

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Экономика и управление»

# КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов направления подготовки  
27.03.05 «Инноватика»  
дневной формы обучения*



Могилев 2018

УДК 004.9  
ББК 32.973.26-02  
К 63

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Экономика и управление» «08» октября 2018 г.,  
протокол № 3

Составитель ст. преподаватель Е. Г. Галкина

Рецензент канд. экон. наук, доц. Т. Г. Нечаева

Приведены методические рекомендации к лабораторным работам по  
дисциплине «Компьютерное моделирование и современные методы  
оптимизации» для студентов направления подготовки 27.03.05 «Инноватика».

Учебно-методическое издание

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ

Ответственный за выпуск	И. В. Ивановская
Технический редактор	А. Т. Червинская
Компьютерная верстка	Н. П. Полевнича

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 31 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 24.01.2014.

Пр. Мира, 43, 212000, Могилёв.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский  
университет», 2018



## Содержание

Порядок выполнения и защиты лабораторных работ .....	4
Лабораторная работа № 1. Изучение системы имитационного моделирования. Разработка простейшей модели детерминированной системы.....	4
Лабораторная работа № 2. Подбор параметров для описания случайных процессов .....	7
Лабораторная работа № 3. Моделирование простейшего линейного производственного процесса.....	9
Лабораторная работа № 4. Моделирование производственных процессов с входными потоками .....	10
Лабораторная работа № 5. Моделирование разветвленных производственных процессов .....	11
Лабораторная работа № 6. Моделирование производственных процессов с транспортными операциями .....	12
Лабораторная работа № 7. Моделирование производственных процессов с совмещением рабочих мест .....	14
Лабораторная работа № 8. Моделирование производственных процессов с использованием информационных и финансовых потоков .....	15
Лабораторная работа № 9. Анализ чувствительности и выбор управляемых параметров.....	18
Лабораторная работа № 10. Изучение характера влияния управляемых параметров на критерии оценки функционирования производственного процесса.....	20
Лабораторная работа № 11. Выбор типа вычислительного эксперимента на имитационной модели.....	20
Лабораторная работа № 12. Построение регрессионной модели на основе полного факторного эксперимента .....	21
Лабораторная работа № 13. Построение регрессионной модели на основе дробного факторного эксперимента .....	22
Лабораторная работа № 14. Построение регрессионной модели на основе квадратичного эксперимента.....	23
Лабораторная работа № 15. Решение оптимизационной задачи с использованием различных стратегий и обоснование управленческого решения .....	24
Список литературы .....	25



## Порядок выполнения и защиты лабораторных работ

В результате выполнения лабораторной работы студенту необходимо составить схему моделируемого процесса с указанием характеристик операций, заделов, проанализировать полученные результаты моделирования. В случае выявления недостатков, оказывающих влияние на снижение эффективности моделируемого процесса, предложить варианты улучшения.

По окончании моделирования студент должен оформить отчет по лабораторной работе, который включает в себя задание на лабораторную работу, схему моделируемого процесса и результаты ее выполнения.

Отчет должен быть оформлен на листах формата А4, подписан с указанием дисциплины, группы и фамилии студента.

К защите лабораторной работы допускаются только студенты, выполнившие работу и оформившие отчет. Защита проходит в форме устного и письменного собеседования, когда студент отвечает на вопросы преподавателя, которые приведены в данных методических рекомендациях в списке контрольных вопросов к каждой лабораторной работе, а также дополняет свои ответы письменно примерами схем моделирования процесса. В случае успешной защиты преподаватель ставит на отчете свою подпись и дату защиты.

### Лабораторная работа № 1. Изучение системы имитационного моделирования. Разработка простейшей модели детерминированной системы

**Цель работы:** изучить структуру и интерфейсные возможности программной системы, предназначенной для имитационного моделирования производственных процессов, и составить простейшую модель детерминированной системы.

**Задание к лабораторной работе.** Изучить возможности программной системы имитационного моделирования и смоделировать простейший линейный производственный процесс, состоящий из трех последовательных операций.

**Исходные данные.** Первая операция выполняется на двух рабочих местах. Длительность выполнения операции является детерминированной величиной. Норматив времени выполнения 7 мин.

Вторая операция выполняется на одном рабочем месте. Длительность выполнения операции является детерминированной величиной. Норматив времени выполнения 4 мин.

Третья операция выполняется на трех рабочих местах. Длительность выполнения операции является детерминированной величиной. Норматив времени выполнения 17 мин.

#### Методические указания.

Программная система имитационного моделирования предназначена для моделирования динамики производственных процессов, проведения вычислительного эксперимента и оптимизации параметров исследуемого объекта. При



запуске системы на экране появляется главная форма, с помощью которой осуществляется управление программной системой. Ее вид представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид главной формы программной системы

Прежде чем начинать работать с моделью объекта, ее необходимо создать (кнопка «Создать модель») или открыть ранее созданную (выбрать имя из списка «Имя модели» и нажать кнопку «Открыть модель»).

Общий вид страницы с описанием модели представлен на рисунке 2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH		
1	Количество операций	9																																		
2	Количество заделов	11																																		
3	Количество комплексов	1																																		
4	Количество входящих потоков	2																																		
5	Количество исходящих потоков	1																																		
6																																				
7																																				
8																																				
9	Операции	Тип события	Парам 1	Парам 2	Вид операции	Парам 1	Парам 2	Колич оборуд																												
10	1 операция Деталь 1	V2	1	1,4	ZD	1		1																												
11	2 операция Деталь 1	V2	2	0,5	ZD	1		1																												
12	3 операция Деталь 2	V2	6	1,2	ZD	1		1																												
13	4 операция Деталь 2	V2	5	0,78	ZD	1		1																												
14	Погрузка	R	1	2	ZD	1		1																												
15	Переезд	R	2	4	X	1		1																												
16	Разгрузка	R	1	2	ZD	1		1																												
17	Возврат	R	2	4	X	1		1																												
18	Сборка	V2	80	0,7	ZD	1		1																												

Рисунок 2 – Описание параметров моделируемого объекта

Описание модели состоит из нескольких разделов, отмеченных на рисунке соответствующими сносками: 1 – размерность модели; 2 – описание операций;

3 – описание взаимосвязи операций и заделов; 4 – создание комплексных операций; 5 – описание заделов; 6 – описание взаимосвязи заделов с входными и выходными потоками; 7 – задание параметров входящих потоков. Каждому из указанных разделов требуется задать соответствующее имя. Именованье разделов описания модели позволяет пользователю создавать, размещать их в любом месте листа и таким образом компоновать описания по своему усмотрению.

