} = 0,5T_0 = 240$  мин, соотношение активных рабочих мест:  $C_{43} = 3$ ,  $C_{53} = 1$ .

2. Изменение МОЗ на любом интервале  $T_{ij}$  носит линейный характер. Поэтому для построения графика изменения МОЗ достаточно знать значения МОЗ на границах интервалов  $T_{ij}$ . Рассчитаем приращение МОЗ  $\Delta Z_{ij}$  в каждый интервал времени  $T_{ij}$ . Он определяется как разность числа изделий, выпущенных за время  $T_{ij}$  на операции с номером  $i$ , и числа изделий, потребленных за это же время на следующей  $i+1$ -й операции:

$$\Delta Z_{ij} = T_{ij} \left( \frac{C_{ij}}{t_{\text{оп}} i} - \frac{C_{i+1,j}}{t_{\text{оп}} i+1} \right).$$

Для нашего примера рассчитаем  $\Delta Z_{ij}$ :

$$\Delta Z_{11} = T_{11} \left( \frac{C_{11}}{t_{\text{оп}} 1} - \frac{C_{21}}{t_{\text{оп}} 2} \right) = 240 \left( \frac{2}{6} - \frac{2}{8} \right) = 20;$$

$$\Delta Z_{12} = T_{12} \left( \frac{C_{12}}{t_{\text{оп}} 1} - \frac{C_{22}}{t_{\text{оп}} 2} \right) = 240 \left( \frac{1}{6} - \frac{2}{8} \right) = -20;$$

$$\Delta Z_{21} = T_{21} \left( \frac{C_{21}}{t_{\text{оп}} 2} - \frac{C_{31}}{t_{\text{оп}} 3} \right) = 120 \left( \frac{2}{8} - \frac{2}{5} \right) = -18;$$

$$\Delta Z_{22} = T_{22} \left( \frac{C_{22}}{t_{\text{оп}} 2} - \frac{C_{32}}{t_{\text{оп}} 3} \right) = 360 \left( \frac{2}{8} - \frac{1}{5} \right) = 18;$$

$$\Delta Z_{31} = T_{31} \left( \frac{C_{31}}{t_{\text{оп}} 3} - \frac{C_{41}}{t_{\text{оп}} 4} \right) = 120 \left( \frac{2}{5} - \frac{2}{10} \right) = 24;$$

$$\Delta Z_{32} = T_{32} \left( \frac{C_{32}}{t_{\text{оп}} 3} - \frac{C_{42}}{t_{\text{оп}} 4} \right) = 120 \left( \frac{1}{5} - \frac{2}{10} \right) = 0;$$

$$\Delta Z_{33} = T_{33} \left( \frac{C_{33}}{t_{\text{оп}} 3} - \frac{C_{43}}{t_{\text{оп}} 4} \right) = 240 \left( \frac{1}{5} - \frac{3}{10} \right) = -24;$$

$$\Delta Z_{41} = T_{41} \left( \frac{C_{41}}{t_{\phi \delta 4}} - \frac{C_{51}}{t_{\phi \delta 5}} \right) = 120 \left( \frac{2}{10} - \frac{0}{3} \right) = 24;$$

$$\Delta Z_{42} = T_{42} \left( \frac{C_{42}}{t_{\phi \delta 4}} - \frac{C_{52}}{t_{\phi \delta 5}} \right) = 120 \left( \frac{2}{10} - \frac{1}{3} \right) = -16;$$

$$\Delta Z_{43} = T_{43} \left( \frac{C_{43}}{t_{\phi \delta 4}} - \frac{C_{53}}{t_{\phi \delta 5}} \right) = 240 \left( \frac{3}{10} - \frac{1}{3} \right) = -8.$$

Положительный знак приращения  $\Delta Z_{ij}$  означает возрастание, а отрицательный – убывание общей величины МОЗ на  $i$ -й паре смежных операций на интервале  $T_{ij}$ .

3. Рассчитаем величины МОЗ на границах интервалов  $T_{ij}$ .

Общая величина изменения МОЗ  $Z'_{ij}$  на  $i$ -й паре смежных операций от момента начала периода оборота  $T_0$  до момента окончания интервала  $T_{ij}$  определяется как сумма приращений  $\Delta Z_{ij}$  по всем предшествующим интервалам плюс приращение  $\Delta Z_{ij}$  на рассматриваемом интервале  $T_{ij}$ :

$$Z'_{ij} = \sum_j \Delta Z_{ij}.$$

Рассчитаем общую величину МОЗ для нашего примера:

$$Z'_{11} = \sum_{i=1}^1 \Delta Z_{ij} = 20; Z'_{12} = \sum_{i=1}^2 \Delta Z_{ij} = 20 - 20 = 0;$$

$$Z'_{21} = \sum_{i=1}^1 \Delta Z_{ij} = -18; Z'_{22} = \sum_{i=1}^2 \Delta Z_{ij} = -18 + 18 = 0;$$

$$Z'_{31} = \sum_{i=1}^1 \Delta Z_{ij} = 24; Z'_{32} = \sum_{i=1}^2 \Delta Z_{ij} = 24 + 0 = 24; Z'_{33} = \sum_{i=1}^3 \Delta Z_{ij} = 24 - 24 = 0;$$

$$Z'_{41} = \sum_{i=1}^1 \Delta Z_{ij} = 24; Z'_{42} = \sum_{i=1}^2 \Delta Z_{ij} = 24 - 16 = 8; Z'_{43} = \sum_{i=1}^3 \Delta Z_{ij} = 8 - 8 = 0.$$

Абсолютная величина МОЗ  $Z_{ij}$  в момент окончания интервала  $T_{ij}$  определяется как сумма значения МОЗ в начале периода оборота  $Z_{i0}$  и всех последующих приращений:

$$Z_{ij} = Z_{i0} + Z'_{ij} = Z_{i0} + \sum_j \Delta Z_{ij}.$$

Если  $Z_{i0} > 0$ , то его величина определяет значение переходящего (оборотного) задела на данной паре смежных операций. Переходящий задел увеличивает объем незавершенного производства, обусловленный межсменным пролеживанием изделий. Поэтому желательно минимизировать его суммарную величину по всем парам смежных операций для ОНПЛ в целом.

При расчете величины переходящего МОЗ  $Z_{i0}$  следует учитывать, что по своей сути  $Z_{ij} \geq 0$  в любой момент времени. С другой стороны, минимальное значение  $Z_{ij}$  должно быть равно нулю, поскольку в противном случае происходит необоснованное увеличение объема незавершенного производства. Поэтому, если среди  $Z'_{ij}$  есть неположительные величины, то в качестве  $Z_{i0}$  рассчитывается следующим образом:

$$Z_{i0} = \left| \min Z'_{ij} \right|.$$

Таким образом, рассчитать абсолютную величину МОЗ  $Z_{ij}$  можно:

$$Z_{ij} = \left| \min Z'_{ij} \right| + \sum_j \Delta Z_{ij}.$$

В нашем примере:

$$Z_{11} = 0 + 20 = 20; \quad Z_{12} = 0 + 20 - 20 = 0;$$

$$Z_{21} = 18 - 18 = 0; \quad Z_{22} = 18 - 18 + 18 = 18;$$

$$Z_{31} = 0 + 24 = 24; \quad Z_{32} = 0 + 24 + 0 = 24; \quad Z_{33} = 0 + 24 + 0 - 24 = 0;$$

$$Z_{41} = 0 + 24 = 24; \quad Z_{42} = 0 + 24 - 16 = 8; \quad Z_{43} = 0 + 24 - 16 - 8 = 0.$$

По значениям  $Z_{i0}$  и  $Z_{ij}$  строятся графики изменения МОЗ по каждой паре смежных операций (рис. 2.7).

При проектировании ОНПЛ необходимо предусмотреть на рабочих местах достаточные площади для хранения МОЗ. Для установления величины этой площади на каждой паре смежных операций определяют максимальную величину МОЗ по выражению

$$Z_{i_{\max}} = \max_j \{Z_{ij}\}.$$

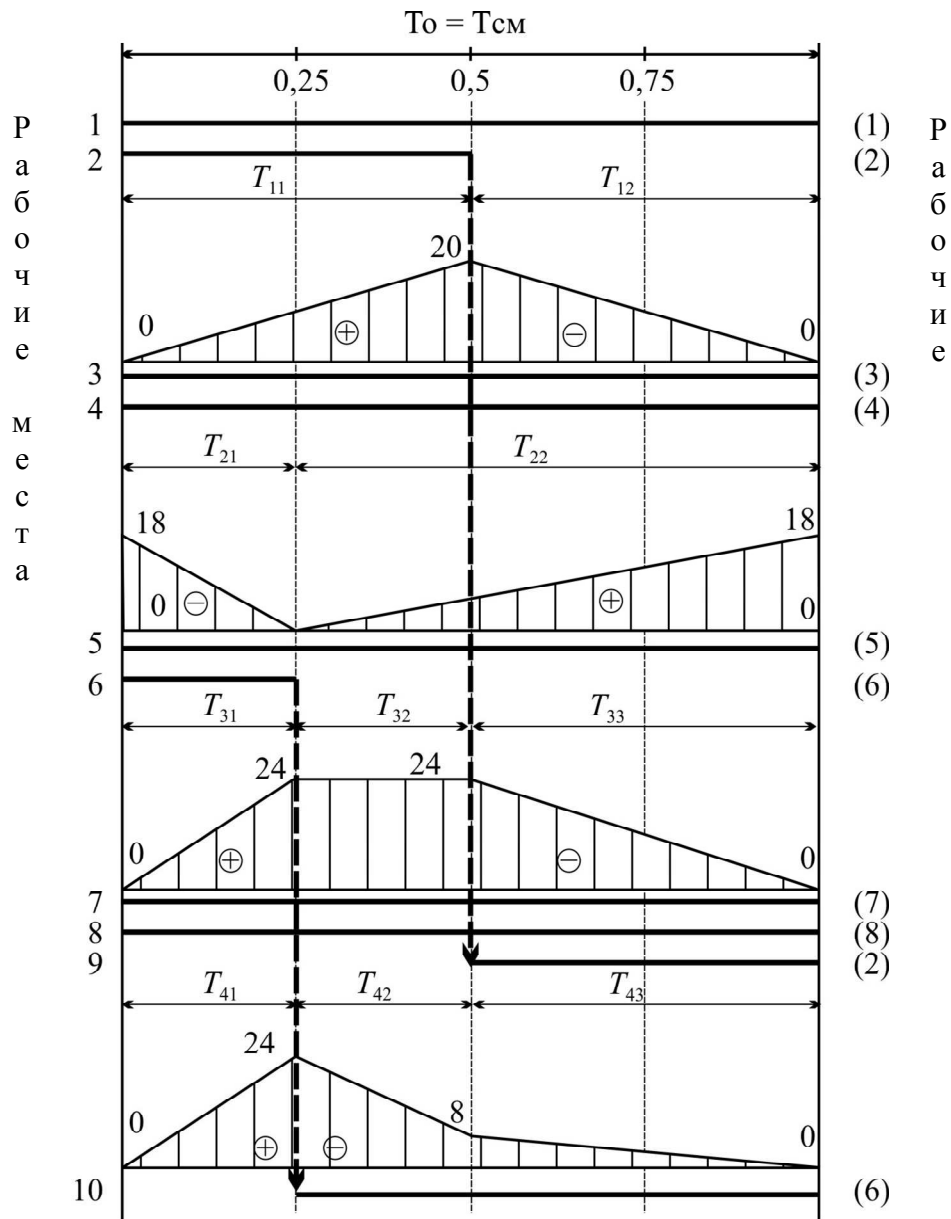


Рис. 2.7. Стандарт-план ОППЛ с МОЗ

Максимальная величина МОЗ:

- на 1-й паре смежных операций:  $Z_{1\max} = 20$ ;
- 2-й паре смежных операций:  $Z_{2\max} = 18$ ;
- 3-й паре смежных операций:  $Z_{3\max} = 24$ ;
- 4-й паре смежных операций:  $Z_{4\max} = 24$ .

