

**ГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет
Министерства здравоохранения Российской Федерации»**

Кафедра биологической физики и математики

**Е.Н. Денисов
А.Р. Моршинин
М.А. Лопарева**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В СРЕДЕ ТАБЛИЧНОГО ПРОЦЕССОРА**

Пособие для самостоятельной работы студентов

Оренбург 2018

Основные понятия моделирования

1. Сущность и значение моделирования

В современной науке **моделирование** рассматривается как метод познания, состоящий в создании и исследовании моделей, т.е. исследование объектов путем построения и изучения различного вида моделей. Под *моделью* при этом понимается некоторое упрощенное подобие реального объекта, явления или процесса.

Уточняя данное понимание, нужно отметить, что **модель** – это такой материальный или мысленно представляемый объект, который замещает объект-оригинал с целью его исследования, сохраняя некоторые важные для данного исследования типичные свойства оригинала.

Грамотно спроектированная и корректно реализованная модель, оказывается, как правило, доступнее для исследования, чем реальный моделируемый объект. Другое, не менее важное назначение модели состоит в том, что с ее помощью выявляются наиболее существенные факторы, формирующие те или иные свойства объекта. Модель также позволяет освоить деятельность по управлению объектом, что важно в тех случаях, когда экспериментировать с объектом бывает неудобно, трудно или невозможно (например, когда эксперимент имеет большую продолжительность или когда существует риск привести объект в нежелательное или необратимое состояние).

Исходя из сказанного, можно сделать вывод, что **модель необходима** для того, чтобы:

- понять, как устроен конкретный объект, то есть какую имеет структуру, основные свойства, законы развития и взаимодействия с окружающим миром;
- научиться управлять объектом или процессом и определить наилучшие способы управления при заданных целях и критериях;
- прогнозировать прямые и косвенные последствия реализации заданных способов и форм воздействия на объект, процесс.

Прежде чем построить модель объекта (явления, процесса), необходимо выделить составляющие его элементы и связи между ними (провести системный анализ) и перевести полученную структуру в какую-либо заранее определенную форму, т.е. формализовать информацию.

Формализация – это процесс выделения и перевода внутренней структуры предмета, явления или процесса в определенную информационную структуру – форму.

Система – это сложный объект, представляющий собой совокупность взаимосвязанных элементов, объединенных в некоторую структуру.

Структура представляет собой определенный способ объединения элементов, составляющих единый сложный объект.

Сам процесс построения модели принято называть **моделированием**.

В современных медико-биологических исследованиях метод моделирования, в том числе и с применением компьютеров, получает все более широкое распространение.

2. Различные подходы к классификации моделей

Существует несколько вариантов классификации моделей, применяемых в современной науке и практической деятельности.

С учетом **фактора времени** модели принято делить на две большие группы.

Статическая модель – это модель объекта в данный момент времени.

Динамическая модель позволяет увидеть изменения объекта во времени.

По **области использования** рассматриваются несколько видов моделей.

Учебные модели – это наглядные пособия, различные тренажеры, обучающие программы.

Опытные модели представляют собой уменьшенные или увеличенные копии исследуемого объекта для дальнейшего его изучения.

Научно-технические модели создают для исследования процессов и явлений (стенд для проверки медицинской аппаратуры; синхротрон – ускоритель заряженных частиц и др.).

Игровые модели, позволяющие имитировать условия экономических и социальных процессов, например, деловые игры.

Имитационные модели, которые отражают реальность с той или иной степенью точности (испытание нового лекарственного средства в ряде опытах на мышах; эксперименты по внедрению в производство новой технологии)

Кроме этого, рассматривают модели, нацеленные в основном на понимание, называемые **дескриптивными**, на управление – **оптимизационными**, на прогнозирование – **прогностическими**.

Примером имитационной модели является изучение изменения численности микроорганизмов в колонии, когда рассматривается много отдельных объектов, и отслеживается каждый при наличии определенных условий для его выживания, размножения и т.д. Обычно имитационное моделирование применяется в попытке описать свойства большой системы при условии, что поведение составляющих ее объектов просто и точно сформулировано.

По **способу представления** модели классифицируются на следующие виды.

Материальная модель – это физическое подобие объекта. Такие модели воспроизводят геометрические и физические свойства оригинала (муляжи животных, внутренних органов человеческого организма, а также географические и исторические карты, схема солнечной системы и т.д.).

Информационная модель представляет собой совокупность информации, характеризующей свойства и состояния объекта, процесса, явления, а также взаимосвязь с внешним миром.