Описание объекта начинается с размерности модели. Этот раздел служит для проверки правильности описания модели. Значения заданных в нем параметров должны соответствовать размерам областей, описывающих соответствующие разделы параметров. Так, например, если задано количество операций – 15, то при описании операций должно быть задействовано 15 строк.

Для описания параметров операций необходимо задать «Тип события», «Вид операции» и «Количество оборудования».

Параметры «Вид операции» определяют объем порции потока, в передаче которого участвует данная операция. Параметр «Количество оборудования» определяет количество рабочих мест, на которых выполняется описываемая операция.

В области 5 на рисунке 2 задаются параметры заделов, являющихся точками взаимодействия выделенных в модели различных операций. Каждый задел, кроме входных и выходных, увеличивается за счет входящих операций и уменьшается за счет выходящих. В один задел может входить, а также и выходить из него, любое количество операций.

В качестве параметров заделов необходимо задать их величину на момент запуска модели и тип задела. Значение «Р» соответствует заделам, величина которых не может быть отрицательной, а значение «К» – тем заделам, величина которых может опускаться и в отрицательную область значений.

Взаимосвязь операций и заделов описывается с помощью области, именуемой на листе описания как «МатрСвязиОпераций». В этой матрице в столбце с номером соответствующего задела в строчке входящей операции необходимо ввести отрицательное значение, а в строчке исходящей операции – положительное. В строчке описания технологической операции, которая берет предмет труда с предшествующего задела, обрабатывает его и передает на следующий задел, в столбце предшествующего задела задается «-1», а в столбце последующего – «1».

После корректного описания модели можно осуществить ее запуск, нажав на кнопку «Запуск модели» 1 раз. После остановки вычислений система перейдет на страницу «Результаты», на которой выводятся выходные параметры моделируемого объекта. Пример результатов приведен на рисунке 3.

В качестве выходных параметров используются время выполнения операции и величина задела на момент окончания процесса моделирования. Кроме этого, выводятся время окончания процесса, объемы произведенных изделий и незавершенного производства, коэффициенты загрузки по операциям и комплексам.

Результаты		fx		=B1							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	Длительность периода моделирования	481,0507									
2		11	4								
3											
4	Операция	Номер станка	Время работы		Номер потенциала	Величина потенциала		Коэфф загрузки по операциям	Коэфф загрузки комплекса 1		
5	1 операция Деталь 1	1	481,0507		1	3		1	0,405868501		
6	2 операция Деталь 1	1	461,0507		2	1		0,95842			
7	3 операция Деталь 2	1	481,0507		3	5		1			
8	4 операция Деталь 2	1	445,0507		4	4		0,92516			
9	Погрузка	1	14,00834		5	1					
10	Переезд	1	89,33764		6	5					
11	Разгрузка	1	0,524576		7	0					
12	Возврат	1	91,37278		8	0					
13	Сборка	1	312,9428		9	0		0,65054			
14					10	0					
15					11	4					
16											
17	Название	4	Время	Коэфф. Загрузки	Задел 9	3					
18	Параметр		481,0507	1	15						
19											
20	Время		481,0507	485,3404	480,1573						
21	Коэфф. загрузки опер 1										
22	Задел 9										

Рисунок 3 – Лист с результатами вычислений

### Контрольные вопросы

- 1 Перечислить внутренние параметры моделируемого объекта. Каким образом задаются значения параметров?
- 2 Пояснить значение выходных параметров моделируемого объекта.
- 3 Построить и проанализировать графики, иллюстрирующие поведение имитируемого процесса во времени.

## Лабораторная работа № 2. Подбор параметров для описания случайных процессов

**Цель работы:** изучить и опробовать возможности программной системы для подбора параметров величин со стохастическими характеристиками.

**Задание к лабораторной работе.** Изучить возможности программной системы имитационного моделирования и подобрать параметры для формирования случайных величин, подчиненных различным законам распределения. Запустить программу имитационного моделирования и убедиться в правильности формирования требуемых законов распределения.

**Исходные данные.** Технологический процесс по производству детали состоит из трех операций. На первой операции расположен один станок, на второй – два станка, на третьей операции также используется один станок.

В течение рабочей смены были произведены замеры времени работы на соответствующих станках. Результаты представлены в таблицах 1 и 2.

Для перевозки деталей со второй операции на третью используется транспортное средство. При этом замеры времени перевозки следующие (таблицы 3 и 4).

Таблица 1 – Замеры времени работы на 1-й операции

Результаты замера времени выполнения 1-й операции									
4,13	5,04	5,09	3,66	3,65	4,55	6,39	3,78	3,89	5,43
2,69	6,11	5,37	4,17	2,77	5,99	3,22	5,40	4,05	7,23

Таблица 2 – Замеры времени работы на 2-й операции

Результаты замера времени выполнения 2-й операции									
13,00	10,12	11,06	9,11	13,13	11,56	13,21	10,42	8,53	13,35
11,20	8,74	12,51	10,82	9,91	8,48	14,46	11,68	9,91	9,70

Таблица 3 – Замеры времени перевозки деталей со 2-й операции на 3-ю

Результаты замера времени перевозки деталей со 2-й операции на третью									
7,23	7,15	8,88	6,99	7,22	7,23	6,81	8,50	9,18	7,86
8,35	8,18	7,49	8,87	8,66	8,31	7,83	8,18	8,22	8,98

Таблица 4 – Замеры времени обратного хода транспортного средства

Результаты замера времени обратного хода транспортного средства									
9,67	6,19	7,96	6,77	6,83	6,44	7,52	6,07	7,31	9,73
6,04	7,81	7,02	8,54	5,68	8,98	7,86	8,17	8,23	6,79

На третьей операции работает один станок, время работы рабочего на нем представлено в таблице 5.

Таблица 5 – Замеры времени работы на 3-й операции

Результаты замера времени выполнения 3-й операции									
10,95	10,82	10,30	10,33	10,58	10,69	10,54	10,07	10,04	10,96
10,14	10,37	10,36	10,47	10,48	10,26	10,63	10,21	10,70	10,74

Необходимо подобрать наиболее подходящий вид распределения и его основные параметры для каждого времени работы, доказать правильность выводов.

### **Методические указания.**

Параметры «Тип события» определяют закон распределения плотности вероятностей, принятый для описания случайной величины длительности выполнения операции. Законы и их параметры, которые могут использоваться в системе, представлены в таблице 6.

