

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Экономика и управление»

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

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



Могилев 2018



УДК 658.5: 004
ББК 65.29: 32.973
И 52

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Экономика и управление» «20» сентября 2018 г.,
протокол № 2

Составитель ст. преподаватель Е. Г. Галкина

Рецензент канд. экон. наук, доц. Н. С. Желток

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

Учебно-методическое издание

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

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

Общие сведения о программной системе имитационного моделирования.....	4
Лабораторная работа № 1. Изучение системы имитационного моделирования. Разработка простейшей модели детерминированной системы.....	9
Лабораторная работа № 2. Подбор параметров для описания случайных процессов.....	9
Лабораторная работа № 3. Моделирование простейшего линейного производственного процесса.....	11
Лабораторная работа № 4. Моделирование производственных процессов с входными потоками.....	11
Лабораторная работа № 5. Моделирование разветвленных производственных процессов.....	12
Лабораторная работа № 6. Моделирование производственных процессов с транспортными операциями.....	13
Лабораторная работа № 7. Моделирование производственных процессов с совмещением рабочих мест.....	15
Лабораторная работа № 8. Моделирование производственных процессов с использованием информационных и финансовых потоков.....	15
Лабораторная работа № 9. Анализ чувствительности и выбор управляемых параметров.....	19
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.....	21
Лабораторная работа № 12. Построение регрессионной модели на основе полного факторного эксперимента.....	21
Лабораторная работа № 13. Построение регрессионной модели на основе дробного факторного эксперимента.....	23
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



Общие сведения о программной системе имитационного моделирования

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.

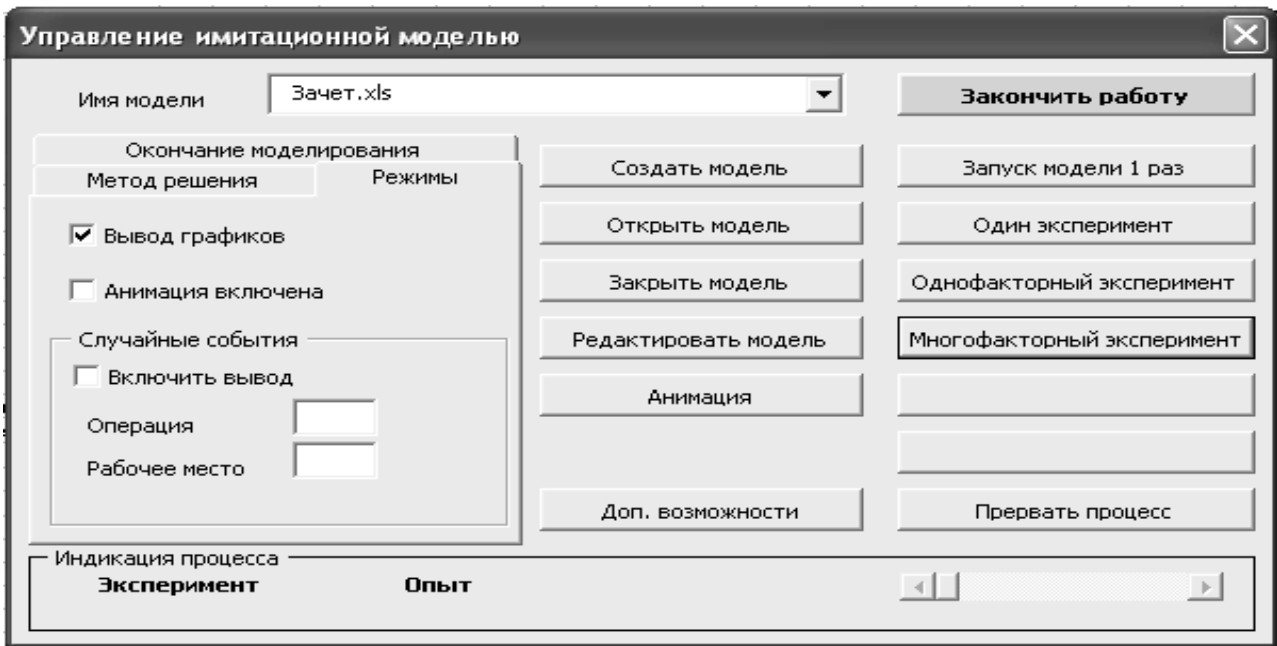


Рисунок 1 – Внешний вид главной формы программной системы

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

Общий вид страницы с описанием модели представлен на рисунке 2. 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 и 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.

