

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор, проректор по
УР

_____ А.Е. Рудин

Рабочая программа дисциплины

Б1.В.13

Имитационное моделирование экономических процессов и систем

Учебный план: 2024-2025 09.03.03 ИИТА ПИЭ ЗАО №1-3-124.plx

Кафедра: **36** Информационных технологий

Направление подготовки:
(специальность) 09.03.03 Прикладная информатика

Профиль подготовки: Прикладная информатика в экономике
(специализация)

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: заочная

План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа обучающихся		Сам. работа	Контроль, час.	Трудоёмкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации	
	Лекции	Практ. занятия					
4	УП	4	8	159	9	5	Экзамен
	РПД	4	8	159	9	5	
5	УП		8	91	9	3	Экзамен
	РПД		8	91	9	3	
Итого	УП	4	16	250	18	8	
	РПД	4	16	250	18	8	

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 09.03.03 Прикладная информатика, утверждённым приказом Минобрнауки России от 19.09.2017 г. № 922

Составитель (и):

доктор технических наук, Профессор
кандидат технических наук, Доцент

Пименов Виктор Игоревич
Кравец Татьяна
Александровна

От кафедры составителя:
Заведующий кафедрой информационных технологий

Пименов Виктор Игоревич

От выпускающей кафедры:
Заведующий кафедрой

Пименов Виктор Игоревич

Методический отдел:

1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цель дисциплины: Сформировать компетенции обучающегося в области моделирования экономических процессов с применением методов имитационного моделирования

1.2 Задачи дисциплины:

- ознакомить с методами моделирования экономических процессов;
- ознакомить с методами имитационного моделирования и основными направлениями его применения;
- показать практическое применение имитационных моделей для оценки экономических показателей;
- научить выполнять постановку задачи исследования экономических процессов, строить математические модели, проводить статистическую обработку результатов;
- использовать пакеты прикладных программ для разработки имитационных моделей экономических процессов

1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Предварительная подготовка предполагает создание основы для формирования компетенций, указанных в п. 2, при изучении дисциплин:

Экономический анализ деятельности фирмы

Экономика

Теория систем и системный анализ

2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

ПК-5: Способен адаптировать бизнес-процессы заказчика к возможностям экономической информационной системы
--

Знать: Теоретические основы применения имитационного моделирования; основные типы задач, решаемых методами имитационного моделирования; статистические методы получения и обработки данных

Уметь: Выполнять постановку задачи исследования экономических процессов; строить математические модели для решения задачи с применением информационных технологий; использовать инструменты современных программных продуктов имитационного моделирования, автоматизирующих проведение статистической обработки результатов испытаний
--

Владеть: Навыками разработки имитационных моделей экономических процессов; применения методов математического и имитационного моделирования; опытом использования современных программных средств имитационного моделирования
--

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа		СР (часы)	Инновац. формы занятий
		Лек. (часы)	Пр. (часы)		
Раздел 1. Основные понятия имитационного моделирования	4				
Тема 1. Предмет и задачи имитационного моделирования. Виды имитационного моделирования. Аналитическая и имитационная модели. Время в моделировании. Практическое занятие: Решение задач методом статистических испытаний в MS Excel.		1	1	20	
Тема 2. Последовательность разработки имитационных моделей. Верификация, валидация, адекватность модели. Отличительные особенности имитационного моделирования. Проблемы имитационного моделирования. Практическое занятие: Оценка числа розыгрышей и точности вычисления.		1	1	20	
Раздел 2. Модели описания причинно-следственных связей					
Тема 3. Модель роста выходного показателя. Конечно-разностные уравнения. Модель эффективности рекламы. Модель развития финансовой пирамиды. Модель «Хищник-Жертва». Практическое занятие: Определение надежности системы с использованием инструментальной среды автоматизированного проектирования		1	1	30	
Тема 4. Проведение экспериментов с моделью системы. Отличительные особенности имитационного моделирования. Практическое занятие: Управление запасами с использованием инструментальной среды автоматизированного проектирования.			1	30	
Раздел 3. Методы и средства имитационного моделирования					
Тема 5. Идея метода статистических испытаний Монте-Карло. Оценка числа розыгрышей и точности вычисления. Анализ продолжительности прогонов Практическое занятие: Выбор стратегии ремонта с использованием инструментальной среды автоматизированного проектирования. Моделирование системы массового обслуживания.		1	2	30	