В экономическом отношении важной характеристикой ОППЛ является средняя величина МОЗ, поскольку она характеризует связывание оборотных средств в незавершенном производстве. Для расчета этой величины вначале

определяют  $Z_{ij\tilde{n}\delta}$  – средний размер МОЗ на каждой паре смежных операций в течение каждого интервала  $T_{ij}$ :

$$Z_{ij\tilde{n}\delta} = \frac{Z_{ij} + Z_{i,j-1}}{2}, \text{ для первого интервала } Z_{i,j-1} = Z_{i0}.$$

Определяем средний размер МОЗ  $Z_{ij\tilde{n}\delta}$ :

$$Z_{11\tilde{n}\delta} = \frac{20+0}{2} = 10; \quad Z_{12\tilde{n}\delta} = \frac{0+20}{2} = 10;$$

$$Z_{21\tilde{n}\delta} = \frac{0+18}{2} = 9; \quad Z_{22\tilde{n}\delta} = \frac{18+0}{2} = 9;$$

$$Z_{31\tilde{n}\delta} = \frac{24+0}{2} = 12; \quad Z_{32\tilde{n}\delta} = \frac{24+24}{2} = 24; \quad Z_{33\tilde{n}\delta} = \frac{0+24}{2} = 12;$$

$$Z_{41\tilde{n}\delta} = \frac{24+0}{2} = 12; \quad Z_{42\tilde{n}\delta} = \frac{8+24}{2} = 16; \quad Z_{43\tilde{n}\delta} = \frac{0+8}{2} = 4.$$

Далее определяют среднюю величину МОЗ на каждой паре смежных операций в течение всего периода оборота  $T_o$ :

$$Z_{i\tilde{n}\delta} = \frac{\sum_j Z_{ij\tilde{n}\delta} T_{ij}}{T_o}.$$

Определяем среднюю величину МОЗ на каждой паре смежных операций для нашего примера:

$$Z_{1\tilde{n}\delta} = \frac{(10 \cdot 240 + 10 \cdot 240)}{480} = 10;$$

$$Z_{2\tilde{n}\delta} = \frac{(9 \cdot 120 + 9 \cdot 360)}{480} = 9;$$

$$Z_{3\tilde{n}\delta} = \frac{(12 \cdot 120 + 24 \cdot 120 + 12 \cdot 240)}{480} = 15;$$

$$Z_{4\tilde{n}\delta} = \frac{(12 \cdot 120 + 16 \cdot 120 + 4 \cdot 240)}{480} = 9.$$

Средняя величина МОЗ по всей ОППЛ  $Z_{\tilde{n}\delta}$  определяется суммированием  $Z_{i\tilde{n}\delta}$  по всем парам смежных операций:  $Z_{\tilde{n}\delta} = \sum_i Z_{i\tilde{n}\delta} = 10 + 9 + 15 + 9 = 43.$

Все расчеты размеров и динамики МОЗ ОППЛ заносим в табл. 2.8.

Таблица 2.8

**Определение размеров и динамики МОЗ ОППЛ**

$i$	$\bar{t}_{\phi \delta i}$	$\bar{t}_{\phi \delta i+1}$	$j$	$T_{ij}$	$C_{ij}$	$C_{i+1,j}$	$\Delta Z_{ij}$	$Z'_{ij}$	$Z_{i0}$	$Z_{ij}$	$Z_{i_{\max}}$	$Z_{ij_{\text{н\delta}}}$	$Z_{i_{\text{н\delta}}}$
1	6	8	1	240	2	2	20	20	0	20	20	10	10
			2	240	1	2	-20	0		0		10	
2	8	5	1	120	2	2	-18	-18	18	0	18	9	9
			2	360	2	1	18	0		18		9	
3	5	10	1	120	2	2	24	24	0	24	24	12	15
			2	120	1	2	0	24		24		24	
			3	240	1	2	-24	0		0		12	
4	10	3	1	120	2	0	24	24	0	24	24	12	9
			2	120	2	1	-16	8		8		16	
			3	240	3	1	-8	0		0		4	

На ОППЛ, как и на ОНПЛ, имеются также технологический, транспортный и резервный заделы, но их величина по сравнению с МОЗ незначительна, поэтому их расчет обычно не выполняют.

*Выбор транспортных средств и планировки ОППЛ.* В ОППЛ перемещение изделий с операции на операцию осуществляется либо вручную при производстве мелких и легких изделий, либо с помощью гравитационных транспортных средств, либо с помощью транспортных средств циклического действия. Выбор транспортных средств осуществляется с учетом величины такта линии, размера и веса изделий, планировки участка и расположения оборудования.

Пространственная планировка ОППЛ осуществляется с учетом обеспечения прямооточности, возможной близости рабочих мест, обслуживаемых одним рабочим-совместителем, удобства подходов к рабочим местам для ремонта и обслуживания и достаточности площадей для накопления заделов.

**Задание**

На ОППЛ собираются выходные трансформаторы. Определить такт ПЛ, количество рабочих мест и рабочих, определить размеры МОЗ и построить стандарт-план ОППЛ. Технологический процесс и исходные данные для расчета приведены в табл. 2.9.



Таблица 2.9

## Исходные данные

Показатели	Ед. изм.	Вариант				
		1	2	3	4	5
Сменный фонд времени	мин	480	480	480	480	480
Сменная программа выпуска	шт.	240	120	48	40	120
Нормы времени по операциям:						
1. Обжим заготовки под прессом	мин	3,0	2,0	22,0	12,0	5,0
2. Пропитка в компаундной массе	мин	2,0	9,0	15,0	16,0	8,0
3. Сушка	мин	2,8	7,0	15,0	36,0	10,0
4. Крепление платы к трансформатору	мин	4,2	6,0	38,0	20,0	9,0

Принять период оборота равным 1 смене.

## 2.3. Методы сетевого планирования и управления

### 2.3.1. Сетевые модели и виды сетей

Методы сетевого планирования и управления (СПУ) предназначены для управления комплексами работ на основе построения, анализа, оптимизации и обновления их моделей.

Основное назначение методов СПУ – повышение эффективности планирования и управления сложными проектами. Это достигается за счет использования сетевых моделей, дающих возможность:

- построить оптимальный или улучшенный план выполнения комплекса работ;
- с любой степенью детализации отображать состав и взаимосвязь его работ;
- управлять выполнением комплекса работ по четким правилам функционирования, включая элементы предвидения и поиска наилучшего варианта с учетом использования имеющихся ресурсов;
- прогнозировать с высокой достоверностью будущее состояние комплекса работ и тем самым иметь возможность заранее обнаружить потенциальные затруднения.

Областями применения методов СПУ являются планирование и управление:

- целевыми, сложными научно-техническими программами;
- сложными строительными объектами, когда требуется связывать действия нескольких организаций;
- научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими разработками, в которых участвуют различные организации – соисполнители, либо когда этот процесс протекает в одной организации;
- подготовкой производства к выпуску новых видов продукции (комплексной подготовкой производства).

Итак, методы СПУ предназначены для планирования и управления сложными комплексами работ.

Комплекс работ (КР) – конечная совокупность отдельных взаимосвязанных работ, выполнение которых обеспечивает достижение намеченных целей.

Основными элементами КР являются работы и события.

*Работа* – процесс, протекающий во времени. Работа должна иметь следующую характеристику: порядковый номер в КР, наименование, конкретное содержание, потребные ресурсы для ее выполнения (затраты времени, численность исполнителей определенной профессии и квалификации; финансы), объемы работ, код.

В сетевом планировании и управлении выделяют три вида работ: действительная работа, ожидание и фиктивная работа.

*Действительная работа* представляет собой трудовой процесс, протекающий во времени и требующий всех видов ресурсов (научные исследования, разработка комплекта конструкторской документации, изготовление макета будущего изделия и т. д.).

*Ожидание* – процесс, протекающий во времени, но не требующий других видов ресурсов (корпуса приборов, предназначенные для глубоководного погружения и изготовленные методом литья. Прежде чем они пойдут на дальнейшую обработку – фрезерование, сверление и т. д. – должны пройти процесс «старения», пока окончательно не сформируется структура металла. Иногда этот перерыв длится 2–2,5 месяца).

*Фиктивная работа* является логической связью между работами, не требует никаких видов ресурсов. Фиктивная работа необходима для отображения в сетевых моделях особых условий взаимосвязи между работами комплекса.

*Событие* означает определенное состояние в процессе выполнения КР: факт наступления условий, позволяющих начать одну или несколько работ, факт окончания одной или нескольких работ.

Событие, в отличие от работы, не является процессом и не имеет продолжительности. Событие не наступает до тех пор, пока не закончатся все предшествующие ему работы.

КР включает следующие виды событий:

- исходное событие (не имеет предшествующих ему работ и представляет собой факт наступления условий для начала выполнения КР);
- завершающее событие (представляет собой факт завершения всего КР). Оно наступает в момент окончания всех предшествующих ему работ;
- все остальные события называются промежуточными.

Среди событий выделяют целевые и контрольные события.

Целевые события означают достижение определенной цели в КР. Завершающее событие обязательно целевое. Промежуточные события, преследующие определенные цели (окончания НИР, либо ОКР, либо изготовления первой промышленной партии) являются целевыми.

*Контрольные события* – промежуточные события, специально выделяемые для целей управления. На контроль могут быть поставлены события, связанные с окончанием этапов НИР или ОКР, технологической подготовки производства и т. п.

*Сетевые модели.* *Сетевой моделью* называют информационную модель комплекса работ, составляющей которой является сеть комплекса.

Для построения сети комплекса используется ориентированный граф.

Ориентированный граф представляет собой совокупность вершин и дуг, где дуги ориентированы относительно вершин, т. е. указано, из какой вершины дуга заходит и в какую вершину дуга упирается. В ориентированном графе четко просматривается направленность дуг и их взаимосвязь с вершинами.

Для построения сети комплекса необходимо выполнить следующие требования:

- каждой работе сопоставить элемент сети так, чтобы различным работам соответствовали различные элементы сети;
- сохранить отношения предшествования между элементами сети точно такими же, какие существуют между работами.

*Виды сетей.* В зависимости от способа сопоставления элементов КР (работы и события) с элементами графа (вершины и дуги) различают три основных типа сетей:

- сети типа «работа–дуга», в которых работы комплекса представлены дугами графа, а вершины графа соответствуют событиям. Такие модели также называют «сети в терминах работ и событий»;

- сети типа «работа–вершина», в которых сопоставляются работы комплекса и вершины, а дуги отражают отношения порядка между работами («сети в терминах работ»);

- сети типа «событие–вершина», в которых сопоставляются события комплекса и вершины, а дуги отражают отношения порядка между событиями («сети в терминах событий»).

Последние сети используют на этапе проработки содержания предстоящего комплекса работ, когда возможно сформулировать укрупненные части КР, основные этапы его разработки и последовательность их выполнения. Эти сети могут использоваться и при выдаче заданий ответственным исполнителям КР на разработку первичных графиков. Кроме того, сети такого типа применяются там, где необходимо контролировать результаты деятельности участников реализации КР, а не саму деятельность. Сети такого типа создают для руководителей структурных подразделений как инструмент контроля за ходом выполнения разработки.

Применение сетей типа «работа–вершина» или типа «работа–дуга» решается конкретно в каждом случае с учетом особенности КР и характера задач. Следует иметь в виду, что построение сетей типа «работа–вершина» проще, так как не требует введения дополнительных элементов (например, «фиктивных» работ). Рекомендуются их применять, если состав и структура комплекса часто меняется, либо не полностью выяснен состав комплекса, так как изменения проводить здесь легко и просто, в то время как для сетей «работа–дуга» эти изменения потребуют сложных переделок.

