

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Логистика и организация производства»

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности
1-27 01 01 «Экономика и организация производства
(по направлениям)»
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2021

УДК 331.91
ББК 65.24
О64

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Логистика и организация производства»
«5» января 2021 г., протокол № 10

Составитель канд. техн. наук, доц. Т. В. Пузанова

Рецензент канд. физ.-мат. наук, доц. В. А. Ливинская

Содержат задания и методические рекомендации по выполнению заданий к лабораторным работам в соответствии с темами, предусмотренными учебной программой по дисциплине «Организация производства». Предназначены для студентов специальности 1-27 01 01 «Экономика и организация производства (по направлениям)» очной и заочной форм обучения.

Учебно-методическое издание

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Ответственный за выпуск	М. Н. Гриневич
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2021

Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа № 1. Разработка математической модели производственного процесса в подразделении для различных видов движения предметов труда по операциям	5
2 Лабораторная работа № 2. Одновариантный анализ производственного процесса для различных видов движения предметов труда по операциям	7
3 Лабораторная работа № 3. Многовариантный анализ влияния изменения объемов производства и размера транспортной партии на длительность производственного процесса	8
4 Лабораторная работа № 4. Многовариантный анализ влияния длительности операционных циклов и последовательности операций на длительность производственного процесса.....	8
5 Лабораторная работа № 5. Оптимизация построения простых процессов по затратам различных ресурсов	9
6 Лабораторная работа № 6. Оптимизация построения простых процессов по эффективности использования материальных ресурсов	10
7 Лабораторная работа № 7. Разработка сетевого графика и расчет временных параметров.....	11
8 Лабораторная работа № 8. Оптимизация сетевых графиков по критериям времени и стоимости	18
Список литературы.....	20
Приложение А. Вопросы для защиты лабораторных работ.....	21

Введение

Целью преподавания дисциплины «Организация производства» является обучение студентов принципам организации и проектирования производственных процессов, методикам расчета основных параметров различных типов производств, подходам к организации технического обслуживания производства.

Задачами дисциплины являются получение знаний по теоретическим основам и закономерностям организации производства на предприятиях, принципам, формам и методам рациональной организации производственных процессов; умение осуществлять проектирование и организовывать производственные процессы на предприятиях, осуществлять выбор и обоснование принципов, форм и методов организации производства, выполнять расчеты при разработке проектов организации производственных процессов; овладение методами проектирования и моделирования основных, вспомогательных и обслуживающих производственных процессов на предприятии, методикой анализа, оценки и выявления путей совершенствования и повышения эффективности организации производственных процессов.

Выполнение лабораторных работ позволит обеспечить решение этих задач, а также освоить методику оперативно-производственного планирования для выполнения курсового проекта по дисциплине «Организация производства».

Отчетом лабораторных работ является лист Microsoft Excel, содержащий математическую модель экономического объекта и результаты решения задач анализа и синтеза проектных решений.

1 Лабораторная работа № 1. Разработка математической модели производственного процесса для различных видов движения предметов труда по операциям

Цель работы: разработать математические модели производственного процесса при различных вариантах организации движения предметов труда по операциям и провести их тестирование.

Методические указания

Процесс изготовления отдельной детали и отдельный сборочный процесс, состоящий из ряда последовательных операций, являются простыми производственными процессами. Производственный процесс может быть *однооперационным* или *многооперационным*.

Длительность производственного процесса, измеряемого календарным периодом времени между началом и окончанием процесса изготовления детали или всего изделия, называют производственным циклом.

Длительность технологического однооперационного процесса T_{on} изготовления партии деталей рассчитывается по формуле

$$T_{on} = n \cdot \frac{t}{w}, \quad (1)$$

где n – размер партии изготавливаемых деталей, шт.;

t – норма штучного времени на операцию, мин;

w – число рабочих мест на операции.

Длительность технологического цикла многооперационного процесса изготовления партии деталей зависит от многих факторов, в том числе и от способа передачи их с одной операции на другую.

Существуют три способа передачи партий деталей с операции на операцию: последовательный, параллельный, последовательно-параллельный. Длительность технологического цикла изготовления партии деталей определяется по следующим формулам:

– при последовательном способе

$$T_{T.посл} = n \sum_{i=1}^u \frac{t_i}{w_i}; \quad (2)$$

– при параллельном способе

$$T_{T.пар} = n_m \sum_{i=1}^u \frac{t_i}{w_i} + (n - n_m) \left\{ \frac{t_i}{w_i} \right\}_{\max}; \quad (3)$$

– при параллельно-последовательном способе

$$T_{T.n-n} = n \sum_{i=1}^u \frac{t_i}{w_i} - (n - n_m) \sum_{i=1}^{u-1} \left\{ \frac{t_i}{w_i}; \frac{t_{i+1}}{w_{i+1}} \right\}_{\min}, \quad (4)$$

где n_m – размер транспортной (передаточной) партии, шт.;

u – число операций технологического процесса;

t_i – норма штучного времени на i -й операции, мин;

w_i – число рабочих мест на i -й операции.

Длительность производственного цикла превышает длительность технологического цикла на величину непрекрываемых межоперационных перерывов, длительности естественных процессов и перерывов, связанных с режимом работы производственного подразделения. Для построения календарных планов длительность цикла необходимо определять в календарных днях. Для этого следует ввести в формулу коэффициент перевода рабочего времени в календарные дни.

$$T_{\text{ц}} = (T_T + T_{\text{нмо}}) \cdot k_{\text{пер}} + T_{\text{ест}}, \quad (5)$$

где T_T – может быть $T_{T.\text{нос}}$, $T_{T.\text{пар}}$, $T_{T.n-n}$, мин;

$T_{\text{нмо}}$ – длительность непрекрываемых межоперационных перерывов, мин;

$T_{\text{ест}}$ – длительность естественных процессов, дн.;

$k_{\text{пер}}$ – коэффициент перевода рабочего времени в календарное.