кроме входных и выходных, увеличивается за счет входящих операций и уменьшается за счет выходящих. В один задел может входить, а также выходить из него любое количество операций.

В качестве параметров заделов необходимо задать его величину на момент запуска модели и тип этого 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. Области описания заделов требуется задать имя «Заделы».

Взаимосвязь операций и заделов описывается с помощью области, именуемой на листе описания «МатрСвязиОпераций». В этой матрице в столбце с номером соответствующего задела в строчке входящей операции необходимо ввести отрицательное значение, а в строке исходящей операции – положительное. В строке 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».

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 осуществляются в определенной последовательности. Последовательность их работы задается в соответствующем столбце. Значение «1» задается операции, которая будет реализована первой среди объединенных в данный комплекс.

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 1. 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.



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.

Операция	Номер станка	Время работы	Номер потенциала	Величина потенциала	Кэфф загрузки по операциям	Кэфф загрузки комплекса 1
1 операция Деталь 1	1	481,0507		1	3	1
2 операция Деталь 1	1	461,0507		2	1	0,95842
3 операция Деталь 2	1	481,0507		3	5	1
4 операция Деталь 2	1	445,0507		4	4	0,92516
Погрузка	1	14,00834		5	1	
Переезд	1	89,33764		6	5	
Разгрузка	1	0,524576		7	0	
Возврат	1	91,37278		8	0	
Сборка	1	312,9428		9	0	0,65054
				10	0	
				11	4	

Название	Время	Кэфф. Загрузки	Задел 9
4	481,0507	1	15
Время	481,0507	485,3404	480,1573
Кэфф. Загрузки опер 1			
Задел 9			

Рисунок 3 – Лист с результатами вычислений

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, следует 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 получить 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 его проведения необходимо создать лист «Однофакторный эксперимент». На нем указать параметры количества повторов и количества выходных параметров, задавая имя соответствующему диапазону «ПарамАнализа» (рисунок 4, сноска 1), а также наименования и адреса ячеек с выходными параметрами объекта, используемых с листа «Результаты» (см. рисунок 4 сноску 2).

	A	B	C	D	E	F
1	Количество повторов	50				
2	Количество выходных параметров	3		Критерии (Ссылка, Название)		
3				Результаты!B30	Результаты!B31	Результаты!B32
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!H10	1	0,310571769	4,14	0,018861185
7	Величина 2 задела	Структура и параметры!J7	2	0,320375581	3,92	0,018183665

Рисунок 4 – 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 проведения многофакторного эксперимента требуется обосновать вид эксперимента и построить матрицу спектра плана на листе «Многофакторный эксперимент», который показан на рисунке 5.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Тип эксперимента	Полный	"Размерность Эксп"										
2	Количество опытов	14											
3	Количество факторов	3											
4	Количество повторов	50											
5	Количество критериев	3											
6		Управляемые параметры "Управляемые Параметры"								Критерии оценки "Критерии Оценки"			
7	Наименование параметра	a	b	c						d	e	f	
8	Ссылка на параметр	Структур	Структура	Структура	и параметры!C19					Результат	Результат	Результаты!B32	
9	Центр плана	2	120	70									
10	Плечо	1	20	10									
11													
12		Матрица планирования нормированная				Матрица планирования фактическая				Матрица результатов эксперимента			
13		"МатрПлана"				"ФактМатрПлана"				"МатрРезультатов"			
14	1	-1	-1	-1		1	100	60		0,318258	5,68	0,024505	
15	2	1	-1	-1		3	100	60		0,688588	5,34	0,035533	
16	3	-1	1	-1		1	140	60		0,317805	5,12	0,021554	
17	4	1	1	-1		3	140	60		0,693927	4,66	0,035566	
18	5	-1	-1	1		1	100	80		0,314939	4,18	0,019474	
19	6	1	-1	1		3	100	80		0,686961	3,96	0,029294	
20	7	-1	1	1		1	140	80		0,312329	3,6	0,023285	
21	8	1	1	1		3	140	80		0,689207	3,54	0,03459	

Рисунок 5 – Описание многофакторного эксперимента

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. Построить и проанализировать графики, иллюстрирующие поведение имитируемого процесса во времени.