<p>Тема 6. Языки и среды построения имитационных моделей. Специализированные языки имитационного моделирования. Инструментальные среды и средства визуального моделирования</p> <p>Практическое занятие: Имитационное моделирование инвестиционных рисков. Исследование прибыли фирмы с помощью имитационной модели. Моделирование сервисного обслуживания потребителей</p>		2	29		
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)	4	8	159		
Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен)		2,5	6,5		
Раздел 4. Дискретно-событийное моделирование в инструментальной среде Anylogic					
<p>Тема 7. Основные подходы имитационного моделирования: дискретно-событийное моделирование, системная динамика, агентное моделирование. Современная инструментальная среда Anylogic. Дискретно-событийное моделирование, библиотека моделирования процессов. Заявка, задержка, очередь, ресурсы. Создание пользовательского типа заявки. Виды вытеснения заявок. Сбор статистики. Простой эксперимент.</p> <p>Практическое занятие: Модель банка. Модификация готовой модели по заданию</p>	5	1	10		
<p>Тема 8. Дискретно-событийное моделирование. Создание пользовательского типа заявки. Виды вытеснения заявок. Сбор статистики.</p> <p>Практическое занятие: Создание модели колл-центра</p>	5	1	10		
<p>Тема 9. Создание моделей с элементами разметки пространства (путь, местоположение, зоны хранения). Объекты библиотеки моделирования процессов для перемещения заявок и ресурсов в пространстве. Создание заявок методом inject, создание партии заявок. Объекты захвата и освобождения ресурсов. Движущиеся, переносимые и статические ресурсы. Использование камер.</p> <p>Практические занятия: Модель завода Разработка модели офтальмологии Модель цеха-склада</p>	5	1	10		
Раздел 5. Использование специализированных библиотек для создания моделей в среде Anylogic					

Тема 10. Пешеходная библиотека. Области и условия перемещения пешеходов. Объекты пешеходной библиотеки для создания, перемещения и задержки пешеходов. Карта плотности потока пешеходов. Особенности создания гибридных моделей с пешеходной библиотекой. Практическое занятие: Разработка модели в пешеходной библиотеке		2	15	
Тема 11. Железнодорожная библиотека. Принципы построения модели в железнодорожной библиотеке. Объекты библиотеки для создания, перемещения и задержки поездов. Автомобильная библиотека в новых версиях Anylogic. Модель в железнодорожной библиотеке		1	15	
Раздел 6. Агентное моделирование в инструментальной среде Anylogic				
Тема 12. Агентное моделирование. Создание популяции агентов. Моделирование поведения агентов. Диаграмма состояний для моделирования поведения агентов. Калибровочный эксперимент. Практическое занятие: Агентная модель распространения эпидемии. Агентная модель распространения нового продукта.		1	10	
Тема 13. ГИС пространство в агентных моделях. Работа с базами данных. Методы перемещение агентов в пространстве. Java для Anylogic. Инструмент диаграммы действий. Пример агентной модели в ГИС пространстве "Цепочка поставок".		1	21	
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		8	91	
Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен)		2,5	6,5	
Всего контактная работа и СР по дисциплине		25	263	

4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовое проектирование учебным планом не предусмотрено

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5.1 Описание показателей, критериев и системы оценивания результатов обучения

5.1.1 Показатели оценивания

Код компетенции	Показатели оценивания результатов обучения	Наименование оценочного средства
ПК-5	Формулирует сущность и принципы использования методов имитационного моделирования, применяемые методы статистической оценки результатов исследования.	Вопросы устного собеседования
	Выполняет постановку задачи, разрабатывает математическую модель, проводит моделирование и статистическую обработку результатов исследования с применением современных инструментальных средств имитационного моделирования.	
	Демонстрирует использование современных программных средств имитационного моделирования при решении	Практико-ориентированные задания