Длительность межоперационного времени может быть определена по экспоненциальной зависимости:

– для последовательного способа передачи деталей с операции на операцию

$$T'_{\text{мо}} = \sum_{i=2}^u \frac{nk_{zi}t_i}{2(1 - k_{zi})w_i}; \quad (6)$$

– для параллельного и последовательно-параллельного способов

$$T''_{\text{мо}} = \sum_{i=2}^u \frac{\frac{n_m^2 k_{zi} t_i}{n}}{2(1 - \frac{k_{zi} n_m}{n})w_i} + \sum_{\gamma=1}^{\frac{n}{n_m} - 1} \sum_{i=2}^u n_m \gamma (t_{i-1} - t_i), \quad (7)$$

где k_{zi} – средний коэффициент загрузки оборудования на i -й операции;

γ – количество пролеживаемых передаточных партий между $(i - 1)$ -й и i -й операциями.

Коэффициент перевода рабочего времени в календарное определяет-

ся по формуле

$$k_{пер} = \frac{D_{кал}}{D_{раб} \cdot K_{см} \cdot T_{см}}, \quad (8)$$

где $K_{см}$ – число смен работы;

$T_{см}$ – длительность рабочей смены, мин;

$D_{кал}$ – количество календарных дней в году;

$D_{раб}$ – количество рабочих дней в году (260 – для прерывного производства в среднем).

Порядок выполнения работы

Разработать в Microsoft Excel математическую модель организации производственного процесса обработки предметов труда по заданному технологическому процессу при различных видах движения предметов труда по операциям.

Отчетом является лист Microsoft Excel, содержащий математическую модель и результаты ее тестирования.

2 Лабораторная работа № 2. Одновариантный анализ производственного процесса для различных видов движения предметов труда по операциям

Цель работы: на основе разработанных математических моделей вариантов организации производственного процесса в лабораторной работе № 1 провести для них одновариантный анализ.

Порядок выполнения работы

1 Решить задачу одновариантного анализа производственного процесса обработки предметов труда по заданному технологическому процессу при различных видах движения предметов труда по операциям на основе созданной в лабораторной работе № 1 математической модели.

2 Провести тестирование адекватности модели путем изменения внутреннего параметра объекта (например, норма времени на операцию, размер транспортной партии, количество рабочих смен и др.) и оценки правильности изменения выходных параметров (длительностей технологического цикла, межоперационных перерывов, производственного цикла).

3 Осуществить сравнительный анализ полученных результатов по различным вариантам организации и сделать выводы.

Отчетом является лист Microsoft Excel, содержащий математическую модель и результаты решения задачи анализа.

3 Лабораторная работа № 3. Многовариантный анализ влияния изменения объемов производства и размера транспортной партии на длительность производственного процесса

Цель работы: на основе разработанных математических моделей вариантов организации производственного процесса в лабораторной работе № 1 решить задачу многовариантного анализа влияния изменения объемов производства и размера транспортной партии на длительность производственного процесса производства.

Порядок выполнения работы

1 На основе созданной в лабораторной работе № 1 математической модели провести многовариантный анализ влияния изменения величины объема производства на длительности технологического и производственного циклов и межоперационных перерывов при различных вариантах движения предметов труда по операциям.

2 На основе разработанной модели провести многовариантный анализ влияния изменения величин объема транспортной партии на длительности технологического и производственного циклов и межоперационных перерывов при различных вариантах движения предметов труда по операциям.

3 С использованием встроенных средств в Microsoft Excel (Мастер диаграмм) построить графики зависимости указанных выходных параметров от заданных внутренних параметров.

4 Провести сравнительный анализ полученных результатов по различным вариантам организации и сделать выводы.

Отчетом является лист Microsoft Excel, содержащий математическую модель и результаты решения задачи.

4 Лабораторная работа № 4. Многовариантный анализ влияния изменения длительностей операционных циклов и их последовательности на длительность производственного процесса

Цель работы: на основе разработанных математических моделей вариантов организации производственного процесса в лабораторной работе № 1 провести многовариантный анализ влияния изменения длительности операционных циклов и последовательности операций на длительность производственного процесса.

Порядок выполнения работы

1 На основе созданной в лабораторной работе № 1 математической модели провести многовариантный анализ влияния изменения длительности операционных циклов всех технологических операций на длительность технологического цикла при различных вариантах движения предметов труда по операциям.

2 На основе разработанной модели провести многовариантный анализ влияния изменения последовательности операций в технологическом процессе (при расположении их в порядке монотонного убывания, монотонного возрастания и комбинации указанных вариантов) на длительность технологического цикла при различных вариантах движения предметов труда по операциям.

3 С использованием встроенных средств в Microsoft Excel (Мастер диаграмм) построить графики выявленного влияния заданных внутренних параметров на указанный выходной параметр и провести анализ полученных результатов.

4 Провести сравнительный анализ полученных результатов по различным вариантам организации и сделать выводы.

Отчетом является лист Microsoft Excel, содержащий математическую модель и результаты решения задачи.

5 Лабораторная работа № 5. Оптимизация построения простых процессов по затратам различных ресурсов

Цель работы: на основе разработанных математических моделей вариантов организации производственного процесса провести оптимизацию параметров по критериям равномерной загрузки оборудования и потребности в оборудовании и трудовых ресурсах.