В последнее время для сетевых моделей «работа–вершина» имеется программное обеспечение, позволяющее решать задачи оптимизации по времени, численности исполнителей и стоимости выполнения КР.

В зависимости от степени обязательности выполнения всех работ комплекса различают:

- *сети с детерминированной структурой*, в которой все включенные в нее работы обязательно должны быть выполнены;

– *альтернативные сети*, в которых часть работ может не выполняться, если конечный результат получен за счет выполнения другой части работ. Такие сети имеют место в случае, когда в комплексе закладывают несколько концепций для решения поставленных целей. В случае достижения цели реализацией одной концепции другие пути достижения цели исключаются.

В зависимости от вида оценок продолжительности работ различают:

- *сети с вероятностными оценками* продолжительности работ;
- *сети с детерминированными оценками* продолжительности работ.

### **Способы представления сетей комплекса**

Сети комплекса могут быть представлены тремя способами:

- графическое изображение сети;
- списочное представление сети;
- матричное представление сети.

Графическое изображение сети комплекса называют сетевым графиком (СГ).

#### **2.3.2. Сети типа «работа–дуга»**

Для сохранения всей информации, содержащейся в КР при формализованном его представлении с помощью сетевого графика, необходимо соблюдать следующие правила:

- каждой работе комплекса должна соответствовать дуга сети;
- вершины сети используются для отображения отношений предшествования между работами и представляют собой события комплекса;
- каждая работа должна быть заключена между двумя событиями и иметь свой собственный код (рис. 2.8);

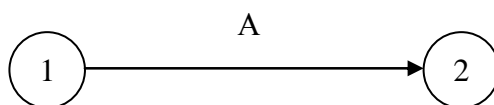


Рис. 2.8. График выполнения работы А:  
1 – начальное событие работы А; 2 – конечное событие

– последовательное выполнение работ А и В, где В следует за работой А и на СГ представляется в виде последовательной цепочки работ и событий (рис. 2.9);

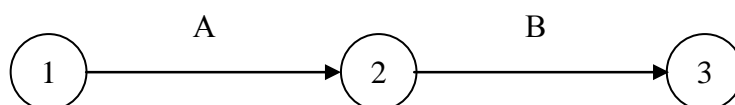


Рис. 2.9. График последовательного выполнения работ А и В

- после составления графика следует пронумеровать события слева направо так, чтобы каждая работа имела свой собственный код и при этом номера событий возрастали от начала графика к концу  $i < j$ ;
- параллельное выполнение работ А, В, С на СГ представляется рис. 2.10;

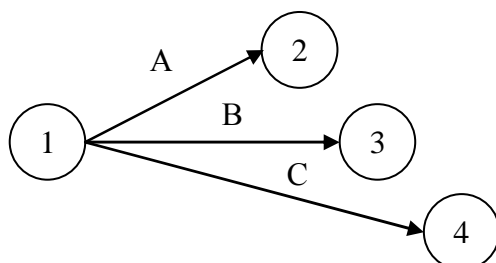


Рис. 2.10. Параллельное выполнение работ А, В и С

В случае, когда после завершения параллельно выполняемых работ А и В выполняется работа С, то на СГ это следует представлять рис. 2.11;

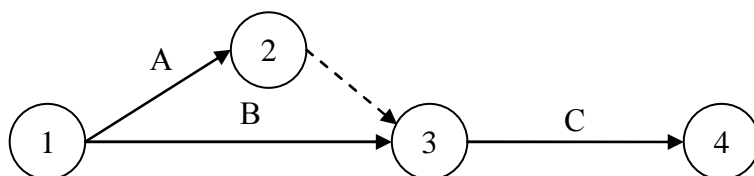


Рис. 2.11

– на СГ не должно быть: а) события (за исключением исходного), к которому не подходит ни одна работа (рис. 2.12, соб. 3, раб. С), б) события (за исключением завершающего), из которого не выходит ни одна работа (рис. 2.12, соб. 5, раб. D);

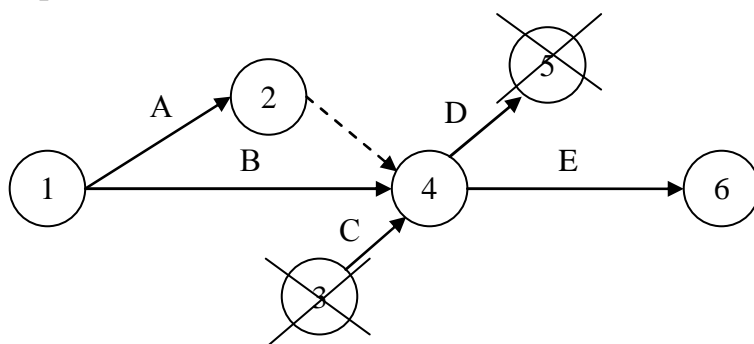


Рис. 2.12

– в сетевом графике не должно быть замкнутых контуров, т. е. таких ситуаций, когда выполнение предшествующей работы А зависит от результатов следующих за ней работ В и С (рис. 2.13).

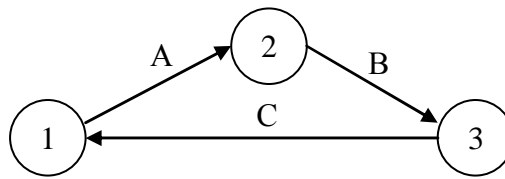


Рис. 2.13

Из рис. 2.13 следует, что работу А можно начинать после окончания работы С, которая выполняется после окончания работы В, которая, в свою очередь, требует результата выполнения работы А, что явно нереально.

Сетевой график должен иметь наиболее простую конфигурацию, не иметь пересечений и, по возможности, лишних элементов.

Коэффициент сложности ( $\hat{E}_{\text{нэ}}$ ) оценивает сложность сетевой модели и определяется отношением количества работ ( $n_{\text{дàá}}$ ) к количеству событий ( $n_{\text{нâá}}$ ):

$$\hat{E}_{\text{нэ}} = \frac{n_{\text{дàá}}}{n_{\text{нâá}}}.$$

При  $\hat{E}_{\text{нэ}} > 2$  сетевые графики считаются сложными.

*Пример построения сетевого графика.* Для построения сетевого графика необходимо выяснить перечень работ в комплексе, порядок их следования, т. е. выявить условия их взаимосвязи и последовательность выполнения. Далее выявляются работы, позволяющие по своему содержанию параллельное выполнение, и заносятся в табл. 2.10.

Таблица 2.10

**НИОКР изделия «А»**

Номер работы	Содержание работы	Номер непосредственно предшествующей работы
1	Разработка ТЗ на выполнение НИОКР и выбор концепции проведения исследований	–
2	Проведение научных исследований и разработка структурной схемы изделия «А»	1
3	Разработка принципиальной схемы и конструкции блока 1 – изделия «А»	2
4	Разработка принципиальной схемы и конструкции блока 2 – изделия «А»	2

Номер работы	Содержание работы	Номер непосредственно предшествующей работы
5	Разработка принципиальной схемы, конструкции изделия «А» и комплекта конструкторской документации	3,4
6	Приобретение материалов и покупных элементов	5
7	Технологическая подготовка производства к выпуску опытного образца	5
8	Разработка методики проведения испытаний опытного образца	5
9	Изготовление опытного образца изделия «А»	6,7
10	Испытание опытного образца изделия «А» и корректировка конструкторской документации по результатам испытаний	8,9

На рис. 2.14 представлен сетевой график НИОКР изделия «А».

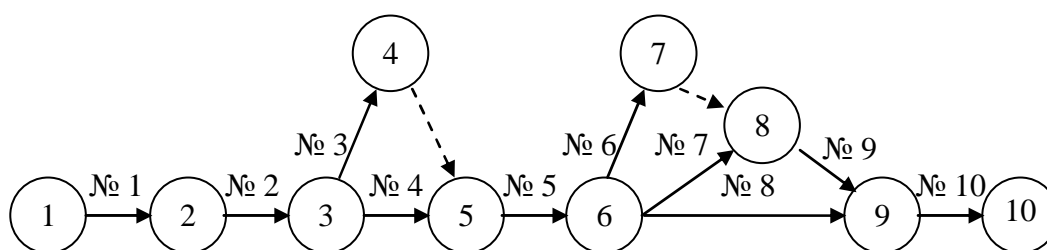


Рис. 2.14. Сетевой график НИОКР изделия «А»

Конечная цель расчета параметров сетевых моделей заключается в предоставлении информации плановым органам для установления плановых сроков начала и окончания работ.

Для расчета основных параметров необходимо располагать данными о продолжительности работ. Существуют детерминированные и вероятностные оценки продолжительности работ.

*Детерминированной* называется оценка длительности работ, используемая в случаях, когда предполагаемая их продолжительность может быть оценена точно или с относительно небольшой ошибкой. *Вероятностной* называется оценка, получаемая в предположении, что продолжительность выполнения работы является случайной величиной, подчиняющейся определенному закону распределения.



Для отражения продолжительности работ в сетевом графике используют следующие три задаваемые экспертами оценки:

- *минимальная* (или *оптимистическая* ( $a_{ij}$ )) – оценка продолжительности работы  $(i, j)$ , отвечающая наиболее благоприятным условиям ее выполнения;
- *наиболее вероятная* ( $m_{ij}$ ) – оценка продолжительности работы  $(i, j)$  в предположении наиболее часто встречающихся условий ее выполнения;
- *максимальная* (или *пессимистическая* ( $b_{ij}$ )) – оценка продолжительности работы  $(i, j)$ , отвечающая наиболее неблагоприятным условиям ее выполнения.

На основе этих экспертных оценок могут быть определены математическое ожидание (ожидаемая величина)  $t_{ij}$  и дисперсия  $D_{ij}$  продолжительности работы  $(i, j)$ . Здесь запись  $(i, j)$  означает код работы в сетевом графике проекта. Тогда, как показывает практика, статистические законы распределения продолжительности работ достаточно хорошо согласуются с законом бета-распределения.

Расчет параметров сетевого графика может быть выполнен как с использованием трех оценок  $a_{ij}$ ,  $m_{ij}$ ,  $b_{ij}$ , так и с использованием двух оценок  $a_{ij}$ ,  $b_{ij}$ .

В первом случае

$$t_{ij} = \frac{a_{ij} + 4m_{ij} + b_{ij}}{6}, \quad D_{ij} = \left( \frac{b_{ij} - a_{ij}}{6} \right)^2.$$

Для второго случая

$$t_{ij} = \frac{3a_{ij} + 2b_{ij}}{5}, \quad D_{ij} = \left( \frac{b_{ij} - a_{ij}}{5} \right)^2.$$

Рассмотрим порядок построения и расчета параметров сетевой модели на примере комплекса работ по промышленному освоению новых приборов и их поставке заказчикам.

Исходная информация для построения топологии сетевой модели и продолжительности работ дана в табл. 2.11.

Таблица 2.11

**Комплекс работ по промышленному освоению новых приборов  
и их поставке заказчикам**

Код работы	Наименование работы	Ожидаемая длительность, нед.
(1–2)	Сбор и обработка заказов на прибор	3
(1–3)	Подготовка производства к промышленному освоению прибора	5
(2–4)	Уточнение спецификации по заказам	2
(2–5)	Оформление договоров на поставку прибора заказчикам	1
(3–4)	Установление требований к производственной технологичности прибора	1
(3–6)	Производство приборов	10
(4–5)	Рассылка заказчикам уточненной спецификации прибора в соответствии с требованиями заказчика	2
(4–6)	Подготовка технической документации по приборам	4
(5–6)	Подготовка комплекта ЗИП по заказам	1

На рис. 2.15 представлен сетевой график выполнения работ комплекса.