Каждая информационная модель содержит только существенные сведения об объекте с учетом той цели, для которой она создается. Информационные модели одного и того же объекта, предназначенные для разных целей, могут быть совершенно разными.

К числу информационных моделей относятся:

вербальная модель – информационная словесная модель в мысленной или разговорной форме;

знаковая модель – информационная модель, выраженная специальными знаками, т.е. средствами любого формального языка, например, это могут быть графики, схемы, таблицы;

компьютерная модель – модель, реализованная средствами программной среды.

Одной из разновидностей знаковых моделей является модель математическая.

Под **математической моделью** понимают систему математических соотношений – формул, уравнений, неравенств и т.д., отражающих существенные свойства объекта или процесса.

Математическое моделирование как нормальных физиологических, так и патологических процессов является в настоящее время актуальным направлением в научных исследованиях.

Современная медицина представляет собой в основном экспериментальную науку с огромным эмпирическим опытом воздействия на ход тех или иных болезней различными средствами. При этом возможности прямого экспериментального исследования ряда процессов являются в той или иной мере ограниченными, и наиболее эффективным аппаратом их исследования представляется математическое моделирование.

Разработка **аппарата математического моделирования** предусматривает:

- построение замкнутой математической модели процесса, описывающей поведение биологической среды или объекта на основе системы математических уравнений;
- уточнение соотношений, характеризующих поведение той или иной среды, объекта;
- корректную математическую постановку задачи, определение необходимых для её решения начальных и граничных условий;
- количественное решение задачи и визуализацию полученных результатов.

При построении математических моделей далеко не всегда удается найти формулы, явно выражающие искомые величины через исходные данные. В таких случаях используются математические модели, позволяющие дать ответы той или иной степени точности.

3. Основные этапы моделирования

Процесс разработки моделей и их исследование на компьютере можно разделить на несколько основных **этапов**.

На **первом этапе** исследования объекта или процесса обычно строится **описательная информационная модель**. Такая модель выделяет существенные, с точки зрения целей проводимого исследования, параметры объекта, а несущественными параметрами пренебрегает.

На **втором этапе** создается **формализованная модель**, т.е. описательная информационная модель записывается с помощью какого-либо формального языка. В такой модели с помощью формул, уравнений, неравенств и т.д. фиксируются формальные соотношения между начальными и конечными

значениями свойств объектов, а также накладываются ограничения на допустимые значения этих свойств.

На **третьем этапе** необходимо формализованную информационную модель преобразовать в **компьютерную модель**, т.е. выразить ее на понятном для компьютера языке. Существуют два принципиально различных **пути построения компьютерной модели**:

- построение алгоритма решения задачи и его кодирование на одном из языков программирования;
- построение компьютерной модели с использованием одного из приложений (электронных таблиц, СУБД и т.д.).

Четвертый этап исследования информационной модели состоит в проведении **компьютерного эксперимента**. Если компьютерная модель существует в виде программы на одном из языков программирования, ее нужно запустить на выполнение и получить результаты.

Если компьютерная модель исследуется в приложении, например, в электронных таблицах, можно провести сортировку или поиск данных, построить диаграмму или график и т.д.

Пятый этап состоит в **анализе полученных результатов и корректировке исследуемой модели**. В случае различия результатов, полученных при исследовании информационной модели, с измеряемыми параметрами реальных объектов, можно сделать вывод, что на предыдущих этапах построения модели были допущены ошибки или неточности.

Практически во всех науках о природе, живой и неживой, об обществе, построение и использование моделей является мощным орудием познания. Реальные объекты и процессы бывают столь многогранны и сложны, что лучшим способом их изучения часто является построение модели, отображающей лишь какую-то грань реальности и потому многократно более простой, чем эта реальность, и исследование этой модели. Опыт развития современной науки доказал на практике плодотворность такого подхода.

В данном пособии рассматриваются актуальные примеры построения информационных моделей медико-биологических процессов с использованием возможностей табличного процессора.

Моделирование процесса нормализации систолического давления под действием лекарственных препаратов

Цель моделирования: создание и проверка модели, представляющей изменение систолического давления пациента в результате приема лекарственного препарата.

Объектом моделирования является процесс нормализации систолического давления пациента с течением времени в как следствие приема соответствующего лекарственного препарата.

В данной работе осуществляется построение модели процесса изменения систолического давления в зависимости от длительности приема лекарственных препаратов. При этом возможна разработка двух видов моделей. Точная модель определяет экспоненциальный спад давления, модель со случайным разбросом должна содержать случайные отклонения от точной модели, связанные с непредсказуемыми индивидуальными особенностями организма пациента.