Аналогичные параметры используются для описания параметров «Вид операции». Матрица «Вид операции» определяет объем порции потока, в передаче которого участвует данная операция.

Таблица 6 – Используемые законы распределения плотности вероятности

Описание	Обозначение	Параметр 1	Параметр 2
Холостая операция	X	Параметры не нужны	
Детерминированный тип события	D	Значение длительности	-
Равномерное распределение	R	Левая граница диапазона	Правая граница диапазона
Нормальный закон распределения	N	Мода (математическое ожидание)	Дисперсия
Закон Вейбулла (с параметром формы)	$\alpha = 0.5 - V0; \alpha = 1 - V1; \alpha = 2 - V2; \alpha = 3 - V3$	Мода	Масштабный коэффициент

### **Контрольные вопросы**

1 В каком случае время выполнения операции можно описать детерминированной величиной?

2 В каком случае длительность выполнения операции можно описать случайной величиной (с параметрами нормального распределения, равномерного распределения, распределения Вейбулла)?

### **Лабораторная работа № 3. Моделирование простейшего линейного производственного процесса**

**Цель работы:** изучить структуру и интерфейсные возможности программной системы, предназначенной для имитационного моделирования производственных процессов, и составить простейшую модель линейного процесса со стохастическими характеристиками.

**Задание к лабораторной работе.** Изучить возможности программной системы имитационного моделирования и смоделировать простейший линейный производственный процесс, состоящий из трех последовательных операций, длительность которых является случайной величиной, подчиненной заданному закону распределения. Сравнить результаты с детерминированной системой, рассмотренной в лабораторной работе № 1.

**Исходные данные.** Характеристики производственного процесса приведены в лабораторной работе № 1. Длительность выполнения операции является стохастической величиной, подчиненной закону распределения Вейбулла (вариант 1) или нормальному закону распределения (вариант 2).

### **Контрольные вопросы**

1 Построить график динамики по любой операции (показать на графике начало выполнения операции, процесс ее выполнения и завершения, а также перерывы в работе).



2 Построить график динамики по любому заделу (пояснить величину задела на начало и конец смены).

3 Почему графики изменения заделов выглядят ступенчатыми?

## Лабораторная работа № 4. Моделирование производственных процессов с входными потоками

**Цель работы:** продолжить изучение возможностей программной системы, предназначенной для имитационного моделирования производственных участков. Смоделировать производственный процесс, в котором заготовки и необходимые комплектующие подаются в течение смены с заданной периодичностью, подчиненной случайным законам.

**Задание к лабораторной работе.** Учесть в моделируемой системе процедуру подачи заготовок на первую производственную операцию с заданной периодичностью, подчиненной случайным законам распределения. В качестве случайных параметров могут быть заданы время и объем поступления заготовок. Построить и проанализировать графики, иллюстрирующие поведение имитируемого процесса во времени, сравнить результаты с детерминированной системой, рассмотренной в лабораторной работе № 3.

**Исходные данные.** Схему производственного процесса и параметры операций получить у преподавателя.

### Методические указания для описания входящих потоков.

Моделируемый объект может взаимодействовать с внешней средой. На входные заделы может поступать информация, а результаты работы моделируемого объекта являются выходом из системы. Взаимодействие с внешней средой описывается с помощью областей, показанных на сноске 6 рисунка 2. Область входящих потоков именуется «МатрВходПотоков», а выходящих – «МатрВыхПотоков». В указанных областях проставляются значения «1» напротив тех заделов, с которыми они взаимодействуют, а знаки всегда положительные.

Поскольку на входе системы могут быть потоки со случайными взаимодействиями, их параметры должны быть описаны отдельно с помощью области с именем «ПарамПотоков», показанной на сноске 7 рисунка 2. Параметры входящих потоков состоят из трех групп: «Количество событий», «Тип событий» и «Количество прихода». Параметры каждой группы задаются по правилам, указанным в таблице 6. Параметры группы «Количество событий» определяют, сколько раз за период моделирования произойдет взаимодействие моделируемого объекта с входящим потоком. Параметры группы «Тип событий» задают временной интервал и распределение в нем описываемых взаимодействий, а группа «Количество прихода» – совместное наступление нескольких контактов с внешней средой.

Область задания параметров входящих потоков имеет имя «ПарамПотоков» и разделена на пять частей. Первая (одна ячейка) означает период моделирования. Возможные варианты приведены в таблице 7.



Таблица 7 – Варианты задания периода моделирования

Условное обозначение	Описание
H или «час»	Моделируется 1 ч
S или «смена»	Одна смена 8 ч
RD или «раб. день»	В зависимости от количества смен
N или «неделя»	5 дней
D или «декада»	8 рабочих дней
M или «месяц»	22 рабочих дня
K или «квартал»	3 месяца
G или «год»	4 квартала

Вторая часть определяет количество элементов в потоке, т. е. сколько раз в данном потоке произойдут события. Если описывается материальный поток, связанный с каким-либо заделом, то это означает, что на данный задел столько раз будет поданы изделия из потока. Третья часть задает момент времени, в который поступит элемент из потока. Четвертая часть определяет объем (количество) приходящих элементов за один раз. И последняя часть описывает время жизни элемента потока. Эта часть важна, например, при описании очереди покупателей. Если очередь большая, то покупатель может не дожидаться своей очереди и уйти.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Чем входной поток отличается от первоначального задела?
- 2 Привести пример производственного процесса с несколькими входными потоками.

## **Лабораторная работа № 5. Моделирование разветвленных производственных процессов**

**Цель работы:** продолжить изучение возможностей программной системы, предназначенной для имитационного моделирования производственных процессов, и составить модель производственного процесса со сборочной операцией. Все длительности производственных операций являются случайными величинами, подчиненными соответствующим законам распределения.

**Задание к лабораторной работе.** Разработать имитационную модель сложного производственного процесса, Провести анализ функционирования, выявить недостатки, оказывающие влияние на снижение эффективности производства.

**Исходные данные.** Схему производственного процесса и параметры операций получить у преподавателя.

В качестве примера может быть система, представленная следующей схемой (рисунок 4).