5.1.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
5 (отлично)	Полный, исчерпывающий ответ, явно демонстрирующий глубокое понимание предмета и широкую эрудицию в оцениваемой области. Критический, оригинальный подход к материалу.	
4 (хорошо)	Ответ полный, основанный на проработке всех обязательных источников информации. Подход к материалу ответственный. Ответ стандартный, в целом качественный, основан на всех обязательных источниках информации. Присутствуют небольшие пробелы в знаниях или несущественные ошибки.	
3 (удовлетворительно)	Ответ неполный, воспроизводит в основном только лекционные материалы, без самостоятельной работы с рекомендованной литературой. Демонстрирует понимание предмета в целом, без углубления в детали. Присутствуют существенные ошибки или пробелы в знаниях по некоторым темам, незнание (путаница) важных терминов.	
2 (неудовлетворительно)	Неспособность ответить на вопрос без помощи экзаменатора. Незнание значительной части принципиально важных элементов дисциплины. Многочисленные грубые ошибки. Непонимание заданного вопроса. Неспособность сформулировать хотя бы отдельные концепции дисциплины. Попытка списывания, использования неразрешенных технических устройств или пользования подсказкой другого человека (вне зависимости от успешности такой попытки).	

5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

5.2.1 Перечень контрольных вопросов

№ п/п	Формулировки вопросов
Курс 4	
1	Предмет и задачи имитационного моделирования. Основные виды моделей.
2	Понятие имитационного моделирования. Виды имитационного моделирования.
3	Инструментальные средства имитационного моделирования.
4	Последовательность разработки имитационных моделей.
5	Решение задач методом Монте-Карло. Идея метода статистических испытаний.
6	Оценка числа розыгрышей и точности вычисления.
7	Оценивание доверительного интервала выбранного показателя эффективности.
8	Влияние продолжительности прогонов на точность вычислений.
9	Время в моделировании.
10	Оценка качества имитационных моделей: верификация, валидация, адекватность.
11	Проблемы имитационного моделирования.
12	Примеры моделей для описания причинно-следственных связей. Модель роста выходного показателя.
13	Примеры моделей для описания причинно-следственных связей. Конечно-разностные уравнения.
14	Модель эффективности рекламы.
15	Модель развития финансовой пирамиды.

16	Модель «Хищник-Жертва».
17	Отличительные особенности имитационного моделирования.
18	Имитирование случайного фактора с помощью розыгрыша при оценивании площади круга.
19	Имитирование случайного фактора с помощью розыгрыша при определении надежности системы.
20	Имитирование случайного фактора с помощью розыгрыша при управлении запасами.
21	Имитирование случайного фактора с помощью розыгрыша при выборе стратегии ремонта.
22	Имитирование случайного фактора с помощью розыгрыша при исследовании прибыли фирмы.
Курс 5	
23	Имитационное моделирование. Дискретно-событийное моделирование, системная динамика, Агентное моделирование
24	Метрики дискретно-событийных моделей
25	Основная библиотека моделирования процессов в инструментальной среде Anylogic
26	Заявка в дискретно-событийной модели. Виды создания заявки (с заданной интенсивностью, случайным образом по заданному закону распределения, методом inject)
27	Создание задержек
28	Объект ресурсы. Виды ресурсов. Использование ресурсов в моделях
29	Простой эксперимент в инструментальной среде Anylogic
30	Сбор статистики. Использование диаграмм
31	Сбор статистики. Использование гистограмм
32	Создание моделей с использованием разметки пространства (путь, местоположение, зоны хранения)
33	Методы перемещения заявок и ресурсов по разметке пространства
34	Захват и прикрепление (освобождение и открепление) ресурсов
35	Метрики пешеходных моделей
36	Принципы создания пешеходной модели
37	Блоки перемещения, задержек и ожидания заявок в пешеходной модели
38	Карта плотности потока пешеходов
39	Принципы создания гибридных моделей с пешеходной библиотекой
40	Метрики моделей железнодорожной библиотеки
41	Принципы создания модели на основе железнодорожной библиотеки. Использование разметки пространства, элементы разметки
42	Описание типового процесса с использованием базовых блоков
43	Методы перемещения, изменения направления движения и задержек заявок в модели на основе железнодорожной библиотеки
44	Агентное моделирование. Основные принципы построения модели
45	Создание популяции агентов
46	Виды пространства для размещения агентов
47	Технологии моделирования поведения агентов
48	Пользовательский эксперимент. Калибровка данных
49	Пользовательский эксперимент. Эксперимент с варьированием параметров

5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено

5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

Типовые практико-ориентированные задания представлены в Приложении к данной РГД

5.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности)

5.3.1 Условия допуска обучающегося к промежуточной аттестации и порядок ликвидации академической задолженности

Проведение промежуточной аттестации регламентировано локальным нормативным актом СПбГУПТД «Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся»

5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная Письменная Компьютерное тестирование Иная

5.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

В течение семестров выполняются контрольные работы.