Точная модель описывается формулой:

$$D = (D_0 - D_n) \cdot \text{EXP}(-kt) + D_n,$$

где:

D – текущее значение давления, которым должны быть заполнены ячейки столбца **B**;

t – время, прошедшее с начала лечения.

D₀ – начальное значение давления пациента до лечения;

D_n – давление в норме;

k – эффективность лекарственного препарата;

В модели с разбросом к приведенному выше выражению добавляется случайный разброс следующего вида:

$$R_A = A \cdot (\text{СЛЧИС}() - 0,5)$$

где:

R_A – случайный разброс в заданном диапазоне;

A – значение диапазона;

СЛЧИС() – стандартная функция Excel, генерирующая случайное число в диапазоне от **0** до **1**.

Параметрами данных моделей являются начальный уровень систолического давления, эффективность лекарственного препарата и значение диапазона, применяющееся для вычисления разброса.

На новом листе табличного процессора введите следующие данные, задав начальное значение начального давления 200 миллиметров ртутного столба, давление в норме приняв 120 миллиметров ртутного столба, эффективность препарата взяв 0,5 день⁻¹, а значение диапазона разброса определив в 30 миллиметров ртутного столба.

	А	В	С	Д	Е	Ф
1	Время в днях	Точная модель	Разброс	Модель с разбросом	Параметры модели	
2	0	Формула 1	Формула 2	Формула 3	200	Начальное давление
3	1	Заполнить до 30 дня	Заполнить до 30 дня	Заполнить до 30 дня	120	Давление в норме
4	2				0,3	Эффективность препарата
5	3				30	Диапазон разброса
...	...					
32	до 30					

Для создания точной модели изменения систолического давления математического моделирования процесса изменения концентрации в ячейку В2 ввести следующую формулу:

$$=(E2-E3)*EXP(-E4*A2)+E3 \quad (1)$$

Данную формулу скопировать в ячейки В3:В32

При разработке модели со случайным разбросом в ячейку С2 для вычисления разброса вводится формула:

$$=E5*(СЛЧИС()-0,5) \quad (2)$$

Данная формула копируется в ячейки С3:С32.

В ячейку D2 нужно внести формулу:

$$=B2+C2 \quad (3)$$

Данная формула копируется в ячейки D3:D32.

Примечание. Перед началом копирования формул установить для ячеек В2, С2 и D2 числовой формат с числом десятичных знаков, равняющимся нулю.

По результатам расчета изменения давления пациента в соответствии с двумя моделями построить график зависимости систолического давления от времени, протекшего с начала лечения. Данные точной модели и модели со случайным разбросом построить в одной системе координат, применяя тип диаграммы «Точечная с гладкими кривыми и маркерами»

Задание по разработанной модели.

Исследовать поведение точной модели в зависимости от значения параметров. Проследить, как ведет себя данная модель для различных коэффициентов эффективности лекарственного вещества.

Предварительно, при желании сохранить неизменяющейся построенную диаграмму для модели точной и модели с разбросом, необходимо копировать данную диаграмму и снова вставить на лист, но уже как рисунок, применяя соответствующий одноименный параметр вставки.

Далее полученные числовые значения точной модели систолического давления для коэффициента эффективности, равного $0,3 \text{ мм.рт.ст.}\cdot\text{день}^{-1}$, скопировать и вставить в диапазон G2:G32, используя команду «Специальная вставка, значения». В ячейку G1 ввести заголовок «Точная модель при $k=0,3$ ».

В ячейку E4 ввести новый коэффициент эффективности, который равняется $0,2 \text{ мм.рт.ст.}\cdot\text{день}^{-1}$. Полученные расчетные данные систолического давления для новой эффективности лекарственного вещества также скопировать и вставить в диапазон H2:H32, используя команду «Специальная вставка, значения». В ячейку H1 нужно разместить заголовок «Точная модель при $k=0,2$ ».

Теперь в ячейку E4 ввести другой коэффициент эффективности, который составляет $0,5 \text{ мм.рт.ст.}\cdot\text{день}^{-1}$. Полученные расчетные данные систолического давления для новой эффективности лекарственного вещества также скопировать и вставить в диапазон I2:I32, используя команду «Специальная вставка, значения». В ячейку G1 ввести заголовок «Точная модель при $k=0,5$ ».