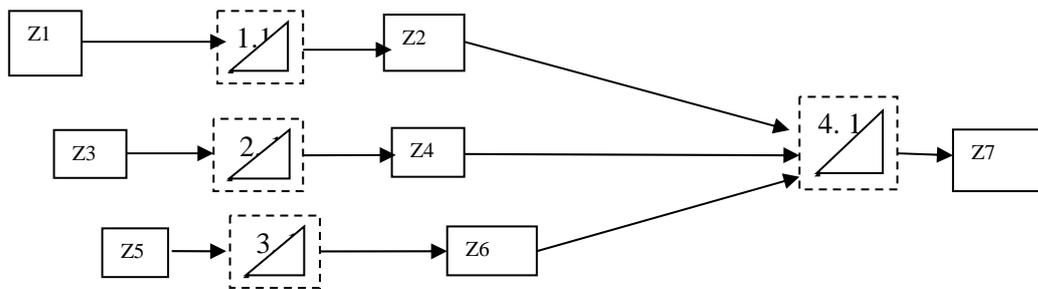


Рисунок 4 – Схема производственного процесса

Рассматриваемый производственный процесс состоит из четырех технологических операций. Первые три – операции изготовления трех различных деталей, а четвертая – сборочная, на которой собирается готовое изделие из трех отдельных деталей. Операции на рисунке изображены треугольниками с соответствующими номерами. Указанные операции взаимодействуют с соответствующими межоперационными заделами, представленными на рисунке прямоугольниками с порядковыми номерами.

На сборочной операции производится сборка деталей, поступающих с первых трех технологических операций. Условием осуществления сборочной операции является обязательное наличие всех трех исходных деталей, ее выполнение не начнется до тех пор, пока все три детали не поступят на соответствующие заделы Z2, Z4 и Z6.

### *Контрольные вопросы*

- 1 Построить график работы сборочной операции. В случае наличия простоев пояснить их причину.
- 2 Построить графики изменения заделов Z2, Z4 и Z6. В случае наличия пролеживания деталей пояснить их причину.

## **Лабораторная работа № 6. Моделирование производственных процессов с транспортными операциями**

**Цель работы:** продолжить изучение возможностей программной системы, предназначенной для имитационного моделирования производственных процессов, и составить модель производственного процесса с транспортными операциями, обеспечивающими сборочную операцию. Все длительности производственных операций являются случайными величинами, подчиненными соответствующим законам распределения.

**Задание к лабораторной работе.** Разработать имитационную модель сложного производственного процесса. Провести анализ функционирования, выявить недостатки, оказывающие влияние на снижение эффективности производства. Дать оценку эффективности работы транспортного средства и предложить рекомендации по улучшению транспортного обслуживания сборочной операции.

**Исходные данные.** Схему производственного процесса и параметры операций получить у преподавателя.

В качестве примера может быть система, представленная следующей схемой (рисунок 5).

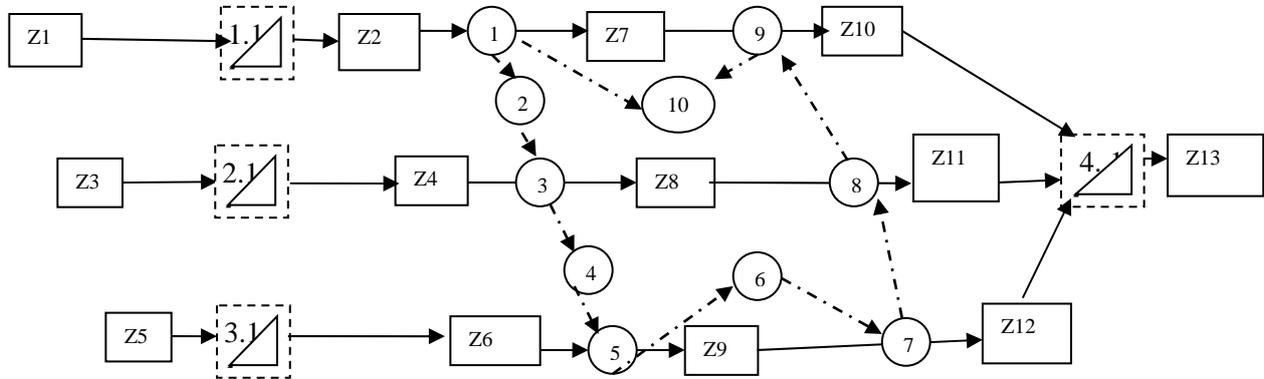


Рисунок 5 – Пример схемы производственного процесса

Рассматриваемый производственный процесс состоит из четырех технологических операций. Первые три – операции изготовления трех различных деталей, а четвертая – сборочная, на которой собирается готовое изделие из трех отдельных деталей. Операции на рисунке изображены треугольниками с соответствующими номерами. Указанные операции взаимодействуют с соответствующими межоперационными заделами, представленными на рисунке прямоугольниками с порядковыми номерами.

Кружками на рисунке представлены элементы транспортного потока, обеспечивающего сборочную операцию необходимыми деталями. Сборочную операцию обеспечивает одно транспортное средство, которое, проезжая по очереди между заделами 7, 8 и 9, загружается соответствующими деталями в объемах различных заданных транспортных партий. Затем погруженные детали перевозятся к месту сборки и разгружаются в соответствующие позиции, заданные межоперационными заделами.

Для моделирования описанного объекта необходимо добавить три условных задела (Z7, Z8, Z9), представляющих места складирования транспортных партий перевозимых деталей на транспортном средстве. Транспортную операцию нужно разбить на составляющие элементы, среди которых требуется выделить погрузку деталей на транспортное средство, переезды от одного межоперационного задела к другому и разгрузку перевезенных деталей. Таким образом, транспортная операция состоит из следующих элементов: 1 – загрузка со второго задела; 2 – переезд транспортного средства к заделу 4; 3 – загрузка с задела 4; 4 – переезд транспортного средства к заделу 6; 5 – загрузка с задела 6; 6 – транспортировка деталей к месту сборки; 7 – разгрузка транспортной партии первой детали; 8 – разгрузка второй детали; 9 – разгрузка третьей детали; 10 – возврат транспортного средства в исходную точку.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Чем в модели отличается описание операций переезда транспортного средства от описаний загрузки и разгрузки?
- 2 Почему заделы, представляющие места складирования транспортных партий перевозимых деталей на транспортном средстве, являются условными?
- 3 Построить график работы транспортного средства. В случае наличия простоев пояснить их причину.

## **Лабораторная работа № 7. Моделирование производственных процессов с совмещением рабочих мест**

**Цель работы:** продолжить изучение возможностей программной системы, предназначенной для имитационного моделирования производственных процессов, и составить модель производственного процесса, в котором один работник может поочередно выполнять несколько операций. Все длительности производственных операций и операций по переходу работника к другому оборудованию являются случайными величинами, подчиненными соответствующим законам распределения.