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.

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 – 2 станка, на третьей операции также используется один станок.

В течение рабочей смены были произведены замеры времени работы на соответствующих станках. Результаты представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – 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 3 – 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

Для перевозки деталей со второй операции на третью используется транспортное средство. При этом замеры времени перевозки следующие (таблицы 4 и 5).

Таблица 4 – Замеры времени перевозки деталей со 2-й операции на третью

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 5 – 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 6.

Таблица 6 – 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.

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. Построить и проанализировать графики, иллюстрирующие поведение имитируемого процесса во времени, 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).

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.

Методические указания для описание входящих потоков.

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

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 будут 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. 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.

Таблица 7 – Варианты задания периода моделирования

Условное обозначение	Описание
H или «час»	Моделируется один час
S или «смена»	Одна смена восемь часов
RD или «раб. день»	В зависимости от количества смен
N или «неделя»	Пять дней
D или «декада»	Восемь рабочих дней
M или «месяц»	22 рабочих дня
K или «квартал»	Три месяца
G или «год»	Четыре квартала

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. Построить графики, иллюстрирующие поведение имитируемого процесса во времени. 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 6).

Представленный объект 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 представлены треугольниками с соответствующими номерами. Указанные операции взаимодействуют с соответствующими межоперационными заделами, представленными на рисунке прямоугольниками с соответствующими номерами.

На сборочной операции осуществляется сборка деталей, поступающих с первых трех технологических операций. Условием выполнения 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.

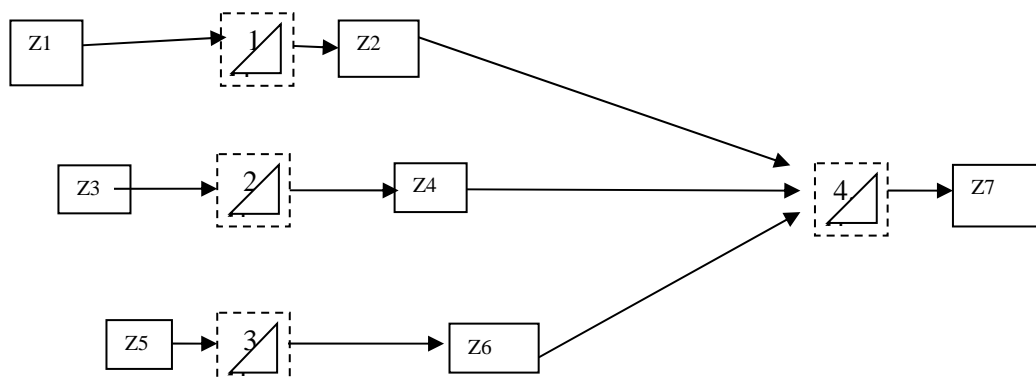


Рисунок 6 – Схема производственного процесса

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. Построить графики, иллюстрирующие поведение имитируемого процесса во времени. 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 7).

Представленный объект 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 представлены треугольниками с соответствующими номерами. Указанные операции взаимодействуют с соответствующими межоперационными заделами, представленными на рисунке прямоугольниками с соответствующими номерами.

Кружками на рисунке представлены элементы транспортного потока,

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.

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.

Все длительности производственных операций и операций являются случайными величинами, подчиненными соответствующим законам распределения.

Задание к лабораторной работе. Разработать имитационную модель сложного производственного процесса с использованием информационных потоков. Построить графики, иллюстрирующие поведение имитируемого процесса во времени. 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.

При моделировании технологических процессов их описание осуществляется с помощью технологических операций, которые переносят материальные потоки между межоперационными заделами. На рисунке 8 показана такая технологическая сборочная операция, которая начинает работу, если на входных заделах 1 и 2 достаточно заготовок для ее выполнения.



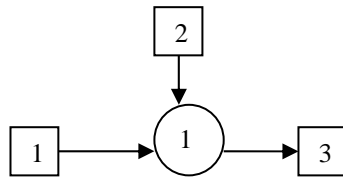


Рисунок 8 – Схема технологической сборочной операция

Начало ее выполнения сопровождается уменьшением объемов входных заделов 1 и 2 на величины, соответствующие моделируемому технологическому процессу. Длительность выполнения операции является случайной величиной и формируется на основе закона распределения плотности вероятности с параметрами, определяемыми технологической операцией. По окончании выполнения операции задел 3 увеличивается на единицу.