Порядок выполнения работы

1 На основе разработанной модели организации производственного процесса обработки предметов труда по заданному технологическому процессу при различных видах движения предметов труда по операциям осуществить математическую постановку оптимизационной задачи и определить минимально необходимое количество рабочих мест для выполнения производственной программы в заданный срок с учетом производственных возможностей. Решить задачу, моделируя применение имеющегося в подразделении оборудования для трех случаев: только специального оборудования; только универсального оборудования; специального оборудования и универсального оборудования.

2 На основе разработанной модели организации производственного

процесса обработки предметов труда по заданному технологическому процессу осуществить математическую постановку оптимизационной задачи и определить необходимое количество рабочих мест для выполнения производственной программы в минимально возможный срок с учетом производственных возможностей. Решить задачу, моделируя применение имеющегося в подразделении оборудования для трех случаев: только специального оборудования; только универсального оборудования; специального и универсального оборудования.

3 Провести сравнительный анализ полученных результатов по различным вариантам организации и сделать выводы.

Отчетом является лист Microsoft Excel, содержащий математическую постановку оптимизационной задачи и результаты ее решения.

6 Лабораторная работа № 6. Оптимизация построения простых процессов по эффективности использования материальных ресурсов

Цель работы: на основе разработанных математических моделей вариантов организации производственного процесса провести оптимизацию параметров по критериям длительности производственного цикла и эффективности использования оборудования.

Порядок выполнения работы

1 На основе разработанной модели организации производственного процесса осуществить математическую постановку оптимизационной задачи и определить необходимое количество рабочих мест для обеспечения максимальной их загрузки при условии выполнения производственной программы в заданный срок.

2 На основе разработанной модели организации производственного процесса осуществить математическую постановку многокритериальной оптимизационной задачи и решить задачу на основе критериев потребности в оборудовании, его загрузки и длительности производственного цикла. Решить многокритериальные задачи, используя мультипликативную и аддитивную свертки критериев при формировании целевых функций.

3 Провести сравнительный анализ полученных результатов по различным вариантам организации и сделать выводы.

Отчетом является лист Microsoft Excel, содержащий математическую постановку оптимизационной задачи и результаты ее решения.

7 Лабораторная работа № 7. Разработка сетевого графика и расчет временных параметров

Цель работы: изучить основные понятия метода сетевого планирования и управления, методику построения сетевого графика комплекса работ и расчета временных параметров.

Методические указания

Сетевая модель представляет план выполнения некоторого комплекса взаимосвязанных работ (операций), заданный в специфической форме сети, графическое изображение которой называется *сетевым графиком*. Главными элементами сетевой модели являются *события и работы*.

В СПУ под работой понимается:

- 1) действительная работа – протяженный во времени процесс, требующий затрат ресурсов;
- 2) ожидание – протяженный во времени процесс, не требующий затрат труда;
- 3) зависимость или фиктивная работа – логическая связь между двумя или несколькими работами (событиями), не требующими затрат труда, материальных ресурсов или времени. Она указывает, что возможность одной работы непосредственно зависит от результатов другой; продолжительность фиктивной работы принимается равной нулю.

Событие – это момент завершения какого-либо процесса, отражающий отдельный этап выполнения комплекса взаимосвязанных работ (проекта). Исходное событие не имеет предшествующих работ и событий, относящихся к представленному в модели комплексу работ. Завершающее событие не имеет последующих работ и событий. События на сетевом графике изображаются в виде вершин графа, а работы – ребрами, показывающими связь между событиями.

Порядок построения сетевых графиков следующий.

Вначале планируемый процесс разбивается на отдельные работы, составляется перечень работ и событий, продумываются их логические связи и последовательность выполнения, работы закрепляются за исполнителями. С их помощью оценивается длительность каждой работы. Затем составляется сетевой график. После упорядочивания сетевого графика рассчитываются параметры событий и работ, определяются резервы времени и критический путь. Наконец, проводится анализ и оптимизация сетевого графика.

При построении сетевого графика необходимо соблюдать следующие правила.

1 В сетевой модели не должно быть событий, из которых не выходит ни одна работа, за исключением завершающего события.

2 В сетевом графике не должно быть событий (кроме исходного), которым не предшествует хотя бы одна работа.

3 В сети не должно быть замкнутых контуров и петель, т. е. путей, соединяющих некоторые события с ними же самими.

4 Любые два события должны быть непосредственно связаны не более чем одной работой.

На рисунке 1 приведен пример упорядоченного сетевого графа.

Определим понятие пути как любой последовательности работ, в которой конечное событие каждой работы совпадает с начальным событием следующей за ней работы. *Полный путь* – это любой путь, начало которого совпадает с исходным событием сети, а конец с завершающим.

Наиболее продолжительный путь в сетевом графике называется *критическим*. Критическими называются также работа и события, расположенные на этом пути. Продолжительность пути определяется суммой продолжительностей составляющих его работ. Для рассматриваемого сетевого графика (см. рисунок 1) полными путями будут:

- путь 1-2-4-8-10 продолжительностью $5 + 9 + 7 + 11 = 32$ сут;
- путь 1-3-5-6-8-10 продолжительностью $8 + 4 + 6 + 5 + 11 = 34$ сут;
- путь 1-5-6-7-9-10 продолжительностью $8 + 6 + 3 + 4 + 7 = 28$ сут;
- путь 1-3-5-9-10 продолжительностью $8 + 4 + 10 + 7 = 29$ сут и т.д.