**Задание к лабораторной работе.** Разработать имитационную модель сложного производственного процесса с совмещением одним работником нескольких операций. Построить графики, иллюстрирующие поведение имитируемого процесса во времени. Провести анализ функционирования, выявить недостатки, оказывающие влияние на снижение эффективности производства. Дать оценку эффективности совмещения работником нескольких операций.

**Исходные данные.** Схему производственного процесса и параметры операций получить у преподавателя.

### **Методические указания.**

В тех случаях, когда несколько операций выполняется на одном и том же рабочем месте или одним и тем же работником, такие операции необходимо объединить в комплекс. Для определения комплексных операций служит область под названием «МатрКомплексов» (см. рисунок 2 сноску 4), в которой количество столбцов соответствует их количеству, а количество строк – общему количеству операций в модели. Такие операции не могут выполняться одновременно, а лишь в определенной последовательности, которая задается в соответствующем столбце. Значение «1» задается операции, которая будет выполняться первой среди объединенных в данный комплекс.

Тип описываемого комплекса зависит от того, как входящие в него операции распределены во времени. Если операции выполняются строго по порядку и не одна из них не может быть пропущена, ее тип определяется значением «О». Если операции выполняются по порядку, любая из них в связи с несложившимися условиями (например, отсутствие входящего задела) может быть пропущена, то задается значение «Р». Если операции выполняются в



соответствии с наступлением тех или иных условий свершения и при этом имеют приоритеты, то «Т». Численные значения при описании такого комплекса означают приоритеты для соответствующей операции. Наивысший приоритет – единица. Для операций с одинаковым приоритетом при одновременном наступлении событий, определяющих условия их свершения, выбор осуществляется в порядке их следования в матрице «ПарамОпераций». Если возможность выполнения тех или иных операций определяется некоторым расписанием, то тип комплекса – «R». Расписание операций задается специальным образом и будет описано далее.

Если в один временной период могут работать несколько операций, необходимо указать способ их взаимодействия в этом периоде, задавая «RO», «RP» или «RT». При различном взаимодействии в отдельные временные периоды они должны быть определены в нескольких комплексах, а каждому комплексу задан свой временной период.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Как определяется операция, которая будет выполняться первой среди объединенных в комплекс?
- 2 Как в модели отразить затраты времени на перемещение между операциями, входящими в комплекс?
- 3 Построить график работы комплекса. В случае наличия простоев пояснить их причину.

## **Лабораторная работа № 8. Моделирование производственных процессов с использованием информационных и финансовых потоков**

**Цель работы:** продолжить изучение возможностей программной системы, предназначенной для имитационного моделирования производственных процессов, и составить модель производственного процесса, в котором, кроме материальных, участвуют потоки другой природы: информационные или финансовые.

**Задание к лабораторной работе.** Разработать имитационную модель сложного производственного процесса с использованием информационных потоков. Провести анализ функционирования, выявить недостатки, оказывающие влияние на снижение эффективности производства. Дать оценку влияния информационных потоков на эффективность производственного процесса.

**Исходные данные.** Схему производственного процесса и параметры операций получить у преподавателя.

### **Методические указания по использованию информационных потоков.**

Кроме материальных потоков, в модели можно использовать информационные потоки, которые могут передавать информацию отдельным элементам системы о происходящих в ней событиях.



На рисунке 6 показан технологический процесс, происходящий территориально в разных местах, например, обработка (операции 1, 2 и 3) – в цехе А, а сборка (операция 4) – в цехе Б.

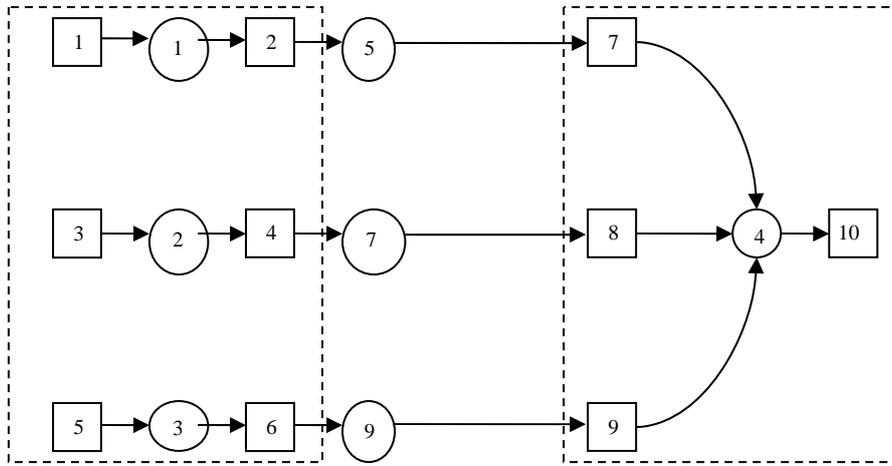


Рисунок 6 – Схема технологического процесса, происходящего территориально в двух цехах

Для доставки изделий со складских заделов 2, 4 и 6 цеха А на складские заделы 7, 8 и 9 цеха Б необходимы транспортные операции 5, 7 и 9. Указанные транспортные операции могут выполняться различными транспортными средствами и тогда система будет моделироваться так, как она представлена на рисунке 12. В этом процессе загрузка транспортных средств будет зависеть от соотношения времени, затрачиваемого на перевозку партии изделий, и времени на ее изготовление. Данное соотношение может оказаться таким, что три транспортных средства будут не загружены, т. е. простаивать значительное время. В этом случае для перевозки всех изделий целесообразно использовать одно транспортное средство, которое должно по порядку объехать все складские заделы цеха А, загрузить сформированные транспортные партии и перевезти их в цех Б на сборочную операцию. При этом транспортные партии на складских заделах 2, 4 и 6 будут формироваться в различное время, определяемое длительностями соответствующих технологических операций. Транспортному средству может быть задано управление, при котором оно будет ждать момента завершения формирования транспортных партий или при отсутствии сформированной партии переезжать к следующему складскому заделу. Второй вариант более эффективный, так как изделия будут быстрее передаваться на сборку. Кроме того, транспортное средство имеет ограниченную грузоподъемность. Поэтому может складываться ситуация, при которой транспортная партия сформирована, а погрузить ее на транспортное средство не возможно.

Создать указанное управление в описанной системе можно путем разбиения транспортных операций на составляющие элементы и введением информационного потока (рисунок 7).