Экзамен проходит в компьютерном классе. При проведении экзамена не разрешается пользоваться учебными материалами.

Время на подготовку ответа экзаменационного билета составляет 30 минут, время на выполнение задания экзаменационного билета с применением вычислительной техники составляет 20 минут.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1 Учебная литература

Автор	Заглавие	Издательство	Год издания	Ссылка
6.1.1 Основная учебная литература				
Лихтенштейн, В. Е., Росс, Г. В.	Математическое моделирование экономических процессов и систем	Саратов: Ай Пи Эр Медиа	2018	http://www.iprbookshop.ru/74969.html
Салмина, Н. Ю.	Имитационное моделирование	Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Эль Контент	2015	http://www.iprbookshop.ru/70012.html
Аксянова, А. В., Валеева, А. Н., Валеева, Д. Н., Гумеров, А. М.	Математическое моделирование экономических процессов	Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет	2016	http://www.iprbookshop.ru/62188.html
Ефромеева, Е. В., Ефромеев, Н. М.	Имитационное моделирование: основы практического применения в среде AnyLogic	Саратов: Вузовское образование	2020	https://www.iprbookshop.ru/86701.html
Боев, В. Д.	Концептуальное проектирование систем в AnyLogic и GPSS World	Москва: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Эр Медиа	2021	https://www.iprbookshop.ru/102016.html
Грачева, М. В., Черемных, Ю. Н., Туманова, Е. А.	Моделирование экономических процессов	Москва: ЮНИТИ-ДАНА	2015	http://www.iprbookshop.ru/52067.html
6.1.2 Дополнительная учебная литература				
Мицель, А. А., Грибанова, Е. Б.	Сборник задач по имитационному моделированию экономических процессов	Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники	2016	http://www.iprbookshop.ru/72177.html
Журавлева, Т. Ю.	Практикум по дисциплине «Имитационное моделирование»	Саратов: Вузовское образование	2015	http://www.iprbookshop.ru/27380.html
Кравец Т. А.	Статистические методы обработки экспериментальных данных	СПб.: СПбГУПТД	2018	http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2018391

Кравец Т. А.	Моделирование экономических процессов и систем	СПб.: СПбГУПТД	2017	http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=201722
Суздалов Е. Г., Кравец Т. А., Александрова Н. Л.	Теория систем и системный анализ	СПб.: СПбГУПТД	2015	http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=3050

6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

Информационный ресурс по имитационному моделированию [Электронный ресурс]. URL: <https://www.anylogic.ru/>

Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Раздел. Информатика и информационные технологии» [Электронный ресурс]. URL: http://window.edu.ru/catalog/?p_rubr=2.2.75.6

Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>

6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

Mathcad Education – University Edition Term

MicrosoftOfficeProfessional

Microsoft Windows Professional Upgrade Академическая лицензия

NetOp School 6

Java Development Kit

6.4 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аудитория	Оснащение
Лекционная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска
Компьютерный класс	Мультимедийное оборудование, компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду

Приложение

рабочей программы дисциплины “Имитационное моделирование экономических процессов и систем”

по направлению подготовки 09.03.03 Прикладная информатика
наименование ОП (профиля): Прикладная информатика в экономике