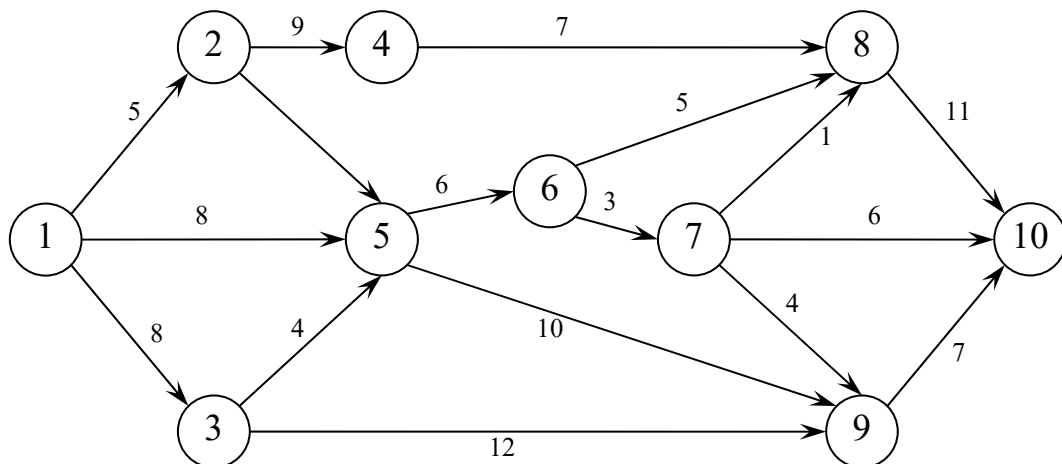


Рисунок 1 – Упорядоченный сетевой график

Продолжительность критического пути 1–3–5–6–8–10 составляет 34 сут. Определив критический путь, тем самым можно установить критические события сети и критические работы. Критический путь имеет особое значение в системе СПУ, т. к. работы этого пути определяют общий цикл завершения всего комплекса работ, планируемых при помощи сетевого графика. Для сокращения продолжительности проекта необходимо в первую очередь сокращать продолжительности работ, лежащих на критическом пути.

В таблице 1 приведены основные временные параметры сетевых графиков.

Таблица 1 – Основные временные параметры сетевых графиков

Элемент сети, характеризующий параметром	Наименование параметра	Условное обозначение параметра
Событие i	Ранний срок свершения события Поздний срок свершения события Резерв времени события	$t_p(i)$ $t_n(i)$ $R(i)$
Работа (i,j)	Продолжительность работы Ранний срок начала работы Ранний срок окончания работы Поздний срок начала работы Поздний срок окончания работы Полный резерв времени работы Частный резерв времени работы первого вида Частный резерв времени работы второго вида или свободный резерв времени работы Независимый резерв времени работы	$t(i,j)$ $t_{pn}(i,j)$ $t_{po}(i,j)$ $t_{nn}(i,j)$ $t_{no}(i,j)$ $R_n(i)$ $R_l(i,j)$ $R_c(i,j)$ $R_n(i,j)$
Путь	Продолжительность пути Продолжительность критического пути Резерв времени пути	$t(L)$ t_{kp} $R(L)$

Рассмотрим содержание и расчет указанных параметров. Начнем с параметров событий. Ранний (ожидаемый) срок $t_p(i)$ свершения i -го события определяется продолжительностью максимального пути, предшествующего этому событию:

$$t_p(i) = \max(t(L_{ni})), \quad (9)$$

где L_{ni} – любой путь, предшествующий i -му событию, т. е. путь от исходного до i -го события сети.

Если событие j имеет несколько предшествующих путей, а следовательно, несколько предшествующих событий i , то ранний срок свершения события j удобно находить по формуле

$$t_p(j) = \max[t_p(i) + t(i,j)]. \quad (10)$$

Поздний (или предельный) срок $t_n(i)$ свершения i -го события

$$t_n(i) = t_{kp} - \max(t(L_{ci})), \quad (11)$$

где L_{ci} – любой путь, следующий за i -м событием, т. е. путь от i -го до завершающего события сети.

Если событие i имеет несколько последующих путей, а следовательно, несколько последующих событий j , то поздний срок свершения события i удобно находить по формуле

$$t_n(i) = \min[t_n(j) - t(i,j)]. \quad (12)$$

Резерв времени $R(i)$ i -го события определяется как разность между поздними и ранними сроками его свершения:

$$R(i) = t_n(i) - t_p(i). \quad (13)$$

Резерв времени события показывает, на какой допустимый период времени можно задержать наступление этого события, не вызывая при этом увеличения срока выполнения комплекса работ.

Критические события не имеют резервов времени, т. к. любая задержка свершения события, лежащего на критическом пути, вызовет такую же задержку в свершении завершающего события.

Определив ранний срок наступления завершающего события сети, тем самым определяем длину критического пути, а выявив событие с нулевыми резервами времени, определяем его топологию.

При разработке математической модели параметры событий записываются в соответствующих вершинах графа путем деления соответствующей геометрической фигуры на четыре части, а параметры работ – над соответствующими ребрами (рисунок 2). В этом случае отпадает необходимость составления таблиц.