Транспортное средство, объезжая складские заделы, выполняет следующие

действия. Загрузка транспортного средства с задела 2 на транспортный задел 11 и передача информации о погрузке на информационный задел 14. Размерность информационного потока целесообразно принимать по характеристике грузоподъемности транспортного средства, например, масса или габариты.

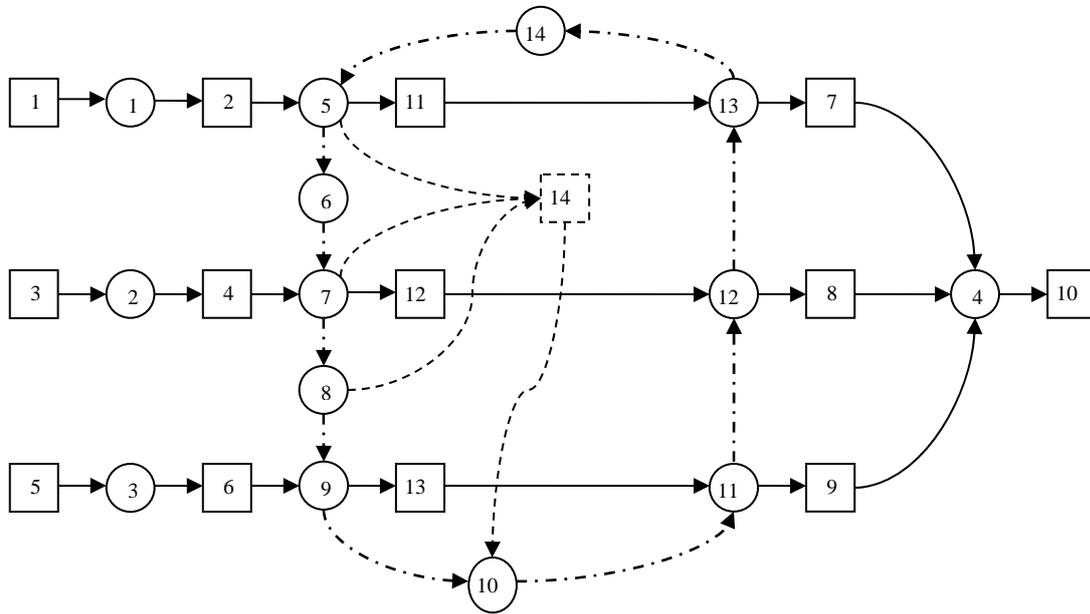


Рисунок 7 – Схема технологического процесса с учетом транспортных операций

Затем происходит переезд транспортного средства к следующему складскому заделу. При этом данная операция не участвует ни в материальном и ни в информационном потоках. Следующим действием является погрузка со складского задела 4. Эта операция может быть выполнена только тогда, если сформирована соответствующая транспортная партия и при ее погрузке на транспортный задел 12 его величина не превысит своего максимально допустимого значения. В противном случае транспортное средство перемещается дальше, выполняя действие 8. Загрузка на следующем складском заделе происходит аналогичным образом и затем осуществляется перемещение транспортного средства из одного цеха в другой, выполняя действие 10 и опустошая полностью информационный задел 14.

Переместившись в цех Б, транспортное средство разгружает груз на заделы 7, 8 и 9 соответственно, не переезжая от места к месту, т. к. они расположены рядом с местом сборки. После разгрузки транспортное средство вновь возвращается в исходное положение к заделу 2. Все операции, связанные с транспортировкой, объединяются в одну комплексную операцию, действия которой выполняются последовательно с ожиданием момента, пока сложатся условия для следующего действия, или без ожидания. Данное различие зависит от заданных параметров комплексной операции.

### **Контрольные вопросы**

- 1 В чем отличие информационного потока от материального?
- 2 Построить график изменения информационного задела, пояснить характер его изменения.

## **Лабораторная работа № 9. Анализ чувствительности и выбор управляемых параметров**

**Цель работы:** продолжить изучение возможностей программной системы имитационного моделирования производственных процессов и научиться использовать ее для выбора факторов, оказывающих наибольшее влияние на эффективность моделируемой системы. Анализ осуществляется на стохастической системе.

**Задание к лабораторной работе.** Используя имитационную модель, разработанную в лабораторной работе № 6, изучить влияние различных внутренних параметров производственного процесса на эффективность процесса.

### **Методические указания к анализу чувствительности.**

При моделировании сложного объекта, у которого множество выходов, описываются потоки различной природы (материальные, информационные, финансовые), формализованное вычисление интегральных показателей крайне сложно. В этом случае их можно легко вычислить, используя возможности Excel. В приведенном примере на рисунке 3 на сноске 3 показан диапазон ячеек с вычислением интегральных выходных параметров. В указанных ячейках записаны соответствующие формулы. Так, в ячейке «B21» записана формула «=B1», как это показано на сноске 1.

При повторных вычислениях все данные этого листа будут обновляться. Для того чтобы сохранить результаты повторных вычислений, необходимо соответствующие выходные параметры собрать в один диапазон и задать ему имя «Результаты». Кроме того, нужно обозначить строку, в которой будут накапливаться желаемые результаты, с помощью ячейки с именем «Строка» (см. рисунок 3 сноску 4).

Запуск модели один раз дает случайные результаты. При повторном запуске при тех же параметрах результаты будут иметь другие значения. Для оценки работы моделируемого объекта целесообразно получить множество результатов при одних и тех же заданных исходных данных и рассчитать их статистические моментные характеристики (средние, дисперсия и др.).

При нажатии кнопки «Один эксперимент» будет запрошено количество повторений и состоятся повторные вычисления.

Влияние различных внутренних параметров моделируемого объекта можно проследить с помощью проведения однофакторного эксперимента. Для этого необходимо создать лист «Однофакторный эксперимент». На нем указать параметры количества повторов и количества выходных параметров, задавая



имя соответствующему диапазону «ПарамАнализа» (рисунок 8 сноска 1), а также наименования и адреса ячеек с выходными параметрами объекта, используемых с листа «Результаты» (рисунок 8 сноска 2).