5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания

№ п/п	Условия типовых практико-ориентированных заданий
	Семестр 3
	<p>Задача</p> <p>Фирма рассматривает инвестиционный проект по производству продукта «А». Проект рассчитан на $T = 5$ лет.</p> <p>Первоначальные инвестиции (в момент $t = 0$) составили $I_0 = 4200$ условных денежных единиц, затем в моменты $t = 1, \dots, T$ предполагаются поступления – чистые денежные потоки (<i>Net Cash Flow</i>) NCF_t. В качестве критерия качества инвестиционного проекта возьмем чистую приведенную (к сегодняшнему дню) стоимость NPV (<i>Net Present Value</i>)</p> $NPV = \sum_{t=1}^T \frac{NCF_t}{(1+r)^t} - I_0. \quad (2.1)$ <p>Дисконтный множитель $\frac{1}{1+r}$ пересчитывает величину поступления X_1 через год, к $X_0 = \frac{1}{1+r} X_1$, т. е. к её нынешней эквивалентной величине. Действительно, положив X_0 в банк со ставкой r, через год будет величина $X_1 = (1+r)X_0$. Через 2 года $X_2 = (1+r)X_1 = (1+r)^2 X_0$, т. е. величина X_2 эквивалентна нынешней $X_0 = \frac{1}{(1+r)^2} X_2$ и т. д.; r – норма дисконта (перерасчётов). Ясно, что если $NPV < 0$, то следует отказаться от проекта, поскольку он убыточен.</p> <p>Рассмотрим структуру поступлений NCF_t.</p> $NCF_t = [Q_t(P_t - V_t) - F - A](1 - Tax) + A,$ <p>где Q_t – объем выпуска (шт.) – будем считать случайной величиной, имеющий равномерное распределение на интервале [150, 300]; P_t – цена за штуку, равномерно распределена на интервале [40, 55]; V_t – переменные затраты на штуку, равномерно распределены на интервале [25, 35]; F – постоянные затраты, равные 500; A – амортизация, равная 100; Tax – налог на прибыль, равный 0.6, или 60%.</p> <p>Поскольку в NCF_t входят случайные факторы, то и NPV будет случаен. Требуется узнать его математическое ожидание M_{NPV} и стандартное отклонение σ_{NPV}.</p> <p>Риск можно измерить коэффициентом вариации $CV = \frac{\sigma_{NPV}}{M_{NPV}}$. Чем меньше его значение (больше M_{NPV} и меньше σ_{NPV}, тем меньше риск инвестиционного проекта. Риск считается выше среднего, если $CV > 1$.</p> <p>Другая мерой риска R является вероятность того, что чистая приведенная стоимость меньше нуля, $R = P[NPV < 0]$.</p> <p>Алгоритм имитационного моделирования в MathCad, выполняющий расчет чистой приведенной стоимости N раз имеет следующий вид</p>

ORIGIN := 1

Параметры модели $T := 5$ $I_0 := 4200$ $r := 0.1$ $F := 500$ $A := 100$ Tax := 0.6

Число наблюдений $N := 1000$

```
NPV := for n ∈ 1..N
      Q ← runif(T, 150, 300)
      P ← runif(T, 40, 55)
      V ← runif(T, 25, 35)
      NPV_n ←  $\left[ \sum_{t=1}^T \frac{[Q_t \cdot (P_t - V_t) - F - A] \cdot (1 - \text{Tax}) + A}{(1 + r)^t} \right] - I_0$ 
NPV
```

Статистический анализ результатов:

	1
1	-97.99
2	$1.28 \cdot 10^3$
3	$1.419 \cdot 10^3$
4	$1.156 \cdot 10^3$
5	$1.639 \cdot 10^3$
6	$1.847 \cdot 10^3$
7	392.745
NPV = 8	251.617
9	$1.357 \cdot 10^3$
10	119.863
11	$1.473 \cdot 10^3$
12	-7.282
13	-83.831
14	$1.219 \cdot 10^3$
15	$1.908 \cdot 10^3$
16	...

Статистический анализ результатов

Оценка математического ожидания NPV

$M_NPV := \text{mean}(NPV)$ $M_NPV = 1.237 \times 10^3$

Оценка стандартного отклонения NPV

$\sigma_NPV := \text{Stdev}(NPV)$ $\sigma_NPV = 970.157$

Оценка коэффициента вариации

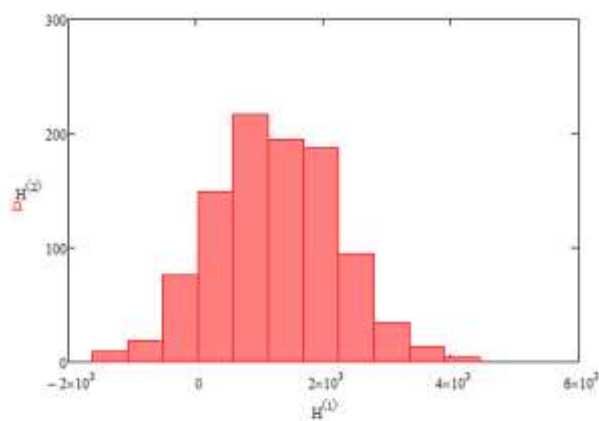
$CV := \frac{\sigma_NPV}{M_NPV}$ $CV = 0.784$