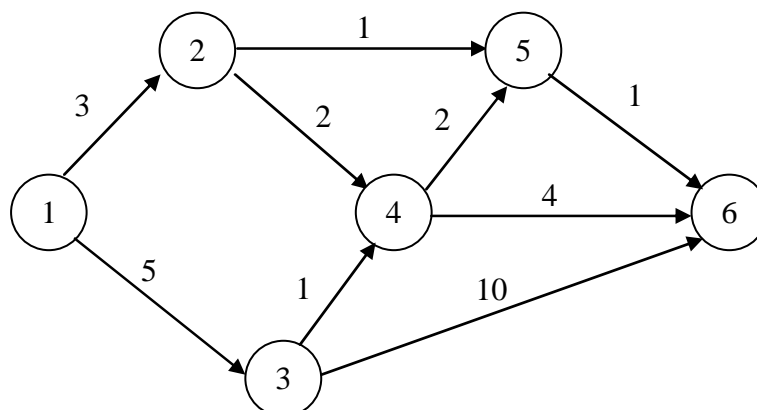


Рис. 2.15. Сетевой график выполнения комплекса работ

*Путем* сетевого графика называется упорядоченная совокупность работ, в которой конечное событие предшествующей работы является начальным событием непосредственно следующей за ней работы.

*Полный путь* начинается исходным событием и заканчивается завершающим событием СГ. Обозначим путь  $L_s$ , где  $s$  – номер пути, т. к. в сетевом графике множество полных путей. Для каких-то частных случаев возможно рассматривать путь между промежуточными событиями, т. е. часть полного пути.

Продолжительность пути  $T_{L_S}$  определяется как сумма продолжительностей работ, принадлежащих пути:

$$T_{L_S} = \sum_{ij \in L_S} t_{ij}.$$

Самый большой по продолжительности путь называется *критическим* и на сетевом графике выделяется красным цветом. Любые задержки начала выполнения работ критического пути или увеличения продолжительности их выполнения могут привести к срывам установленных сроков выполнения комплекса работ.

$$T_{\hat{\epsilon}\delta} = \left\{ T_{L_S} \right\}.$$

Выделяют также *подкритические* пути, отличающиеся по продолжительности от критических на заданную величину  $\delta$ . Эта величина зависит от особенностей работ комплекса.

Все остальные пути называют *ненапряженными*.

Определим пути сетевого графика, приведенного на рис. 2.15 и их параметры – длительность и резерв времени.

На графике имеется шесть полных путей. Занесем в табл. 2.12 номера работ, принадлежащих путям, и их продолжительность.

Таблица 2.12

Расчет параметров путей

Номер $L_S$	Номера работ $L_S$	$T_{L_S}$	$R_{L_S}$
1	1–2, 2–5, 5–6	4	11
2	1–2, 2–4, 4–5, 5–6	8	7
3	1–2, 2–4, 4–6	9	6
4	1–3, 3–4, 4–5, 5–6	9	6
5	1–3, 3–4, 4–6	10	5
<b>6</b>	<b>1–3, 3–6</b>	<b>15</b>	<b>0</b>

Выделим на сетевом графике критический путь.

*Резерв времени полного пути* сетевого графика представляет собой разность между продолжительностями критического и любого другого полного пути:

$$R_{L_S} = T_{\hat{\epsilon}\delta} - T_{L_S}.$$

Резерв времени пути  $L_s$  указывает, на какое максимально допустимое время могут быть увеличены продолжительности всех работ пути  $L_s$  без увеличения критического времени  $T_{\text{крит}}$ .

Рассчитаем величину  $R_{L_s}$  всех путей сетевого графика и занесем в табл. 2.15.

Далее рассчитаем параметры событий. События сетевого графика имеют три параметра:

1. Ранний срок наступления события  $j$  – это минимальное необходимое время для его наступления. Срок определяется по рекуррентному соотношению

$$T_{jp} = \max_{i, j \in V_j^+} (T_{ip} + t_{ij}),$$

где  $V_j^+$  – множество дуг, входящих в событие  $j$ .

2. Поздний срок наступления события  $i$  – это максимально допустимое время его наступления, определяемое из условия сокращения общей продолжительности проекта. Эта величина рассчитывается по рекуррентному соотношению

$$T_{i\bar{p}} = \min_{i, j \in V_i^-} (T_{j\bar{p}} - t_{ij}),$$

где  $V_i^-$  – множество дуг, выходящих из события  $i$ .

3. Резерв времени события  $i$  – время, на которое может быть задержано его наступление без нарушения времени выполнения проекта в целом:

$$R_i = T_{i\bar{p}} - T_{ip}.$$

Для всех событий критического пути резервы времени равны нулю:

$$R_i = 0, \\ i \in L_{\text{крит}}$$

На рис. 2.16 показано событие в секторном виде, с указанием параметров секторов.

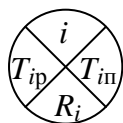


Рис. 2.16. Секторный вид события

*Расчет раннего срока наступления событий.* Расчет параметров событий начинаем с исходного события 1, для которого принимается  $T_{1\delta} = 0$ . Графики сначала рассчитывают без привязки к календарным срокам, и лишь после их оптимизации, при установлении плановых сроков, исходное событие привязывают к конкретной дате.

Для других событий получим:

$$T_{2\delta} = T_{1\delta} + t_{1,2} = 0 + 3 = 3 \text{ íä.}$$

$$T_{3\delta} = T_{1\delta} + t_{1,3} = 0 + 5 = 5 \text{ íä.}$$

$$T_{4\delta} = \max \left| \begin{array}{l} T_{2\delta} + t_{2,4} = 3 + 2 = 5 \text{ íä.} \\ T_{3\delta} + t_{3,4} = 5 + 1 = 6 \text{ íä.} \end{array} \right| = 6 \text{ íä.}$$

$$T_{5\delta} = \max \left| \begin{array}{l} T_{2\delta} + t_{2,5} = 3 + 1 = 4 \text{ íä.} \\ T_{4\delta} + t_{4,5} = 6 + 2 = 8 \text{ íä.} \end{array} \right| = 8 \text{ íä.}$$

$$T_{6\delta} = \max \left| \begin{array}{l} T_{5\delta} + t_{5,6} = 8 + 1 = 9 \text{ íä.} \\ T_{4\delta} + t_{4,6} = 6 + 4 = 10 \text{ íä.} \\ T_{3\delta} + t_{3,6} = 5 + 10 = 15 \text{ íä.} \end{array} \right| = 15 \text{ íä.}$$

*Расчет позднего срока наступления событий.* Расчет начинаем с завершающего события: устанавливаем  $T_{6\bar{i}} = T_{6\delta} = 15 \text{ íä.}$

Если комплекс работ может быть закончен в срок  $T_{6\delta}$ , то это будет и его поздний срок окончания работ.

Для других событий получим:

$$T_{5\bar{i}} = T_{6\bar{i}} - t_{5,6} = 15 - 1 = 14 \text{ íä.}$$

$$T_{4\bar{i}} = \min \left| \begin{array}{l} T_{5\bar{i}} - t_{4,5} = 14 - 2 = 12 \text{ íä.} \\ T_{6\bar{i}} - t_{4,6} = 15 - 4 = 11 \text{ íä.} \end{array} \right| = 11 \text{ íä.}$$

$$T_{3\bar{i}} = \min \left| \begin{array}{l} T_{4\bar{i}} - t_{3,4} = 11 - 1 = 11 \text{ íä.} \\ T_{6\bar{i}} - t_{3,6} = 15 - 10 = 5 \text{ íä.} \end{array} \right| = 5 \text{ íä.}$$

$$T_{2i} = \min \left| \begin{array}{l} T_{5i} - t_{2,5} = 14 - 1 = 10 \text{ íä.} \\ T_{4i} - t_{2,4} = 11 - 2 = 9 \text{ íä.} \end{array} \right| = 5 \text{ íä.}$$

$$T_{1i} = \min \left| \begin{array}{l} T_{2i} - t_{1,2} = 9 - 3 = 6 \text{ íä.} \\ T_{3i} - t_{1,3} = 5 - 5 = 0 \end{array} \right| = 0$$

Расчет резерва событий:

$$R_1 = 0.$$

$$R_2 = T_{2i} - T_{2\delta} = 9 - 3 = 6 \text{ íä.}$$

$$R_3 = T_{3i} - T_{3\delta} = 5 - 5 = 0.$$

$$R_4 = T_{4i} - T_{4\delta} = 11 - 6 = 5 \text{ íä.}$$

$$R_5 = T_{5i} - T_{5\delta} = 14 - 8 = 6 \text{ íä.}$$

$$R_6 = T_{6i} - T_{6\delta} = 15 - 15 = 0.$$

Все расчеты параметров событий заносим на сетевой график комплекса работ (рис. 2.17).

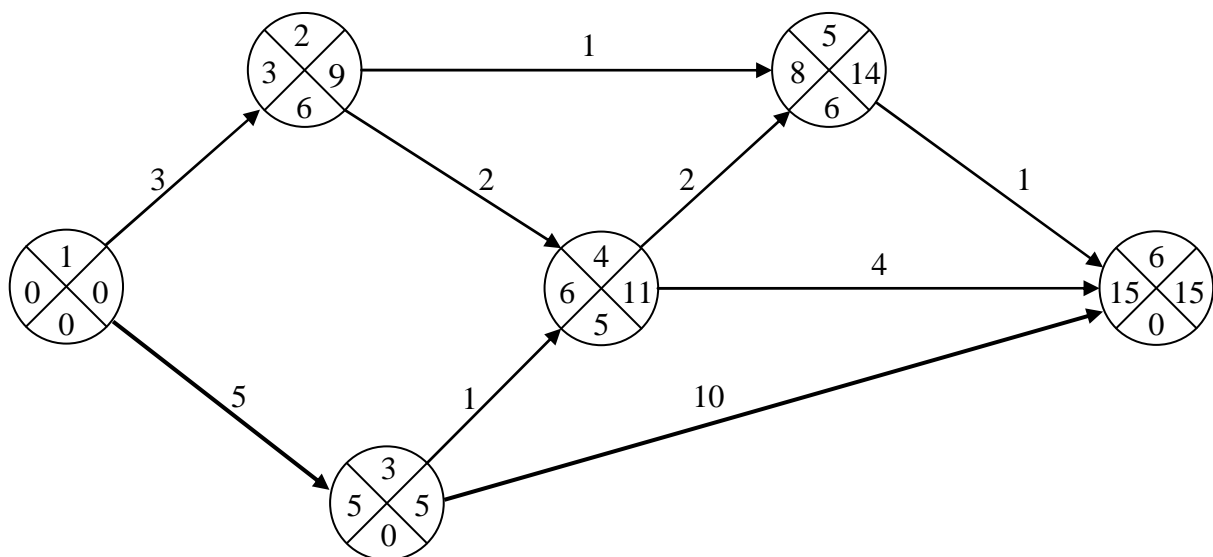


Рис. 2.17. Сетевой график выполнения работ комплекса

*Расчет параметров работ.* В табл. 2.13 представлены основные параметры работ сетевого графика комплекса работ.