	A	B	C	D	E	F
1	Количество повторов	50				
2	Количество выходных параметров	3		Критерии (Ссылка, Название)		
3				Результаты!В30	Результаты!В31	Результаты!В32
4	Параметры (Название \ Значения)	Ссылка	Значение	МО Коэф загр опер1	МО Задел 10	Дисп Коэфф опер 1
5	Опорная точка			0,323149605	4,06	0,024891871
6	Количество станков на 1 операции	Структура и параметры!Н10	1	0,310571769	4,14	0,018861185
7	Величина 2 задела	Структура и параметры!J7	2	0,320375581	3,92	0,018183665

Рисунок 8 – Лист с результатами вычислений

Используя результаты однофакторного эксперимента, можно получить информацию о чувствительности выходных параметров к изменению любых внутренних параметров объекта или провести сканирование пространства интересующего управляемого параметра и оценить его влияние на исследуемые выходные параметры.

Для выполнения анализа чувствительности необходимо произвести следующие действия:

- выбрать из множества выходных параметров объекта критерии оценки, обеспечить их вычисление и накопление в процессе имитационного эксперимента;
- обосновать объем репрезентативной выборки получаемых данных, т. е. количества проводимых опытов над имитационной моделью;
- провести заданное количество опытов, подготовить необходимую информацию;
- обработать полученные данные и определить абсолютные и относительные коэффициенты влияния внутренних параметров объекта на критерии оценки;
- обосновать выбор управляемых параметров.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Для чего проводится анализ чувствительности модели?
- 2 Как определяется предел изменения внутренних параметров?
- 3 Построить графики, отражающие зависимости критериев оценки от внутренних параметров. Обосновать выбор управляемых параметров.

## Лабораторная работа № 10. Изучение характера влияния управляемых параметров на критерии оценки функционирования производственного процесса

**Цель работы:** продолжить изучение возможностей программной системы имитационного моделирования производственных процессов и научиться обосновывать выбор множества управляемых параметров исследуемой производственной системы для проведения факторного эксперимента и построения факторной (регрессионной) модели исследуемого объекта.

**Задание к лабораторной работе.** Используя результаты анализа чувствительности, выполненного в лабораторной работе №9, изучить характер влияния выбранных внутренних управляемых параметров на критерии оценки.

### Методические указания.

Для каждого из выбранных внутренних управляемых параметров по модели, построенной в лабораторной работе №6, провести минимум по пять опытов. В каждом опыте должно быть множество запусков модели, обеспечивающих репрезентативность выборки. В каждой точке, полученной в результате проведенного опыта, определить оценки математических ожиданий критериев оценки эффективности и построить графики их зависимости от значений соответствующих внутренних управляемых параметров. Провести анализ построенных характеристик и сделать выводы по обоснованности выбора управляемых параметров.

### Контрольные вопросы

- 1 Как обеспечивается репрезентативность выборки? Как определить количество опытов?
- 2 Как выбрать степень точности оценок математических ожиданий критериев оценки эффективности исследуемого объекта?

## Лабораторная работа № 11. Выбор типа вычислительного эксперимента на имитационной модели

**Цель работы:** продолжить изучение возможностей программной системы имитационного моделирования производственных процессов и научиться обосновывать выбор типа плана вычислительного эксперимента для построения факторной (регрессионной) модели исследуемого объекта.

**Задание к лабораторной работе.** Используя результаты анализа чувствительности, выполненного в лабораторных работах № 9 и 10, выбрать вид регрессионной модели, построить и проверить планы вычислительного эксперимента на отсутствие мультиколлинеарности.



**Методические указания.**

Для выбранного количества факторов, соответствующих внутренним управляемым параметрам, выбрать вид факторных (регрессионных) моделей, которые нужно будет построить в результате вычислительного эксперимента на имитационной модели, и разработать для них необходимые матрицы планирования. Для каждого из полученных планов построить матрицы базисных функций, убедиться в их пригодности для решения задачи построения соответствующих факторных моделей.

**Контрольные вопросы**

- 1 Как определяется размерность матрицы базисных функций?
- 2 Как проверить пригодность базисных функций для построения соответствующих факторных моделей?
- 3 Как определяется количество опытов при выполнении полного факторного эксперимента?
- 4 Как определяется количество опытов при выполнении дробного факторного эксперимента?
- 5 Как определяется количество опытов при выполнении квадратичного эксперимента?

**Лабораторная работа № 12. Построение регрессионной модели на основе полного факторного эксперимента**

**Цель работы:** продолжить изучение возможностей программной системы имитационного моделирования производственных процессов и научиться проводить полнофакторный вычислительный эксперимент и осуществлять построение факторной (регрессионной) модели исследуемого объекта.

**Задание к лабораторной работе.** Используя план полного факторного эксперимента, построенный при выполнении лабораторной работы № 11, провести вычислительный эксперимент и построить факторную модель исследуемого объекта.

**Методические указания.**

Для организации проведения полного факторного эксперимента необходимо создать лист с названием «Многофакторный эксперимент». На данном листе выделить диапазон «РазмерностьЭксп», в котором задать название эксперимента, количество опытов, которые нужно выполнить в порядке проведения эксперимента, количество принятых факторов, количество повторных запусков имитационной модели в каждой точке плана и количество критериев, которые следует фиксировать в процессе эксперимента.

Второй диапазон с именем «УправляемыеПараметры» имеет вид прямоугольной матрицы, в которой первая строка содержит названия параметров, выбранных в качестве управляемых в данном эксперименте. Во второй строке



указываются ссылки (адреса ячеек) на управляемые параметры, расположенные на листе «Структура и параметры», например, «=Структура и параметры!С19». В третьей строчке задаются значения указанных управляемых параметров в центре плана вычислительного эксперимента. В четвертой строчке – плечо изменения величины значений управляемых параметров, т. е. значения, на величину которых будут изменяться значения управляемых параметров в обе стороны при проведении эксперимента.

Третий диапазон – матрица планирования с именем «МатрПлана». Он содержит построенный ранее спектр плана проведения эксперимента в виде нормированных значений управляемых параметров. Размерность матрицы спектра плана должна соответствовать величинам, занесенным в диапазон «РазмерностьЭксп».

Четвертый диапазон под названием «ФактМатрПлана» содержит матрицу с фактическими значениями управляемых параметров, используемых в эксперименте. Значения этой матрицы могут быть получены из матриц «МатрПлана» и «УправляемыеПараметры» путем простейших преобразований.

Четвертый диапазон с именем «КритерииОценки» содержит ссылки на ячейки листа «Результаты», в которых будут располагаться оценки математических ожиданий критериев оценки эффективности исследуемого объекта имитации, полученные в результате проведения каждого отдельного опыта вычислительного эксперимента.