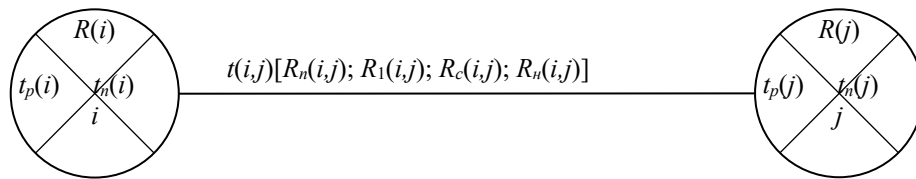


Рисунок 2 – Расположение временных параметров непосредственно на сетевом графике

На основе параметров событий определяются параметры *работ*. Отдельная работа может начаться (и оканчиваться) в ранние, поздние или другие промежуточные сроки. При оптимизации графика возможно любое размещение работы в заданном интервале.

Очевидно, что ранний срок $t_{pn}(i,j)$ начала работы (i,j) совпадает с ранним сроком наступления начального (предшествующего) события i , т. е.

$$t_{pn}(i,j) = t_p(i). \quad (14)$$

Тогда ранний срок $t_{po}(i,j)$ окончания работы (i,j) определяется по формуле

$$t_{po}(i,j) = t_p(i) + t(i,j). \quad (15)$$

Ни одна работа не может окончиться позже допустимого позднего срока своего конечного события j . Поэтому поздний срок $t_p(i,j)$ окончания работы (i,j) определяется соотношением

$$t_{no}(i,j) = t_n(j), \quad (16)$$

а поздний срок $t_{nn}(i,j)$ начала этой работы – соотношением

$$t_{nn}(i,j) = t_n(j) - t(i,j). \quad (17)$$

Среди резервов времени работ выделяют четыре их разновидности.

Полный резерв времени $R_n(i,j)$ работы (i,j) показывает, насколько можно увеличить время выполнения данной работы при условии, что срок выполнения комплекса работ не изменится. Полный резерв $R_n(i,j)$ определяется по формуле

$$R_n(i,j) = t_n(j) - t_p(i) - t(i,j). \quad (18)$$

Этим резервом можно располагать при выполнении данной работы, если ее начальное событие свершится в самый ранний срок, и можно допустить свершение ее конечного события в самый поздний срок (рисунок 3, а).

Остальные резервы времени работы являются частями полного ее резерва. Частный резерв времени первого вида $R_1(i,j)$ работы (i,j) есть часть полного резерва времени, на которую можно увеличить продолжительность работы, не изменив при этом позднего срока ее начального события. Этим резервом можно располагать при выполнении данной работы в предположении, что ее начальное и конечное события свершаются в свои самые поздние сроки (рисунок 3, б). $R_1(i,j)$ находится по формуле

$$R_1(i,j) = t_n(j) - t_n(i) - t(i,j) \quad (19)$$

или

$$R_1(i,j) = R_n(i,j) - R(i). \quad (20)$$

Частный резерв времени второго вида или свободный резерв времени $R_c(i,j)$ работы (i,j) представляет часть полного резерва времени, на которую можно увеличить продолжительность работы, не изменяя при этом раннего срока ее конечного события.

Этим резервом можно располагать при выполнении данной работы в предположении, что ее начальное и конечное события свершаются в свои самые ранние сроки (рисунок 3, в).

$$R_c(i,j) = t_p(j) - t_p(i) - t(i,j) \quad (21)$$

или

$$R_c(i,j) = R_n(i,j) - R(j). \quad (22)$$

Независимый резерв времени работы $R_n(i,j)$ есть часть полного резерва времени, получаемая для случая, когда все предшествующие работы заканчиваются в поздние сроки, а все последующие работы начинаются в ранние сроки (рисунок 3, г):