Таблица 2.13

## Параметры сетевого графика

Параметр	Определение	Формула
Раннее время начала работы	Минимально необходимое время от момента наступления исходного события до момента начала этой работы	$t_{ijp.n} = T_{ip}$
Раннее время окончания работы	Минимально необходимое время от момента наступления исходного события до момента окончания этой работы	$t_{ijp.o} = T_{ip} + t_{ij}$
Позднее время окончания работы	Максимально допустимый срок окончания работы, при котором еще возможно выполнение всех следующих за ней работ без превышения критического времени	$t_{ijп.o} = T_{jп}$
Позднее время начала работы	Максимально допустимый срок начала работы, при котором еще возможно выполнение этой работы и всех следующих за ней работ без превышения критического времени комплекса работ	$t_{ijп.n} = T_{jп} - t_{ij}$
Полный резерв времени работ	Максимальное время, на которое можно увеличить продолжительность этой работы или отсрочить ее начало без нарушения позднего срока наступления ее конечного события в случае, если еще возможно выполнение этой работы и всех следующих за ней работ без превышения критического времени комплекса работ	$R_{i\hat{n}\hat{e}\hat{i}} = T_{j\hat{n}} - T_{i\hat{o}} - t_{ij}$
Свободный резерв времени работы	Максимальное время, на которое можно увеличить продолжительность этой работы или отсрочить ее начало без нарушения ранних сроков наступления всех последующих событий и работ	$R_{\hat{n}\hat{a}} = T_{j\hat{o}} - T_{i\hat{o}} - t_{ij}$

Результаты расчета параметров работ занесем в табл. 2.14.

Таблица 2.14

## Расчет параметров работ

Код работы	$t_{ij}, \text{íää.}$	$t_{\hat{o},\hat{i}}$	$t_{\hat{o},\hat{n}}$	$t_{\hat{i},\hat{n}}$	$t_{\hat{i},\hat{o}}$	$R_{\hat{n}\hat{e}\hat{i}}$	$R_{\hat{n}\hat{a}}$
1–2	3	0	3	9	6	6	0
1–3	5	0	5	5	0	0	0
2–4	2	3	5	11	9	6	1
2–5	1	3	4	14	13	11	4
3–4	1	5	6	11	10	5	0
3–6	10	5	15	15	5	0	0
4–5	2	6	8	14	12	6	0
4–6	4	6	10	15	11	5	5
5–6	1	8	9	15	14	6	6

Обратите внимание, что для работ критического пути:

$$t_{\hat{0},\hat{1}} = t_{\hat{1},\hat{1}} ; t_{\hat{0},\hat{1}} = t_{\hat{1},\hat{1}} ; R_{\hat{1}\hat{1}\hat{1}} = 0; R_{\hat{1}\hat{1}} = 0.$$

В сетевых моделях может быть несколько критических путей, но чем их больше, тем сложнее управлять выполнением работ такого комплекса.

Плановые сроки могут быть установлены лишь после выполнения оптимизации сетевого графика по численности исполнителей и стоимости выполнения комплекса работ.

### 2.3.3. Сети типа «работа–вершина»

Исходная информация для построения топологии сетевой модели и продолжительности работ дана в табл. 2.15.

Таблица 2.15

**Комплекс работ по промышленному освоению новых приборов  
и их поставке заказчикам**

Код работы	Наименование работы	Ожидаемая длительность, нед.
A	Сбор и обработка заказов на прибор	3
B	Подготовка производства к промышленному освоению прибора	5
C	Уточнение спецификации по заказам	2
D	Оформление договоров на поставку прибора заказчикам	1
E	Установление требований к производственной технологичности прибора	1
F	Производство приборов	10
G	Рассылка заказчикам уточненной спецификации прибора в соответствии с требованиями заказчика	2
H	Подготовка технической документации по приборам	4
I	Подготовка комплекта ЗИП по заказам	1

Перерисуем сетевую модель в представлении «работа–вершина», указывая рядом с обозначением ее длительность.

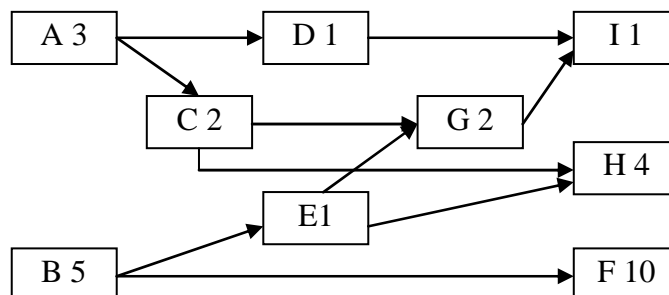


Рис. 2.18. Сетевая модель типа «работа–вершина»



Ручной расчет временных параметров реализуется по шагам, а получаемые результаты удобно заносить в табл. 2.16.

1. *Определение последовательности выполнения работ.* В первый столбец таблицы заносится перечень работ с указанием длительности каждой из них. Непосредственно предшествующие работы заносим во второй столбец, а непосредственно следующие работы – в третий.

2. *Определение раннего времени начала и раннего времени окончания работ.* Определение раннего времени начала и раннего окончания работ, т. е. заполнение столбцов 4 и 5 табл. 2.16 должно выполняться одновременно, так как время начала одних работ зависит от времени окончания других.

Заполнение указанных столбцов идет последовательно от начала сетевой модели к ее концу. При этом действуют следующие правила:

– раннее время начала выполнения работы равно 0, если данной работе непосредственно не предшествует ни одна из работ сетевой модели; или равно максимально раннему времени окончания из всех непосредственно предшествующих ей работ;

– раннее время окончания рассматриваемой работы равно раннему времени ее начала (из столбца 4) плюс продолжительность работы (из столбца 5).

Продолжительность критического пути равна максимальному значению в столбце 5.

Исходя из предыдущего, первыми будут рассматриваться работы А и В как не имеющие предшественников (заполняем для них соответствующие ячейки столбцов 4 и 5).

Таблица 2.16

Расчет параметров работ

Работа, длительность, нед.	Непосредственно предшествующая	Непосредственно следующая	$t_{\delta.i}$	$t_{\delta.i}$	$t_{i.i}$	$t_{i.i}$	$R_{i\bar{i}i}$	$R_{\bar{n}i}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
А 3	–	Д, С	0	3	9	6	6	0
В 5	–	Е, F	0	5	5	0	0	0
С 1	А	Г	3	5	11	9	6	1
Д 1	А	И	3	4	14	13	11	4
Е 1	В	Г, Н	5	6	11	10	5	0
F 10	В	–	5	15	15	5	0	0
Г 2	С, Е	И	6	8	14	12	6	0
Н 4	С, Е	–	6	10	15	11	5	5
И 1	Д, Г	–	8	9	15	14	6	6

За работой А идут работы D и С, для которых также заполняем соответствующие им ячейки столбцов 4 и 5, исходя из рассчитанного раннего времени окончания работы А и продолжительностей работ D и С.

За работой В идут работы Е и F, для которых также заполняем соответствующие им ячейки столбцов 4 и 5, исходя из рассчитанного раннего времени окончания работы Е и продолжительностей работ Е и F

Далее по сформулированным правилам рассчитываем последовательно параметры работ в последовательности G, H, I и заполняем все ячейки столбцов 4 и 5.

Продолжительность критического пути составляет 15 нед. Очевидно, что он состоит из работ В и F. Это означает, что все работы комплекса могут быть выполнены не менее чем за 15 нед.

*3. Определение позднего времени окончания и позднего времени начала работ.* Определение позднего времени окончания и позднего начала работ, т. е. заполнение столбцов 6 и 7 должно осуществляться также одновременно, так как время начала одних работ зависит от времени окончания других.

Заполнение указанных столбцов выполняется последовательно от конца сетевой модели к ее началу. При этом действуют следующие правила:

- позднее время окончания выполнения работы равно продолжительности критического пути, если за данной работой нет ни одной непосредственно следующей работы (из столбца 5) сетевой модели; или равно минимальному позднему времени начала из всех работ, непосредственно следующих за данной работой;

- позднее время начала рассматриваемой работы равно позднему времени ее окончания (из столбца 6) минус продолжительность работы из столбца 1).

Исходя из предыдущего, первыми будут рассматриваться работы I, H, F как не имеющие следующих за ними работ (заполняем для них соответствующие ячейки столбцов 6 и 7).

Перед работой I идут работы D и G, для которых также заполняем соответствующие им ячейки столбцов 6 и 7, исходя из рассчитанного позднего времени начала работы I и продолжительностей работ D и G.

Перед работой H идет работа С, для которой также заполняем соответствующие ей ячейки столбцов 6 и 7, исходя из рассчитанного позднего времени начала работы H и продолжительности работы С.

Перед работой F идет работа B, для которой также заполняем соответствующие ей ячейки столбцов 6 и 7, исходя из рассчитанного позднего времени начала работы F и продолжительности работы B.

Далее по сформулированным правилам рассчитываем последовательно параметры работ в последовательности D–A и заполняем все ячейки столбцов 6 и 7.

4. *Определение полного резерва времени выполнения работы.* Полный резерв времени работы находится как разность значений ее позднего и раннего времени окончания (соответственно столбцы 6 и 5) либо как разность значений ее позднего и раннего начала выполнения (соответственно, столбцы 7 и 4). Значения полного резерва заносим в соответствующие ячейки столбца 8.

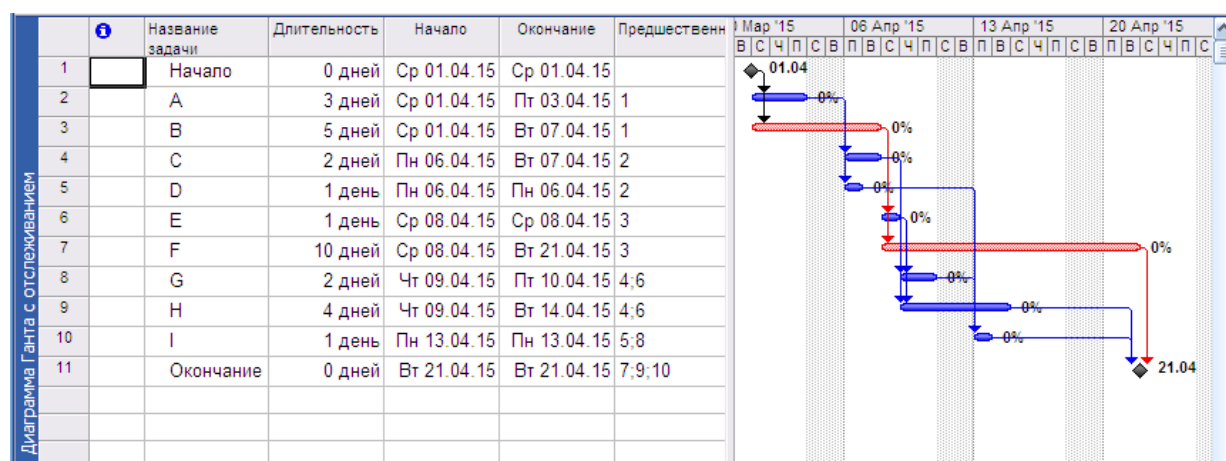


Рис. 2.19. Диаграмма Ганта с отслеживанием

На рис. 2.19 представлена диаграмма Ганта с отслеживанием, соответствующая рассмотренной сетевой модели, построенная с помощью программы Microsoft Project. Дата начала проекта – 01 апреля 2015 г.

### 2.3.4. Методы оптимизации сетевых моделей

*Оптимизация по времени.* В практике планирования руководящие органы часто еще до составления и анализа сетевого графика комплекса работ устанавливают директивный срок его окончания  $T_{\text{д}}$ . После составления и анализа сетевого графика комплекса работ возможно получение трех результатов:

1.  $T_{\text{с}} = T_{\text{д}}$  (приведенный сетевой график);
2.  $T_{\text{с}} < T_{\text{д}}$  (приемлемый сетевой график);

3.  $T_{\hat{\epsilon}\delta} > T_{\ddot{a}}$  (неприемлемый сетевой график). В этом случае необходимо оптимизировать сетевой график с целью сокращения  $T_{\hat{\epsilon}\delta}$  до выполнения условия  $T_{\hat{\epsilon}\delta} \leq T_{\ddot{a}}$ .