Кроме материальных потоков, в модели можно использовать информационные потоки, которые могут передавать информацию отдельным элементам системы о происходящих в ней событиях. На рисунке 9 изображен технологический процесс, который обеспечивает передачу материального потока между заделами 1 и 2.

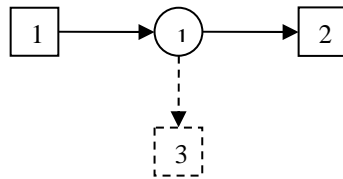


Рисунок 9 – Информационный поток

Межоперационный задел 3 на этом рисунке является информационным. На нем скапливается информация о том, сколько изделий прошло через операцию 1. Используя информационные потоки, можно организационно управлять течением технологического процесса. На рисунке 10 представлен технологический процесс, состоящий из трех операций, выполняемых последовательно и переносящих материальный поток от начального задела 1 через межоперационные заделы 2 и 3 к конечному заделу 4, на котором скапливаются готовые изделия.

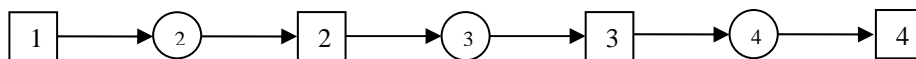


Рисунок 10 – Схема технологического процесса

Организационно представленная система обслуживается одним человеком и работает следующим образом. В течение некоторого времени работник выполняет только операцию 1 и создает задел заданной величины на межоперационном заделе 2. Затем переходит на другое рабочее место и выполняет операции 2 и 3 до тех пор, пока не израсходует задел 2.

Для того чтобы смоделировать такую работу системы, необходимо все три операции объединить в одну комплексную операцию и добавить еще один информационный поток. Преобразованная схема представлена на рисунке 11.

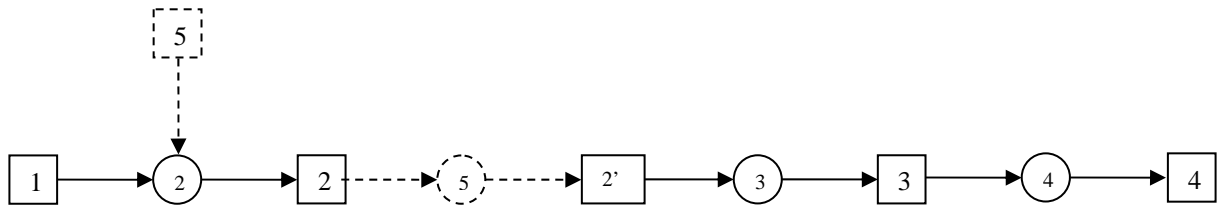


Рисунок 11 – Преобразованная схема технологического процесса

Информационный задел 5 первоначально имеет величину, равную необходимому первоначальному заделу. Операция 1 при выполнении берет заготовку с задела 1 и информацию с задела 5, обрабатывает их и поштучно передает на задел 2. Операция 5 идентифицируется с переходом работника на другое рабочее место, выполняется за достаточно короткое время и как бы переносит с задела 2 на задел 2' партию деталей в размере заданного изготовленного задела. Таким образом, пока на заделе 2 не скопится нужная партия, операции 2 и 3 работать не будут. После того как операция 1 исчерпает информационный задел 5, перестанут складываться благоприятные условия для ее запуска, даже несмотря на то, что на заделе 1 еще будут оставаться заготовки. После этого один раз выполнится операция 5 и будут поочередно выполняться операции 2 и 3 до тех пор, пока не будет исчерпан задел 2'.

Использование информационных потоков при моделировании транспортных операций.

На рисунке 12 показан технологический процесс, происходящий территориально в разных местах, например, обработка (операции 1, 2 и 3) – в цехе А, сборка (операция 4) – в цехе Б.