$$R_n(i,j) = t_p(j) - t_n(i) - t(i,j) \quad (23)$$

ИЛИ

$$R_n(i,j) = R_n(i,j) - R(i) - R(j). \quad (24)$$

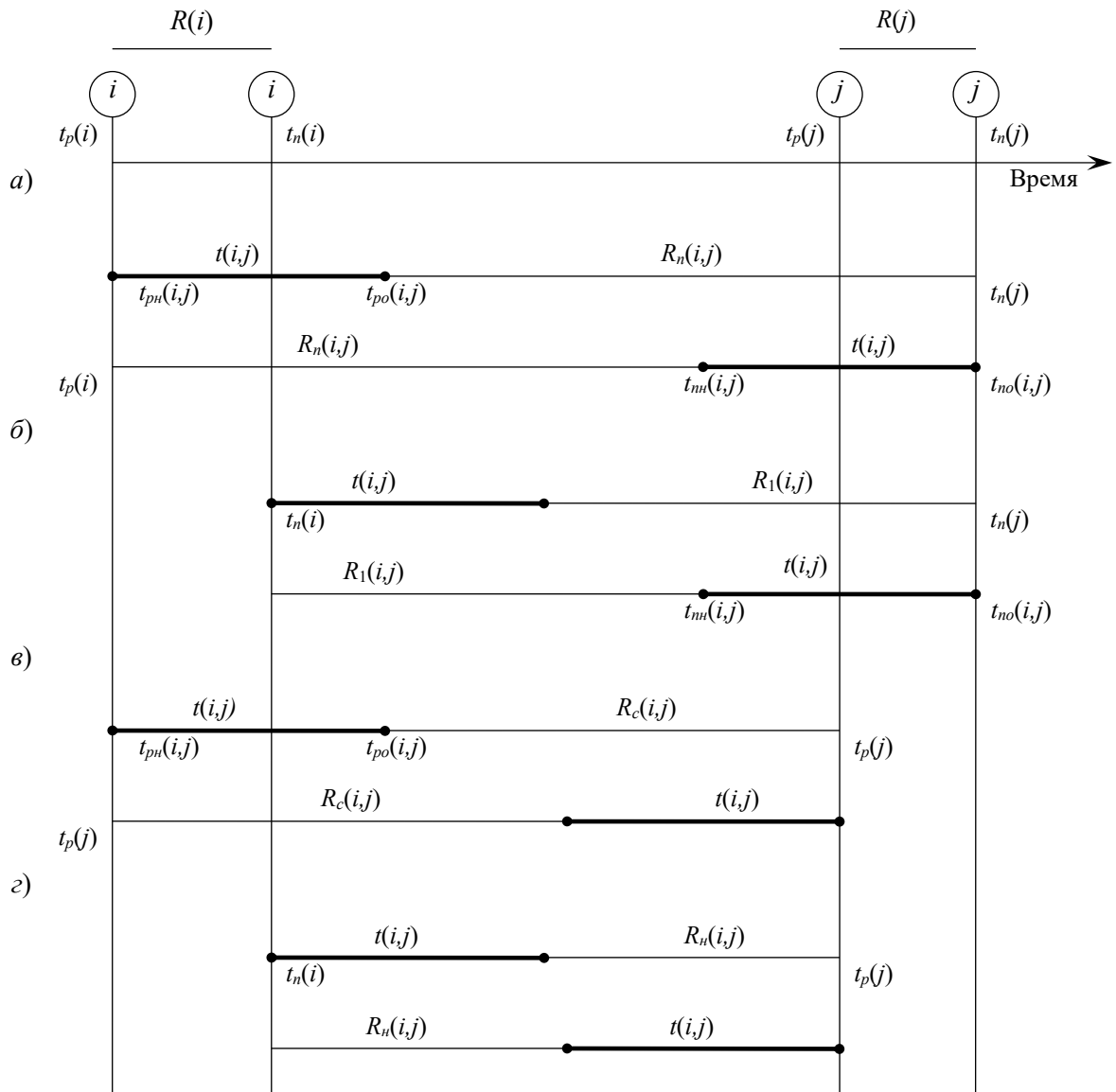


Рисунок 3 – Графическое изображение резервов времени событий и работ

Независимые резервы стремятся использовать тогда, когда окончание предыдущей работы произошло в поздний допустимый срок, а последующие работы хотят выполнить в ранние сроки. Если величина независимого резерва, определяемая формулами (23) или (24), равна нулю или положительна, то такая возможность есть. Отрицательное значение $R_n(i,j)$ не имеет реального смысла, т. к. в этом случае (i,j) работа еще не оканчивается, а последующая уже должна начаться. Фактически независимый резерв имеют лишь те работы, которые не лежат на максимальных путях, проходящих через их начальные и конечные события.

Таким образом, если частный резерв времени первого вида может быть

использован на увеличение продолжительностей данной и последующей работ без затрат резерва времени предшествующих работ, свободный резерв времени – на увеличение продолжительности данной и предшествующих работ без нарушения резерва времени последующих работ, то независимый резерв времени может быть использован для увеличения продолжительности только данной работы.

Резервы времени работы (i,j) могут состоять из двух временных отрезков, если интервал продолжительности работ $t(i,j)$ занимает промежуточную позицию между двумя его крайними положениями, изображенными на графиках.

Работы, лежащие на критическом пути, также как и критические события, резервов времени не имеют.

Резерв времени пути $R(L)$ определяется как разность между длиной критического и рассматриваемого пути:

$$R(L) = t_{kp} - t(L). \quad (25)$$

Он показывает, насколько в сумме могут быть увеличены продолжительности всех работ, принадлежащих этому пути. Если затянуть выполнение работ, лежащих на этом пути, на время, большее чем $R(L)$, то критический путь переместится на путь L .

Отсюда можно сделать вывод, что любая из работ пути L на его участке, не совпадающем с критическим путем (замкнутым между двумя событиями критического пути), обладает резервом времени.

Порядок выполнения работы

1 По заданному варианту описания комплекса работ построить его сетевой график на листе Microsoft Excel с использованием формул для расчета временных параметров. Отметить на модели критические работы и события с применением средств условного форматирования.

2 Провести тестирование адекватности разработанной модели путем изменения продолжительностей отдельных работ (критических и некритических) и анализа соответствующего изменения длительности критического пути

Отчетом является лист Microsoft Excel, содержащий математическую постановку оптимизационной задачи и результаты ее решения.

8 Лабораторная работа № 8. Оптимизация сетевых графиков по критериям времени и стоимости

Цель работы: решить задачу об оптимальном распределении работ между исполнителями по критериям времени и стоимости.

Методические указания

Оптимизация сетевого графика представляет собой нахождение оптимального соотношения величин стоимости и сроков выполнения проекта. При этом предполагают, что уменьшение продолжительности работы пропорционально возрастанию ее стоимости. Каждая работа (i,j) характеризуется продолжительностью $t(i,j)$, которая может находиться в пределах

$$a(i,j) \leq t(i,j) \leq b(i,j), \quad (26)$$

где $b(i,j)$ – нормальная продолжительность выполнения работы (i,j) ;

$a(i,j)$ – минимально возможная (экстренная) продолжительность работы (i,j) , которую только можно осуществить в условиях разработки.

При этом стоимость $c(i,j)$ работы (i,j) заключена в границах от $c_{\min}(i,j)$ – при нормальной продолжительности работы до $c_{\max}(i,j)$ – при экстренной продолжительности работы.

Изменение стоимости работы $\Delta c(i,j)$ при сокращении ее продолжительности можно найти следующим образом:

$$\Delta c(i,j) = [b(i,j) - t(i,j)] h(i,j), \quad (27)$$

где $h(i,j)$ – величина, показывающая затраты на ускорение работы (i,j) (по сравнению с нормальной продолжительностью) на единицу времени.