Сокращение  $T_{\hat{\epsilon}\delta}$  может быть достигнуто:

- заменой последовательного выполнения работ параллельным там, где это допускается характером работ и организационных условий;
- перераспределением ресурсов между работами, не принадлежащими критической зоне комплекса работ, и работами критического пути.

При оптимизации сетевых графиков с вероятностными оценками продолжительности работ необходимо рассчитать вероятность выполнения всего комплекса работ и наступления его событий в заданные сроки.

Пути оптимизации сетевого графика:

- пересмотр топологии сетевой модели с целью замены последовательных работ на параллельные там, где это допускается характером работ;
- перераспределение ресурсов между работами с целью снятия исполнителей с ненапряженных путей и передачи их на критические пути и пути критической зоны;
- получение дополнительных ресурсов извне, с других комплексов работ, у которых ситуация благополучна, т. е.  $T_{\hat{\epsilon}\delta} < T_{\ddot{a}}$ .

Для сетевых графиков с вероятностными оценками продолжительности работ при ситуации  $T_{\hat{\epsilon}\delta} > T_{\ddot{a}}$ , следует оценить, какова вероятность ( $P$ ) того, что  $T_{\hat{\epsilon}\delta}$  окажется равным или меньшим  $T_{\ddot{a}}$ . Если эта вероятность находится в пределах 0,35 ... 0,65, то в теории сетевого планирования и управления это считается достаточным, чтобы утверждать, что комплекс работ будет выполнен в срок. Если  $P(T_{\hat{\epsilon}\delta} \leq T_{\ddot{a}}) < 0,35$ , то только тогда требуется оптимизация сетевых моделей по времени. В случае, если  $P(T_{\hat{\epsilon}\delta} \leq T_{\ddot{a}}) > 0,65$ , это говорит о том, что комплекс работ имеет свободные ресурсы.

В графиках с вероятностными оценками продолжительности работ  $T_{\hat{\epsilon}\delta}$  является математическим ожиданием срока завершения всей разработки, а сам этот срок подчиняется закону нормального распределения.

*Оптимизация сетевого графика методом «время–затраты».* Метод со-

стоит в установлении оптимального соотношения между продолжительностью и стоимостью выполнения комплекса работ и основан на использовании имеющихся для работ каждого вида зависимостей «время–затраты».

Зависимость имеет нелинейный характер (рис. 2.20), причем с сокращением продолжительности работы стоимость ее возрастает за счет снижения эффективности использования ресурсов и труда исполнителей при увеличении их количества на этой работе. Для каждой работы существует свой график «время–затраты» и установлены пределы изменения ее продолжительности:  $t_{\min}$  – практически возможное минимальное время выполнения работы,  $t_{\max}$  – практически допустимое максимальное время выполнения работы, превышение которого снова приводит к возрастанию стоимости работы за счет чрезмерно низкой интенсивности ее выполнения.

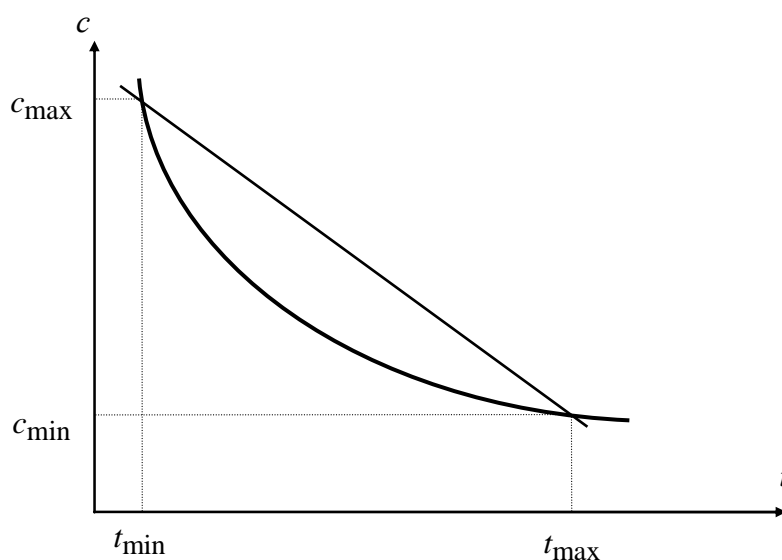


Рис. 2.20. График зависимости стоимости работ от времени

Для упрощения расчетов осуществляется линейная аппроксимация и определяется коэффициент прироста ( $k_{\text{цд}}$ ) стоимости каждой работы, характеризующий величину приращения ее стоимости ( $c_{\max} - c_{\min}$ ) при сокращении времени ее выполнения на единицу:

$$k_{\text{цд}} = \frac{c_{\max} - c_{\min}}{t_{\max} - t_{\min}}.$$

Возможны два варианта оптимизации сетевых графиков методом «время–затраты»:

1. Получение минимальной стоимости КР без увеличения его общей продолжительности. Для этого на графике выделяют работы, имеющие свободные резервы времени, в их пределах увеличивают продолжительности

этих работ, получая при этом уменьшение стоимости их выполнения.

2. Сокращение продолжительности выполнения комплекса работ за счет некоторого увеличения его стоимости. В данном случае за счет некоторого увеличения стоимости работ критического и подкритических путей сокращают время выполнения этих работ, а следовательно, и продолжительность критического пути.

*Оптимизация по численности исполнителей.* При составлении реального плана работ необходимо учитывать число исполнителей в подразделениях, выполняющих работы.

Продолжительность каждой работы указана с учетом числа потребных исполнителей для ее выполнения. Эпюра загрузки исполнителей во времени (временная диаграмма) отражает реальную потребность в исполнителях в каждый конкретный момент времени, и часто возникают ситуации, когда на отдельные моменты времени исполнителей требуется значительно больше, чем располагает подразделение. В таких случаях возникает необходимость перераспределить работы во времени, т. е. сдвинуть начало их выполнения в пределах имеющихся резервов времени, добиваясь чтобы потребное число исполнителей не превышало выделенную численность работников подразделения.

Решение такой задачи осуществляется в несколько этапов:

1. Строится линейный график КР по ранним срокам начала работ. Каждой работе отводится отдельная строка, где откладывается продолжительность работы сплошной линией, а пунктиром отмечают размер ее полного резерва времени.

2. Строится эпюра загрузки исполнителей во времени. Она отражает потребность исполнителей в конкретный момент времени без учета выделенной численности работников подразделения.

На эпюре необходимо отметить интервалы времени, в которые потребность в исполнителях превышает их численность.

3. Строится линейный график КР со сдвигом начала работ в тех интервалах времени, где потребность в ресурсах превышала их численность.

4. Строится эпюра окончательной загрузки исполнителей, демонстрирующая достигнутые результаты.

Добившись желаемых результатов, устанавливают плановые сроки начала  $t_1$  и окончания  $t_2$  у работ.

Рассмотрим процесс оптимизации сетевой модели по численности на примере ранее рассмотренного комплекса работ по промышленному освоению и поставке заказчикам новых приборов. Параметры процесса рассчита-

ны выше.

Примем, что на каждой работе требуется по 5 исполнителей. Подразделение выделило для проведения работ 10 чел. (× ёññ ).

Реально ли за 10 нед. выполнить 9 работ 10-ю исполнителями, если на каждую работу требуется по 5 чел.?

Во многих случаях численность работников, участвующих в разработке, фиксирована и не может превышать списочную численность работников подразделения, но график распределения занятости работников во времени таков, что в отдельные периоды времени требуемая численность превышает списочную. Для устранения этого несоответствия начало и окончание некоторых работ могут сдвигаться в сторону увеличения сроков выполнения так, чтобы получить более равномерную загрузку работников и уложиться в списочную численность подразделения. Такой сдвиг сроков выполнения может оставаться в пределах резервов времени этих работ.

В целях такой оптимизации возможно использование временных диаграмм, выражающих степень занятости персонала в некоторый момент времени.

На рис. 2.21 приведен линейный график комплекса работ, где работы в ранние сроки.

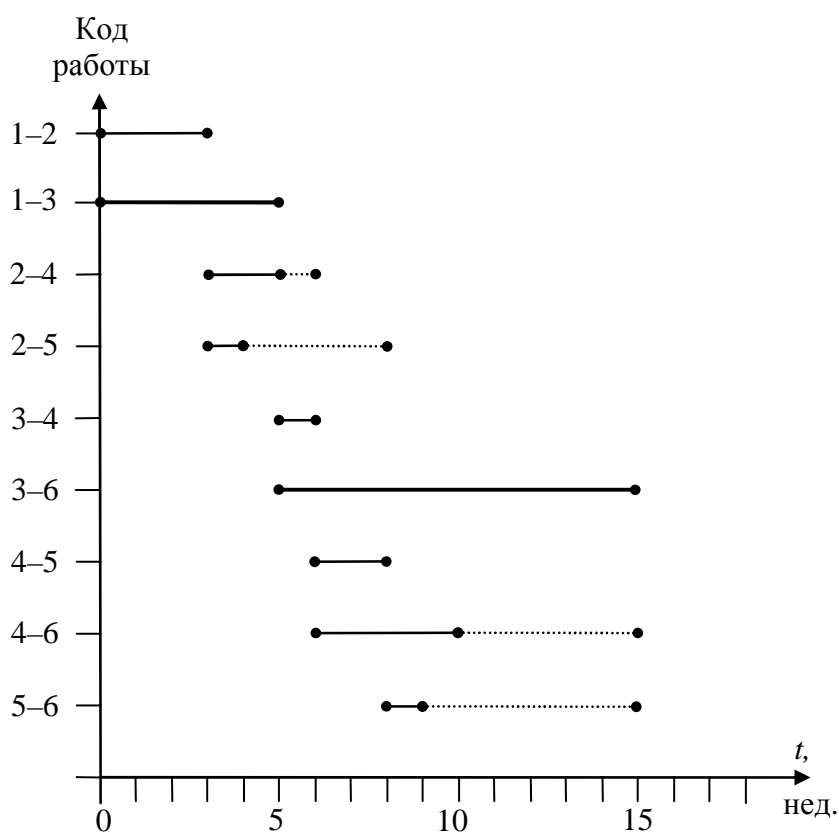


Рис. 2.21. Линейный график комплекса работ

На рис. 2.22 построена эпюра загрузки исполнителей во времени, отра-

жающая план выполнения работ.

На рис. 2.22 видно, в какие моменты времени требуемая численность превышает списочную. С учетом резервов времени можно сдвигать некоторые работы, добиваясь минимизации требуемой численности работников.

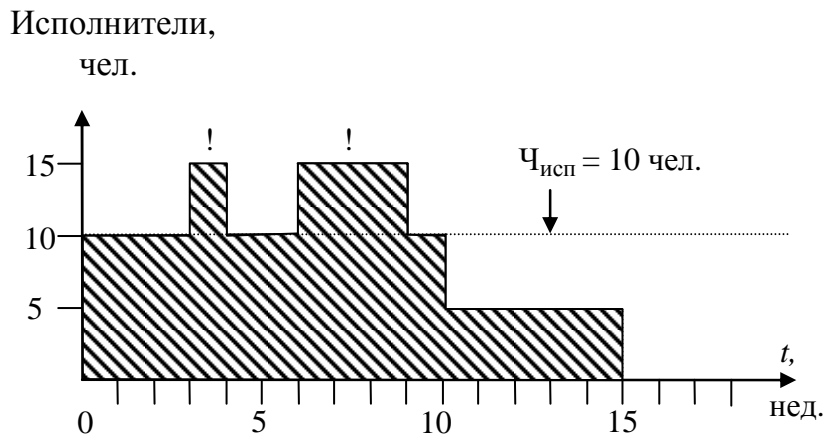


Рис. 2.22. Эпюра загрузки исполнителей до оптимизации

Чтобы ликвидировать завышенную потребность в исполнителях, необходимо сдвинуть некоторые работы в пределах имеющихся у них ресурсов.