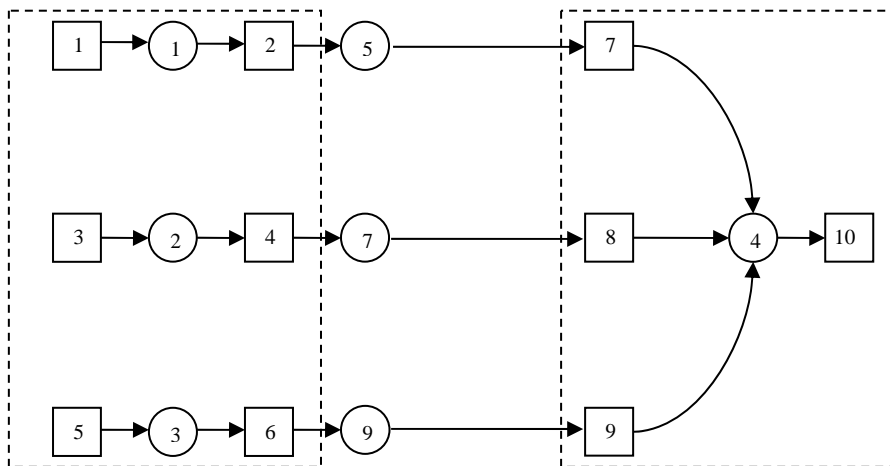


Рисунок 12 – Схема технологического процесса, происходящего территориально в двух цехах

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. В этом случае процесс загрузки транспортных средств будет зависеть от соотношения времени, затрачиваемого на перевозку партии изделий, и времени на ее изготовление. Это 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, т. к. 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 невозможно.

Создать указанное управление в описанной системе можно путем разбиения транспортных операций на составляющие элементы и введением информационного потока (рисунок 13).

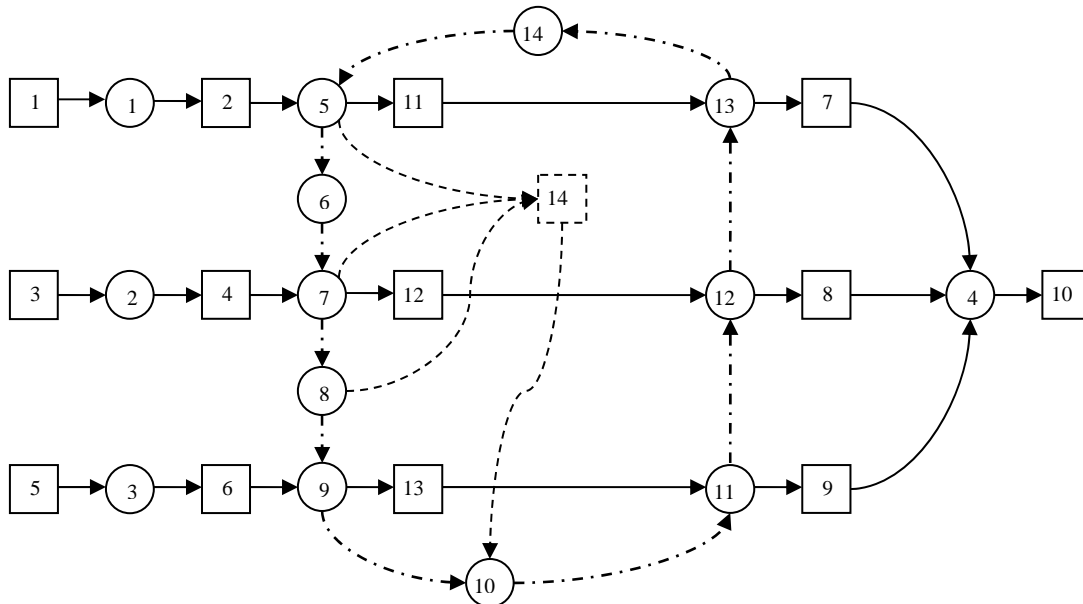


Рисунок 13 – Схема технологического процесса с учетом транспортных операций

Транспортное средство, объезжая складские заделы, выполняет такие действия, как 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, по массе или по габариту. Затем происходит переезд транспортного средства к следующему складскому заделу. При этом данная операция не участвует ни в материальном, ни в информационном потоках. Следующим действием является погрузка со складского задела 4. Эта операция может быть выполнена, только 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, а затем происходит 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.

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. Для выполнения анализа чувствительности необходимо выполнить 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.