Построение гистограммы

Число интервалов группировки

$K := \text{ceil}(1 + 3.32 \cdot \log(N))$

$H := \text{histogram}(K, NPV)$



Риск инвестиционного проекта R

$R := \text{pnorm}(0, M_NPV, \sigma_NPV)$ $R = 0.101$

Сделайте интерпретацию результатов.

Задача

Рассматривается рекламная деятельность фирмы. Предполагается инвестировать 2 млн. руб., используя денежные средства от рекламной деятельности. Рекламные услуги выполняются по заказам клиентов. Количество и стоимость заказов – случайные величины. Затраты в среднем составляют 20 % от стоимости заказов. Необходимо оценить, какую прибыль может получить фирма за год и насколько она отличается от 2 млн. руб.

Цель задачи – рассчитать прибыль Pr за год (выходной показатель) и оценить риск того, что прибыль будет меньше 2 млн. руб.

На основе построенной имитационной модели в MathCad получены следующие результаты

Исследование годовой прибыли при объеме выборки $N = 1000$

	1
1	$2.368 \cdot 10^6$
2	$2.399 \cdot 10^6$
3	$2.334 \cdot 10^6$
4	$2.348 \cdot 10^6$
5	$2.293 \cdot 10^6$
6	$2.326 \cdot 10^6$
7	$2.169 \cdot 10^6$
8	$2.218 \cdot 10^6$
9	$2.121 \cdot 10^6$
10	$2.183 \cdot 10^6$
11	$2.15 \cdot 10^6$
12	$2.362 \cdot 10^6$
13	$2.211 \cdot 10^6$
14	...

$Pr(1000) =$

Средняя прибыль
 $mean(Pr(1000)) = 2.221 \times 10^6$

Минимальное значение
 $min(Pr(1000)) = 1.879 \times 10^6$

Максимальное значение
 $max(Pr(1000)) = 2.561 \times 10^6$

Дисперсия значений прибыли
 $var(Pr(1000)) = 1.112 \times 10^{10}$

Среднее квадратичное отклонение
 $stdev(Pr(1000)) = 1.029 \times 10^5$

Коэффициент ковариации
 $Covar = \frac{stdev(Pr(1000))}{mean(Pr(1000))} \quad Covar = 0.045$

Гистограмма распределения значений прибыли

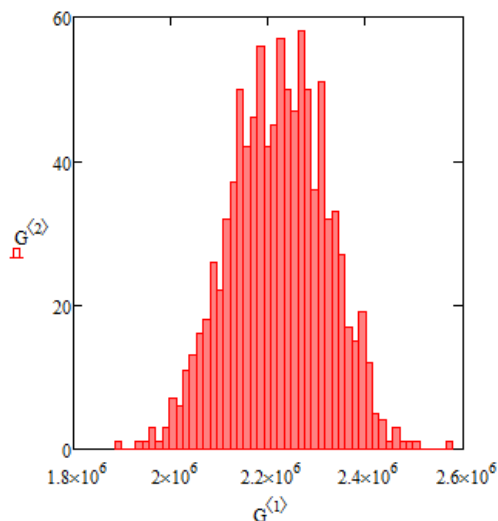
Количество интервалов

$K_{int} = 50$

$G := histogram(K, Pr(1000))$

$G =$

	1	2
19	$2.142 \cdot 10^6$	50
20	$2.156 \cdot 10^6$	42
21	$2.17 \cdot 10^6$	46
22	$2.184 \cdot 10^6$	56
23	$2.197 \cdot 10^6$	42
24	$2.211 \cdot 10^6$	45
25	$2.225 \cdot 10^6$	57
26	$2.239 \cdot 10^6$	50
27	$2.253 \cdot 10^6$	47
28	$2.267 \cdot 10^6$	58
29	$2.281 \cdot 10^6$	50
30	$2.295 \cdot 10^6$	36
31	$2.309 \cdot 10^6$	51
32	$2.322 \cdot 10^6$...