Возможны различные варианты сдвига времени начала работ. Один из вариантов представлен на рис. 2.23.



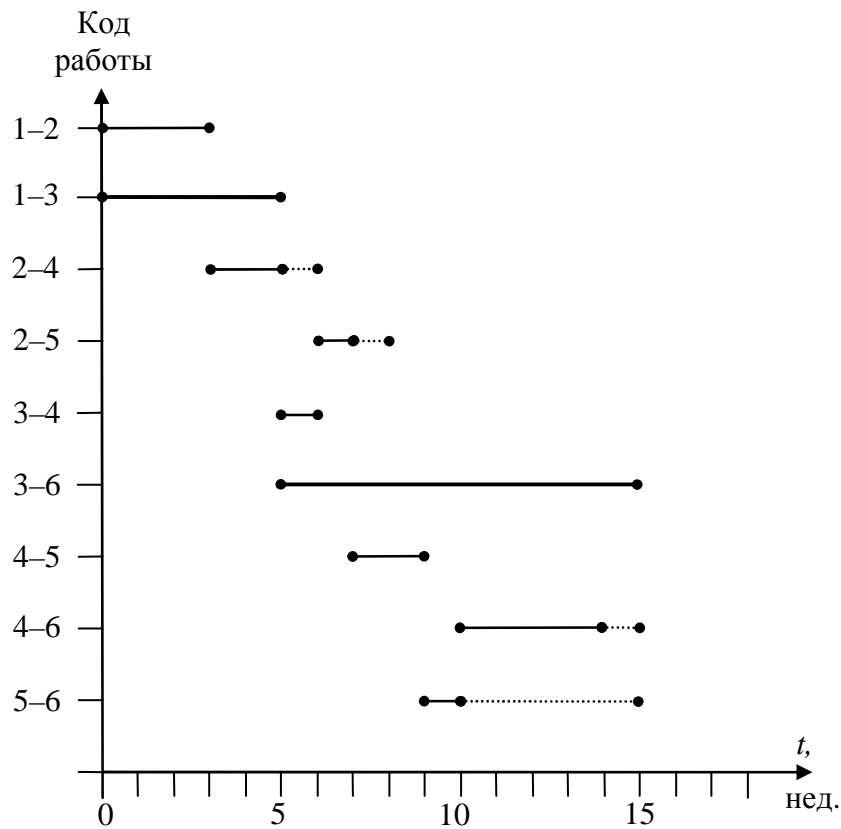


Рис. 2.23. Линейный график комплекса работ после оптимизации

*Вариант 1.* Работа 2–5 начинается с 6 нед. и заканчивается на 7-й нед., работа 4–5 начинается с 7 нед. и заканчивается на 9-й нед., работа 5–6 начинается с 9 нед. и заканчивается на 10-й нед., работа 4–6 начинается с 10 нед. и заканчивается на 14-й нед.

На рис. 2.24 построена эпюра загрузки исполнителей во времени после оптимизации.

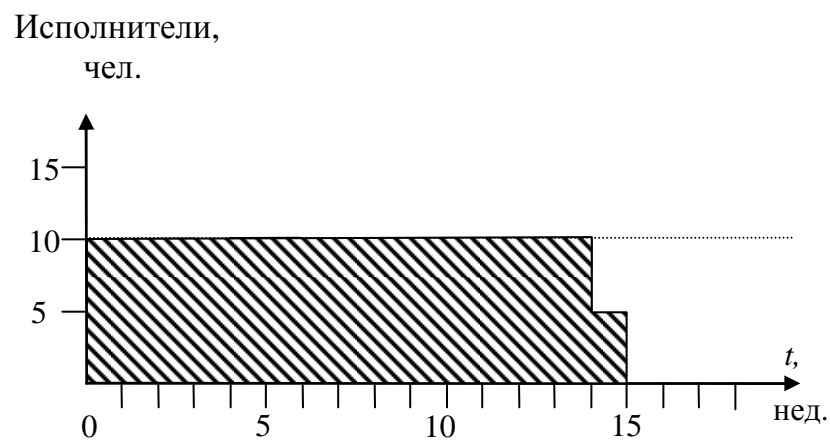


Рис. 2.24. Эпюра загрузки исполнителей после оптимизации

После оптимизации сетевого графика с учетом ограниченности числен-

ности исполнителей определяем плановые сроки начала ( $t_1$ ) и окончания ( $t_2$ ) работ и заносим в табл. 2.17.

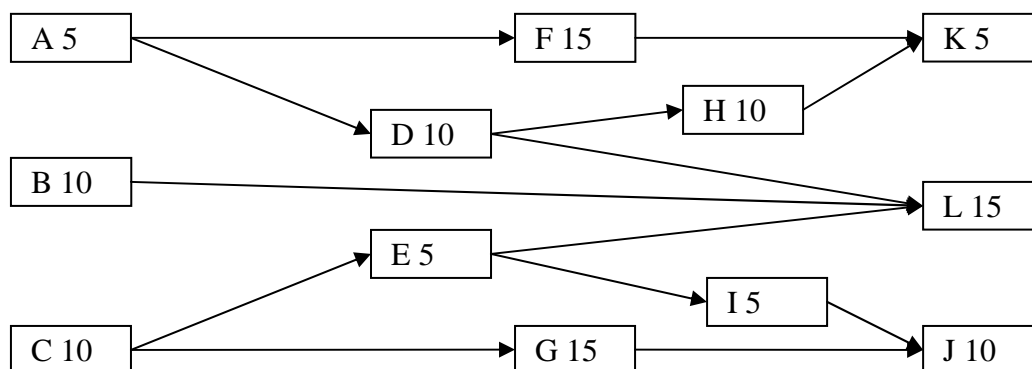
Таблица 2.17

Расчет параметров работ

Код работы	$t_{ij}$ , дд.	$t_1$	$t_2$
1–2	3	0	3
1–3	5	0	5
2–4	2	3	5
2–5	1	6	7
3–4	1	5	6
3–6	10	5	15
4–5	2	7	9
4–6	4	10	14
5–6	1	9	10

### Задание 1

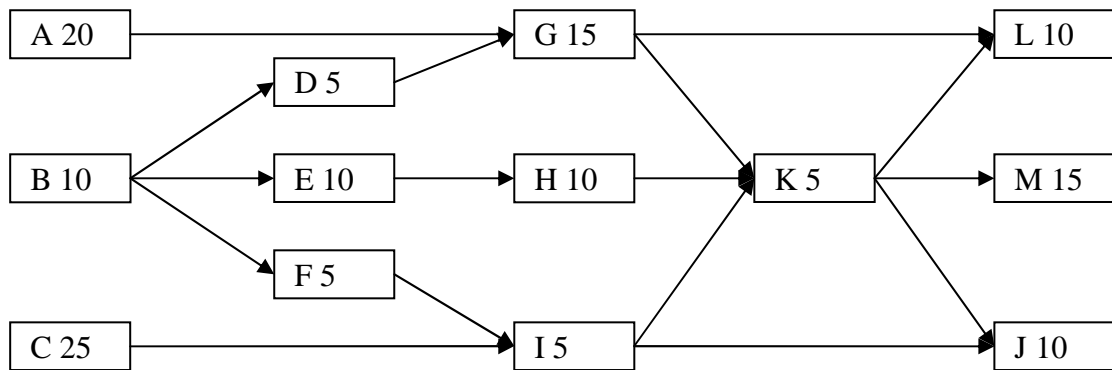
1. Назначение системы СПУ.
2. Области использования системы СПУ.
3. Сетевая модель, ее виды в зависимости от вида оценок продолжительности работ.
4. Для предложенного сетевого графика рассчитать значения параметров работ:



### Задание 2

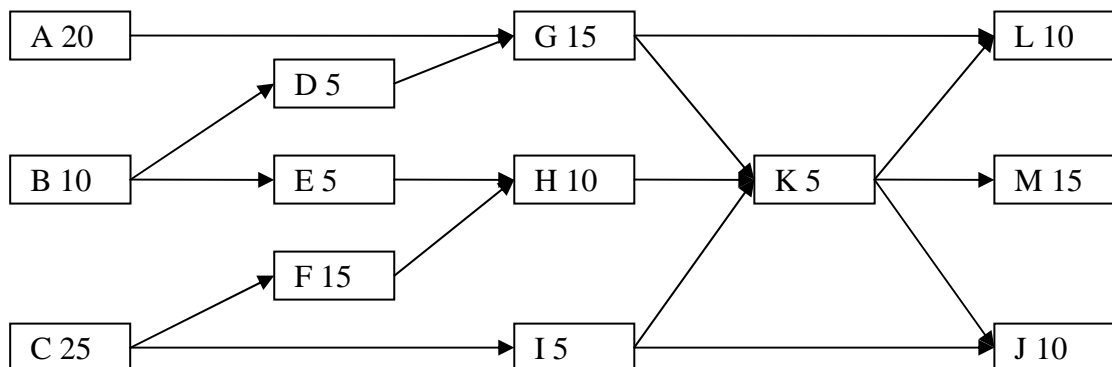
1. За счет каких факторов система СПУ обеспечивает эффективное планирование и управление?
2. Что собою представляют первичные сетевые графики, кто их разрабатывает и где в дальнейшем они используются?
3. Расчет продолжительности работ.
4. Пути сетевой модели и их параметры.

5. Для предложенного сетевого графика рассчитать значения параметров работ:



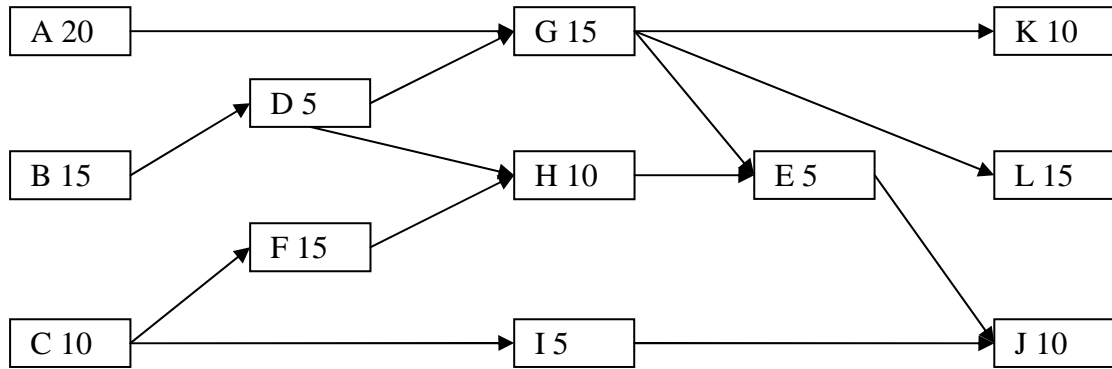
### Задание 3

1. Назначение системы СПУ
2. Что представляет собою сетевая модель, ее виды в зависимости от обязательности выполнения работ в комплексе?
3. Пути сетевой модели, их параметры и значения критического пути при выполнении анализа состояния КР.
4. Для предложенного сетевого графика рассчитать значения параметров работ:



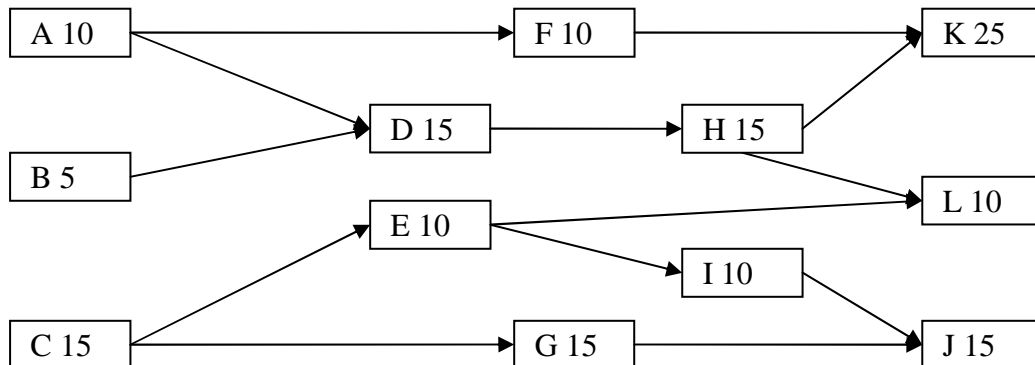
### Задание 4

1. Почему системы СПУ являются прогрессивными относительно других систем планирования и управления КР?
2. Параметры работ сетевой модели, их сущность и расчет.
3. Какие графы используются для описания сетевых моделей?
4. Для предложенного сетевого графика рассчитать значения параметров работ:



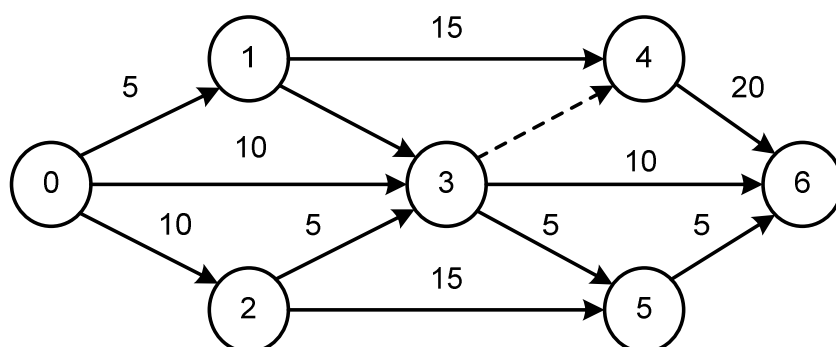
### Задание 5

1. Области использования систем СПУ.
2. Анализ и оптимизация сетевой модели с вероятностными оценками продолжительности работ по времени выполнения КР.
3. С учетом каких факторов устанавливаются плановые сроки выполнения работ?
4. Для предложенного сетевого графика рассчитать значения параметров работ:



### Задание 6

1. Назначение системы СПУ.
2. Области использования системы СПУ.
3. Сетевая модель, ее виды в зависимости от вида оценок продолжительности работ.
4. Как и за счет чего осуществляется оптимизация сетевой модели по стоимости при необходимости минимизации стоимости КР без увеличения продолжительности его выполнения?
5. Для предложенного сетевого графика рассчитать значения параметров событий и работ:



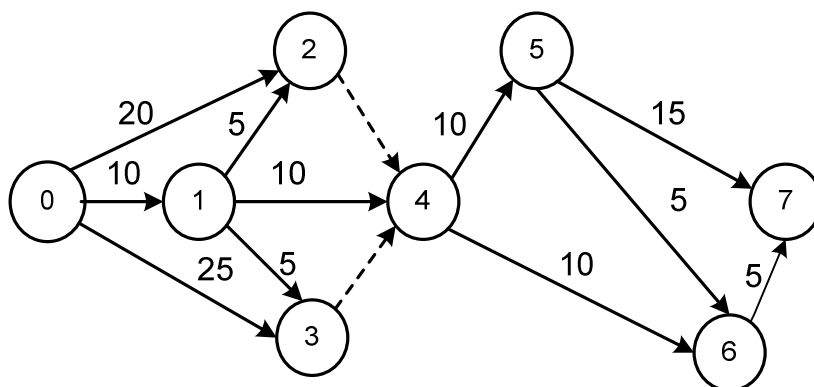
Продолжительность работ задана в неделях.

Оптимизировать сетевую модель с учетом ограниченной численности исполнителей, выделенных для выполнения КР, установить плановые сроки начала и окончания работ и выявить величину оставшихся резервов времени на работах.

При выполнении КР на каждой работе используется по 5 человек. Общее число исполнителей, выделенных для выполнения КР – 15 человек.

### Задание 7

1. За счет каких факторов система СПУ обеспечивает эффективное планирование и управление?
2. Что собою представляют первичные сетевые графики, кто их разрабатывает и где в дальнейшем они используются?
3. Расчет продолжительности работ.
4. Пути сетевой модели и их параметры.
5. Для предложенного сетевого графика рассчитать значения параметров событий и работ:



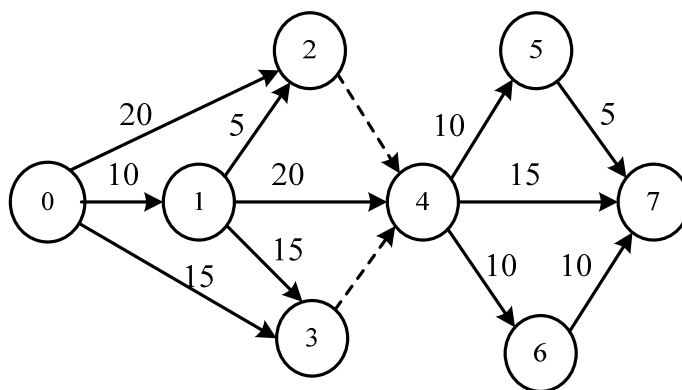
Продолжительность работ задана в неделях.

Оптимизировать сетевую модель с учетом ограниченной численности исполнителей, выделенных для выполнения КР, установить плановые сроки начала и окончания работ и выявить величину оставшихся резервов времени на работах.

При выполнении КР на каждой работе используется по 5 человек. Общее число исполнителей, выделенных для выполнения КР – 15 человек.

### Задание 8

1. Назначение системы СПУ.
2. Что представляет собою сетевая модель, ее виды в зависимости от обязательности выполнения работ в комплексе?
3. Какие цели преследует оптимизация сетевой модели методом «время–затраты» и как она осуществляется?
4. Пути сетевой модели, их параметры и значения критического пути при выполнении анализа состояния КР.
5. Для предложенного сетевого графика рассчитать значения параметров событий и работ:



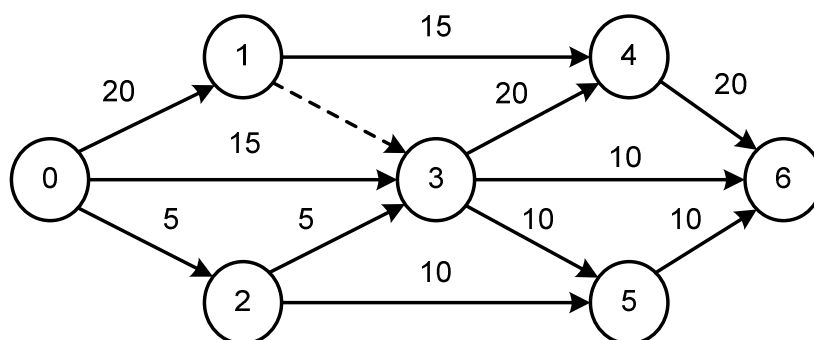
Продолжительность работ задана в неделях.

Оптимизировать сетевую модель с учетом ограниченной численности исполнителей, выделенных для выполнения КР, установить плановые сроки начала и окончания работ и выявить величину оставшихся резервов времени на работах.

При выполнении КР на каждой работе используется по 5 человек. Общее число исполнителей, выделенных для выполнения КР – 15 человек.

### Задание 9

1. Почему системы СПУ являются прогрессивными относительно других систем планирования и управления КР?
2. Параметры работ сетевой модели, их сущность и расчет.
3. В чем заключаются анализ и оптимизация сетевых моделей при ограниченности трудовых ресурсов?
4. Каким образом можно сократить стоимость выполнения КР, не нарушая конечных сроков разработки?
5. Для предложенного сетевого графика рассчитать значения параметров событий и работ:



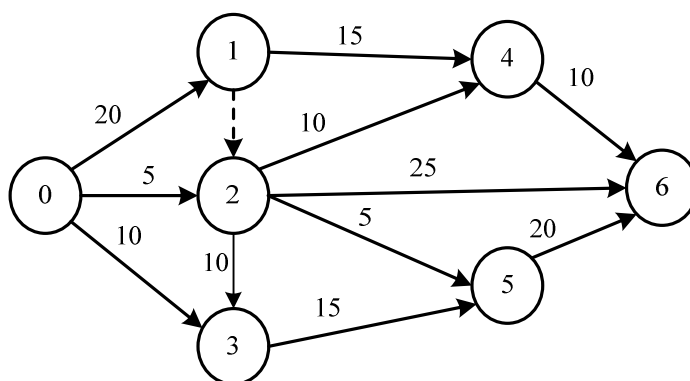
Продолжительность работ задана в неделях.

Оптимизировать сетевую модель с учетом ограниченной численности исполнителей, выделенных для выполнения КР, установить плановые сроки начала и окончания работ и выявить величину оставшихся резервов времени на работах.

При выполнении КР на каждой работе используется по 5 человек. Общее число исполнителей, выделенных для выполнения КР – 15 человек.

### Задание 10

1. Области использования систем СПУ.
2. Что такое событие и какой параметр работы совпадает с ранним сроком наступления события?
3. Анализ и оптимизация сетевой модели с вероятностными оценками продолжительности работ по времени выполнения КР.
4. С учетом каких факторов устанавливаются плановые сроки выполнения работ?
5. Для предложенного сетевого графика рассчитать значения параметров событий и работ:



Продолжительность работ задана в неделях.

Оптимизировать сетевую модель с учетом ограниченной численности исполнителей, выделенных для выполнения КР, установить плановые сроки начала и окончания работ и выявить величину оставшихся резервов времени на работах.

При выполнении КР на каждой работе используется по 5 человек. Общее число исполнителей, выделенных для выполнения КР – 15 человек.



## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Васильев А. В., Яковлев В. Б. Организация и планирование производства. Организация и структура фирмы: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2006.

Лабораторный практикум по курсу «Организация, планирование и управление предприятием» / Л. А. Астреина, А. В. Васильев, Л. А. Зайченко и др.; под ред. В. К. Беклешова, А. И. Кноля. Л.: ЛЭТИ, 1985.

Мардас А. Н., Кадиев И. Г. Инновационный менеджмент: учеб. пособие. СПб.: ГИОРД, 2007.

Мардас А. Н., Кадиев И. Г. Практикум по основам инновационного менеджмента: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011.

Туровец О. Г., Родионов В. Б., Бухалков М. И.. Организация производства и управление предприятием: учебник. 3-е изд. М.: ИНФРА-М, 2013.

Фатхутдинов Р. А. Производственный менеджмент: учебник. 6-е изд. СПб.: Питер, 2008.

Фатхутдинов Р. А. Организация производства: учебник. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2007.

## Содержание

1. Требования программы дисциплины .....	3
1.1. Содержание тем.....	3
1.2. Открытые вопросы для подготовки к тестированию по лекционному материалу .....	5
2. Материалы практических занятий.....	15
2.1. Способы организации производственного процесса во времени, их характеристики и условия применения.....	15
2.2. Организация поточного производства .....	22
2.3. Методы сетевого планирования и управления .....	57
Список рекомендуемой литературы.....	89

Кадиев Исмаил Гаджиевич,  
Заозерская Наталья Ивановна,  
Яковлев Владимир Борисович

**Практикум по организации производства  
и управлению предприятием**  
Учебное пособие

Редактор О. Р. Крумина

---

Подписано в печать 17.04.15. Формат 60×84 1/16.  
Бумага офсетная. Печать цифровая. Печ. л. 5,75.  
Гарнитура «Times New Roman». Тираж 313 экз. Заказ 32.

---

Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»  
197376, С.-Петербург, ул. Проф. Попова, 5