Выбор критериев оценки осуществляется исходя из важности выходных параметров для оценки эффективности исследуемого объекта. Для производственной системы в качестве критериев оценки могут использоваться следующие выходные параметры: объем выполненных за смену готовых изделий, объем незавершенного производства, средний коэффициент загрузки оборудования, средняя занятость работников и др.

Для их вычисления используется лист результатов имитационного моделирования, представленный на рисунке 3. В диапазоне под именем «Результаты» (см. рисунок 3 сноску 3) расположить формулы для их вычисления. Для накопления этих данных в результате проведения множества опытов необходимо отметить строку, начиная с которой они будут выводиться (см. рисунок 3 сноску 4).

Для определения количества опытов, обеспечивающих репрезентативную выборку, следует запустить имитационную модель множество раз, например 200. Для этого используется кнопка «Один эксперимент» на интерфейсной форме (см. рисунок 1). По полученным данным необходимо построить график изменения средних значений критериев оценки от количества опытов и обосновать необходимое и достаточное количество повторяемых опытов при одних и тех же значениях внутренних параметров.

После определения необходимого количества повторений нужно провести однофакторный эксперимент для каждого из анализируемых внутренних параметров. Для этого следует создать и оформить лист под названием «Однофакторный эксперимент», как это показано на рисунке 4. После проведения заданного количества опытов на данном листе будут собраны необходимые данные для анализа чувствительности.

Для выбора управляемых параметров нужно произвести ранжирование относительных коэффициентов чувствительности критериев оценки от внутренних параметров и выбрать большие из них.

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. Построить



графики, отражающие зависимости критериев оценки от внутренних управляемых параметров.

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.

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 необходимо 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.

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» и оформить его в соответствии с требованиями, представленными на рисунке 5. На данном листе следует выделить диапазон с именем «РазмерностьЭксп», в котором необходимо 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 необходимо 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», представленном на рисунке 5, например «Структура и параметры!C19». В третьей строке задаются значения указанных управляемых параметров в центре плана вычислительного эксперимента. В четвертой строке – 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 матрицы «МатрПлана» и «УправляемыеПараметры» путем простейших преобразований.

Пятый 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.

Шестой диапазон – результаты эксперимента. Этот 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 может быть прерван после проведения некоторого количества опытов. При повторном запуске многофакторного эксперимента система продолжит вычислительный эксперимент с прерванной точки.

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

Цель работы: продолжить изучение возможностей программной системы имитационного моделирования производственных процессов, 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, провести вычислительный эксперимент и построить факторную модель исследуемого объекта.

Методические указания. Для выполнения этой 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.

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

Цель работы: продолжить изучение возможностей программной системы имитационного моделирования производственных процессов, 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 этой 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 № 14. 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, полученными 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.



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, научиться проводить многокритериальную оптимизацию параметров исследуемого объекта на основе аддитивной, мультипликативной и максиминной стратегии 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 осуществляется оптимизация параметров исследуемого объекта, на первом шаге необходимо осуществить нормирование значений используемых критериев, т. е. приведение их к безразмерному виду. В качестве нормировочных значений можно использовать значения критериев в центре плана или их экстремальные значения, полученные в ходе вычислительного эксперимента.

При осуществлении мультипликативной свертки критериев необходимо разделить их на две группы: критерии, которые необходимо максимизировать, и критерии, которые необходимо минимизировать. Разделив произведение одних на произведение других, получим целевую функцию. Полученную целевую функцию необходимо максимизировать, если в числителе находятся критерии, требующие максимизации, или минимизировать – в противном случае. Нормирование значений критериев при применении данной стратегии не требуется.

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 **Кобелев, Н. Б.** Имитационное моделирование объектов с хаотическими факторами : учебное пособие / Н. Б. Кобелев. – Москва : ИНФРА-М, 2016. – 192 с.

4 **Лычкина, Н. Н.** Имитационное моделирование экономических процессов : учебное пособие / Н. Н. Лычкина. – Москва : ИНФРА-М, 2014. – 254 с.

5 **Решмин, Б. И.** Имитационное моделирование и системы управления : учебно-практическое пособие / Б. И. Решмин. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. – 74 с.

6 **Токарев, К. Е.** Имитационное моделирование экономических процессов : учебное пособие / К. Е. Токарев. – Волгоград : ФГБОУ ВПО Волгоградский гос. аграрный ун-т, 2015. – 88 с.