Число значений в самом высоком столбике $\max(G^{(2)}) = 58$

Мода = 2267000

Вероятность того, что прибыль меньше заданного значения

$Pr_sr := mean(Pr(1000))$

$\sigma_Pr := stdev(Pr(1000))$

$pnorm(2000000, Pr_sr, \sigma_Pr) = 0.015$

$pnorm(2100000, Pr_sr, \sigma_Pr) = 0.114$

Представьте в *табл.* основные результаты исследования годовой прибыли на основе выборки размером $N = 1000$ значений.

Показатель	Ожидаемое (среднее) значение, руб	Наихудшее (минимальное) значение, руб	Наилучшее (максимальное) значение, руб	Риск получить прибыль, отличную от 2000000 руб., %
Прибыль фирмы, руб				

Задача

В автомастерскую для ремонта и профилактики поступает случайное число автомобилей в сутки. Требуется определить суточные расходы автомастерской. Из опыта известно, что с вероятностью 0,1 приходят 1, 2 или 6 автомобилей, с вероятностью 0,4 приходит 4 и с вероятностью 0,3 – 5 автомобилей. Представим эти данные в виде ряда распределения вероятностей P

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 4 & 5 & 6 \\ 0,1 & 0,1 & 0,4 & 0,3 & 0,1 \end{pmatrix}.$$

В первой строке находятся значения случайной величины – числа приходящих автомобилей; во второй – их вероятности.

Число приходящих автомобилей сгенерируем в *Mathcad* с помощью подпрограммы *KAвто*.

ORIGIN := 1

Ряд распределения прихода

$$P := \begin{pmatrix} 1 & 2 & 4 & 5 & 6 \\ 0.1 & 0.1 & 0.4 & 0.3 & 0.1 \end{pmatrix}$$

Количество пришедших автомобилей

```

KAвто := | p ← rnd(1)
          | KA ← P1,1 if p < P2,1
          | KA ← P1,2 if P2,1 ≤ p < P2,1 + P2,2
          | KA ← P1,3 if P2,1 + P2,2 ≤ p < P2,1 + P2,2 + P2,3
          | KA ← P1,4 if P2,1 + P2,2 + P2,3 ≤ p < P2,1 + P2,2 + P2,3 + P2,4
          | KA ← P1,5 if P2,1 + P2,2 + P2,3 + P2,4 ≤ p
          | KA
  
```

Обозначим число пришедших автомобилей *KA*, число автомобилей, которое может быть отремонтировано *otrem*, суточные расходы автомастерской – *R*. Среднее значение расходов за *D = 1000* дней найдем с помощью подпрограммы *Costs (D, Mr)*.

Количество наблюдаемых дней *D* := 1000

Математическое ожидание числа отремонтированных в сутки автомобилей *Mr*

Среднее квадратичное отклонение числа отремонтированных в сутки автомобилей σ := 2

Расходы автомастерской при простое, руб. на автомобиль *r1* := 750

Расходы при нехватке мощностей, руб. на неотремонтированный автомобиль *r2* := 750

Средние суточные расходы автомастерской *R*

```

Costs(D,Mr) := | d ← 1
                | R ← 0
                | while d ≤ D
                | | otrem ← floor(|mom(1,Mr,σ)|)
                | | KA ← KAвто
                | | if otrem ≥ KA
                | | | prost ← otrem - KA
                | | | made ← KA
                | | | R1 ← r1·prost
                | | if otrem < KA
                | | | notmade ← KA - otrem
                | | | made ← otrem
                | | | R1 ← r2·notmade
                | | R ← R + R1
                | | d ← d + 1
                | R
                | D
  
```

Написать подпрограмму *Costs_Mr* для определения зависимости расходов автомастерской от среднего числа автомобилей, которое может быть отремонтировано в сутки, $Mr = 1, 2, \dots, 9$. Построить график зависимости расходов от величины *Mr*. Определить оптимальное число расходов.