Коэффициент затрат $h(i,j)$ на ускорение работы (i,j) определяется соотношением

$$h(i,j) = \frac{c_{\max}(i,j) - c_{\min}(i,j)}{b(i,j) - a(i,j)}. \quad (28)$$

Продолжительность каждой работы, имеющей резерв времени, можно увеличивать до тех пор, пока не будет исчерпан этот резерв или пока не будет достигнуто верхнее значение продолжительности $b(i,j)$. При этом стоимость выполнения проекта, равная до оптимизации

$$c = \sum_{i,j} c(i,j) \quad (29)$$

уменьшается на величину

$$\Delta c = \sum_{i,j} \Delta c(i,j) = \sum_{i,j} [b(i,j) - t(i,j)]h(i,j). \quad (30)$$

Оптимизация сетевого графика может быть выполнена по критериям стоимости и времени.

Задачами оптимизации сетевого графика являются: минимизация времени выполнения комплекса работ при заданной его стоимости; минимизация стоимости комплекса работ при заданном времени выполнения проекта.

Проиллюстрируем решение последней оптимизационной задачи на примере сети (см. рисунок 1). Для решения задачи, кроме продолжительности работ $t(i,j)$, необходимо знать их граничные значения $a(i,j)$ и $b(i,j)$, а также показатели затрат на ускорение работ $h(i,j)$, вычисляемые по формуле (27). Продолжительность каждой работы (i,j) целесообразно увеличить на величину такого резерва, чтобы не изменить ранние (ожидаемые) сроки наступления всех событий сети, т. е. на величину свободного резерва времени $R_c(i,j)$. Результаты оптимизации рассчитываемой сети представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты оптимизации сетевого графика по критерию времени

Но- мер	Работа (i,j)	Продолжитель- ность работы, сут			Свободный резерв времени работы $R_c(i,j)$, сут	Стои- мость работы $c(i,j)$, усл. ед.	Коэффициент затрат на ускорение работы $h(i,j)$, усл. ед./сут	Уменьшение стоимости проекта $\Delta c(i,j)$, усл. ед.
		$a(i,j)$	$t(i,j)$	$b(i,j)$				
1	1,5	4	8	10	4	54	6	$2 \cdot 6 = 12$
2	2,5	1	3	6	4	61	9	$3 \cdot 9 = 27$
3	3,9	8	12	14	5	28	8	$2 \cdot 8 = 16$
4	4,8	5	7	11	2	34	14	$2 \cdot 14 = 28$
5	5,9	7	10	15	3	65	12	$3 \cdot 12 = 36$
6	7,8	1	1	3	1	48	5	$1 \cdot 5 = 5$
7	7,10	3	6	8	7	42	10	$2 \cdot 10 = 20$
8	9,10	4	7	9	2	37	7	$2 \cdot 7 = 14$
	Итого					369		158

В таблице 2 приведены параметры только тех работ, которые имеют свободный резерв времени. Стоимости $c(i,j)$ остальных работ следующие: $c(1,2) = 25$; $c(1,3) = 74$; $c(2,4) = 52$; $c(3,5) = 43$; $c(5,6) = 39$; $c(6,7) = 12$; $c(6,8) = 27$; $c(7,9) = 19$; $c(8,10) = 81$ (усл. ед.).

Жирным шрифтом выделены те работы, свободные резервы времени которых полностью использованы на увеличение их продолжительности.

Стоимость первоначального варианта сетевого графика по формуле (29) равна сумме стоимостей всех работ (включая и работы, не имеющие резервов и не включенные в таблицу 2):

$$c = 369 + 25 + 74 + 52 + \dots + 81 = 741 \text{ (усл. ед.)}.$$

Стоимость нового плана $c - \Delta c = 741 - 158 = 583$ (усл. ед.), т. е. уменьшилась почти на 21 %. Новый сетевой график представлен на рисунке 4.

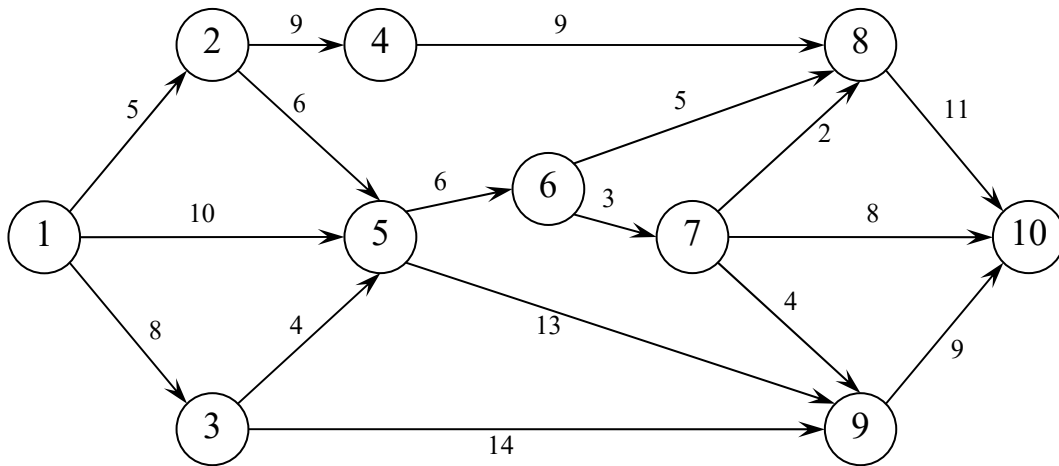


Рисунок 4 – Результат оптимизации сетевого графика

На полученном в результате оптимизации сетевом графике появились новые критические пути продолжительностью 34 (сут), например:

$$1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 10; 1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 9 \rightarrow 10;$$

$$1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 10; 1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 8 \rightarrow 10 \text{ и т. д.}$$

Если бы верхние границы продолжительностей работ позволили полностью использовать резерв времени всех работ, представленных в таблице 2, то в новом плане все полные пути были бы критические.