Пятый диапазон – результаты эксперимента. Данный диапазон должен иметь имя «МатрРезультатов» и размерность, соответствующую матрице плана эксперимента. В этой матрице будут отражены результаты вычислительного эксперимента в процессе его проведения.

Процесс проведения эксперимента можно прервать по завершении некоторого количества опытов. При повторном запуске многофакторного эксперимента система продолжит вычислительный эксперимент с прерванной точки.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Как оценить адекватность построенной регрессионной модели на основе полного факторного эксперимента?
- 2 В чем недостаток проведения полного факторного эксперимента?

## **Лабораторная работа № 13. Построение регрессионной модели на основе дробного факторного эксперимента**

**Цель работы:** продолжить изучение возможностей программной системы имитационного моделирования производственных процессов и научиться проводить дробный факторный вычислительный эксперимент и осуществлять построение факторной (регрессионной) модели исследуемого объекта.

**Задание к лабораторной работе.** Используя план дробного факторного эксперимента, построенный при выполнении лабораторной работы № 11, провес-



ти вычислительный эксперимент и построить факторную модель исследуемого объекта.

#### **Методические указания.**

Для выполнения данной лабораторной работы необходимо заполнить лист «Многофакторный эксперимент» по правилам, рассмотренным в лабораторной работе № 12, но для матрицы спектра плана дробного факторного эксперимента, построенного в лабораторной работе № 11.

#### **Контрольные вопросы**

- 1 Как оценить адекватность построенной регрессионной модели на основе дробного факторного эксперимента?
- 2 В чем отличие дробного факторного эксперимента от полного?

### **Лабораторная работа № 14. Построение регрессионной модели на основе квадратичного эксперимента**

**Цель работы:** продолжить изучение возможностей программной системы имитационного моделирования производственных процессов и научиться проводить квадратичный факторный вычислительный эксперимент и осуществлять построение факторной (регрессионной) модели исследуемого объекта.

**Задание к лабораторной работе.** Используя план квадратичного факторного эксперимента, построенный при выполнении лабораторной работы № 11, провести вычислительный эксперимент и построить факторную модель исследуемого объекта.

#### **Методические указания.**

Для выполнения данной лабораторной работы необходимо заполнить лист «Многофакторный эксперимент» по правилам, рассмотренным в лабораторной работе № 12, но для матрицы спектра плана квадратичного факторного эксперимента, построенного в лабораторной работе № 11. Регрессионные модели строятся с помощью метода регрессионного анализа, изученного ранее в дисциплинах «Эконометрика» и «Многомерный регрессионный анализ в экономике».

После получения регрессионных моделей осуществляется проверка их точности путем вычисления значений критериев оценки в точках плана вычислительного эксперимента и сопоставления их с соответствующими значениями, смоделированными в ходе вычислительного эксперимента.

После проверки необходимо дать заключение о качестве полученных факторных моделей и обосновать выбор соответствующей факторной модели для проведения процедуры оптимизации параметров исследуемого объекта.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Как оценить адекватность построенной регрессионной модели на основе квадратичного эксперимента?
- 2 В чем достоинство и недостаток проведения квадратичного эксперимента?

## **Лабораторная работа № 15. Решение оптимизационной задачи с использованием различных стратегий и обоснование управленческого решения**

**Цель работы:** продолжить изучение возможностей программной системы имитационного моделирования производственных процессов и научиться проводить многокритериальную оптимизацию параметров исследуемого объекта на основе аддитивной, мультипликативной и максиминной стратегий формирования целевой функции. Научиться обосновывать управленческие решения по выбору значений управляемых параметров, обеспечивающих наилучшие качества исследуемого объекта.

**Задание к лабораторной работе.** Используя регрессионные уравнения, построенные для каждого критерия оценки, осуществить их аддитивную, мультипликативную и максиминную свертки и сформировать целевые функции. Провести процедуру поисковой оптимизации и получить оптимальные значения искомых управляемых параметров.

Построить сравнительные таблицы результатов, провести анализ расхождений результатов, полученных на основе разных стратегий. Оценить возможности задания управляемых параметров на уровнях, полученных в процессе оптимизации, обосновать принимаемые управленческие решения.

### **Методические указания.**

При осуществлении аддитивной свертки критериев, по которым производится оптимизация параметров исследуемого объекта, на первом шаге необходимо выполнить нормирование значений используемых критериев, т. е. приведение их к безразмерному виду. В качестве нормировочных можно использовать значения критериев в центре плана или их экстремальные значения, полученные в ходе вычислительного эксперимента.

При осуществлении мультипликативной свертки критериев нужно разделить их на две группы: критерии, которые необходимо максимизировать, и критерии, которые необходимо минимизировать. Разделив произведение одних на произведение других, будет получена целевая функция. Данную целевую функцию необходимо максимизировать, если в числителе находятся критерии, требующие максимизации, и минимизировать – в противном случае. Нормирование значений критериев при применении такой стратегии не требуется.



### ***Контрольные вопросы***

- 1 В чем отличие аддитивной, мультипликативной и максиминной стратегий формирования целевой функции?
- 2 Как учитывать разную значимость критериев при их свертке?
- 3 В каком случае нельзя применять мультипликативную стратегию формирования целевой функции?

### **Список литературы**

- 1 **Бабина, О. И.** Имитационное моделирование процессов планирования на промышленном предприятии / О. И. Бабина. – Красноярск : Сибирский федеральный ун-т, 2014. – 152 с.
- 2 **Власов, М. П.** Моделирование экономических систем и процессов : учебное пособие / М. П. Власов. – Москва : ИНФРА-М, 2013. – 336 с.
- 3 **Золотухина, Е. Б.** Моделирование бизнес-процессов / Е. Б. Золотухина. – Москва : КУРС ; ИНФРА-М, 2017. – 79 с.
- 4 **Кобелев, Н. Б.** Имитационное моделирование объектов с хаотическими факторами : учебное пособие / Н. Б. Кобелев. – Москва : КУРС ; ИНФРА-М", 2016. – 192 с.
- 5 **Лычкина, Н. Н.** Имитационное моделирование экономических процессов : учебное пособие / Н. Н. Лычкина. – Москва : ИНФРА-М, 2014. – 254 с.
- 6 **Решмин, Б. И.** Имитационное моделирование и системы управления : учебно-практическое пособие / Б. И. Решмин. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2016. – 74 с.
- 7 **Токарев, К. Е.** Имитационное моделирование экономических процессов : учебное пособие / К. Е. Токарев. – Волгоград : Волгоградский гос. аграрный ун-т, 2015. – 88 с.