Итак, в результате оптимизации сети пришли к плану, позволяющему осуществить выполнение комплекса работ в срок $t_{кр} = 34$ (сут) при минимальной его стоимости $c = 583$ усл. ед.

Порядок выполнения работы

1 На основе созданной в лабораторной работе № 7 сетевой модели осуществить постановку и решить оптимизационную задачу по критерию стоимости.

2 Заменить в созданной модели исходные значения продолжительностей работ на оптимальные параметры, полученные в результате решения задачи.

Отчетом является лист Microsoft Excel, содержащий математическую модель и результаты решения задачи оптимизации.

Список литературы

1 **Горохов, В. А.** Проектирование механосборочных участков и цехов: учебник / В. А. Горохов, Н. В. Беляков, А. Г. Схиртладзе; под ред. В. А. Горохова. – Москва: Новое знание; ИНФРА-М; 2016. – 540 с.

2 **Иванов, И. Н.** Организация производства на промышленных предприятиях: учебник / И. Н. Иванов. – Москва : ИНФРА-М, 2013. – 352 с.

3 **Сачко, Н. С.** Организация и оперативное управление машиностроительным производством: учебник / Н. С. Сачко. – Минск: Новое знание, 2005. – 636 с.

4 Экономико-математические методы и модели: учебное пособие / Н. И. Холод [и др.]; под общ. ред. А. В. Кузнецова. – 2-е изд. – Минск: БГЭУ, 2000.

Приложение А (обязательное)

Вопросы для защиты лабораторных работ

Лабораторная работа № 1

- 1 Какова цель лабораторной работы?
- 2 Чем отличаются понятия «операционный цикл», «технологический цикл», «производственный цикл»?
- 3 Опишите внутренние параметры моделируемого экономического объекта, разделив на технологические и организационные.
- 4 Опишите внешние параметры моделируемого экономического объекта.
- 5 Укажите, какие параметры могут быть в качестве внешних.

Лабораторная работа № 2

- 1 Какова цель лабораторной работы?
- 2 Что представляет собой разработанная математическая модель?
- 3 Что является решением задачи одновариантного анализа?
- 4 Какие параметры и как изменятся при изменении размера транспортной партии?
- 5 Какие параметры и как изменятся при изменении количества рабочих смен?
- 6 Дайте экономическую интерпретацию полученных результатов и сделайте выводы.

Лабораторные работы № 3 и 4

- 1 Какова цель лабораторной работы?
- 2 Обоснуйте интервал возможного изменения указанных в лабораторной работе параметров.
- 3 Что является решением задачи многовариантного анализа?
- 4 Проведите анализ построенных графиков зависимости указанных выходных параметров от заданных внутренних параметров (вид зависимостей, чувствительность зависимостей, особые точки на графике зависимостей).
- 5 Осуществите экономический анализ полученных результатов и сделайте выводы.

Лабораторная работа № 5

- 1 Какова цель лабораторной работы?
- 2 Осуществите математическую постановку оптимизационной задачи для рассматриваемого в лабораторной работе экономического объекта по критерию минимально необходимого количества рабочих мест.
- 3 Что является решением задачи оптимизации?
- 4 Сформулируйте выводы по результатам решения задачи.

5 Осуществите математическую постановку оптимизационной задачи для рассматриваемого в лабораторной работе экономического объекта по критерию выполнения производственной программы в минимально возможный срок.

6 Что является решением задачи оптимизации?

7 Сформулируйте выводы по результатам решения задачи.

Лабораторная работа № 6

1 Какова цель лабораторной работы?

2 Осуществите математическую постановку оптимизационной задачи для рассматриваемого в лабораторной работе экономического объекта по критерию максимальной загрузки рабочих мест.

3 Что является решением задачи оптимизации?

4 Сформулируйте выводы по результатам решения задачи.

5 Осуществите математическую постановку многокритериальной оптимизационной задачи для рассматриваемого в лабораторной работе экономического объекта, используя критерии потребности в оборудовании, его загрузки и длительности производственного цикла.

6 Что является решением задачи оптимизации?

7 Сформулируйте выводы по результатам решения задачи.

Лабораторная работа № 7

1 Какова цель лабораторной работы?

2 Назовите параметры событий сети.

3 Назовите параметры работ сети.

4 Назовите параметры путей сети.

5 Каковы особенности параметров критических и некритических событий?

6 Каковы особенности параметров критических и некритических работ?

7 Каковы особенности параметров критических и некритических путей?

8 Приведите необходимые тесты для проверки правильности разработанного сетевого графика с изменением длительности критической работы.

9 Приведите необходимые тесты для проверки правильности разработанного сетевого графика с изменением длительности некритической работы.

Лабораторная работа № 8

1 Какова цель лабораторной работы?

2 Осуществите математическую постановку оптимизационной задачи для комплекса работ по критерию стоимости.

3 Что является решением задачи оптимизации?

4 Почему при оптимизации используется свободный резерв времени?

5 Что показывает коэффициент затрат на ускорение работы?

6 Сформулируйте выводы по результатам решения задачи.