По расчетным данным изменения систолического давления для трех коэффициентов эффективности построить в одной координатной сетке графики зависимости давления пациента от времени, применяя тип диаграммы «Точечная с гладкими кривыми и маркерами».

Сформулировать выводы о динамике процесса нормализации систолического давления под действием лекарственных препаратов различной эффективности.

Моделирование биоритмов человека

Цель моделирования: разработка и апробация модели биоритмов для конкретного человека от указанной текущей даты на месяц вперед с целью ее дальнейшего анализа.

Объектом моделирования является динамика биоритмов любого человека, для которого известна дата его рождения.

Известно, что в жизни человека бывают творческие и безуспешные, счастливые и не очень удачные дни, периоды, когда он бывает в приподнятом или в подавленном настроении. Существует теория, правда, принимаемая не всеми учеными, что жизнь человека подчиняется циклическим процессам, называемым биоритмами. Данные циклы описывают три стороны самочувствия человека: физическую, эмоциональную и интеллектуальную. Биоритмы характеризуют подъемы и спады нашего состояния. Считается, что «взлетам» графика, представляющего собой синусоидальную зависимость, соответствуют более благоприятные дни. Дни, в которые график пересекает ось абсцисс и уходит в отрицательную полуплоскость, рассматриваются как напряженные, неблагоприятные.

За точку отсчета всех трех биоритмов берется день рождения человека.

Физический биоритм характеризует жизненные силы человека, т.е. его физическое состояние. Периодичность ритма составляет 23 дня.

Эмоциональный биоритм характеризует внутренний настрой человека, его возбудимость, специфику эмоционального восприятия окружающего. Продолжительность периода эмоционального цикла равна 28 дням.

Третий биоритм характеризует мыслительные способности, интеллектуальное состояние человека. Цикличность данного ритма будет 33 дня.

Рассматриваемые циклы можно описать следующими выражениями, в которых переменная x - это количество прожитых человеком дней:

$$\text{Физический цикл} = \sin \frac{2\pi x}{23}$$

$$\text{Эмоциональный цикл} = \sin \frac{2\pi x}{28}$$

$$\text{Интеллектуальный цикл} = \sin \frac{2\pi x}{33}$$

Исходные данные для моделирования:

- дата рождения человека;
- дата отсчета;
- период физического цикла = 23 дня;
- период эмоционального цикла = 28 дней;
- период интеллектуального цикла = 33 дня.

Для моделирования выберем среду табличного процессора. В этой среде информационная и математическая модели объединяются в таблицу, которая содержит две области:

- исходные данные;
- расчетные данные (результаты)

Ячейка Формула

A9 =**\$B\$5** (1)

A10 =**A9+1** (2)

B9 =**SIN(2*ПИ()*(A9-\$B\$4)/23)** (3)

C9 =**SIN(2* ПИ()*(A9-\$B\$4)/28)** (4)

D9 =**SIN(2* ПИ()*(A9-\$B\$4)/33)** (5)

Примечание 1. Обратите внимание! В каждую формулу входит выражение (A9-\$B\$4), которое вычисляет количество дней, прожитых человеком. При этом среда табличного процессора автоматически вычисляет каждую дату как количество дней, прошедших с 1 января 1900 года, а затем определяет разность между ними. При записи формул использовать вставку стандартных функций SIN(...) и ПИ(...).

Дата заполняется по формату **00.00.0000** Если дата набрана правильно, то ячейке автоматически будет присвоен формат Дата. В качестве даты рождения студент вводит дату, соответствующую его дате рождения, а за дату отсчета принимается день выполнения работы.

Примечание 2. Формулами (2), (3), (4), (5) заполняются ячейки соответствующих столбцов до 40 строки приемом автозаполнения. Приступая к копированию формул (3), (4), (5), следует установить для ячеек B9, C9 и D9 числовой формат с числом десятичных знаков, равняющимся семи.

	A	B	C	D
1	Биоритмы			
2	Прогноз на основе модели	Иванов Александр		
3	Исходные данные			
4	Дата рождения	01.09.2001		
5	Дата отсчета	05.05.2018		
6	Длительность прогноза	30		
7	РЕУЛЬТАТЫ			
8	Порядковый день	Физическое	Эмоциональное	Интеллектуальное
9	Формула 1	Формула 3	Формула 4	Формула 5
10	Формула 2		Заполнить вниз	
11	Заполнить до A40	до B40	до C40	до D40

По результатам расчетов, выделив столбцы с биоритмами, построить диаграмму (точечная с гладкими кривыми) для всех трех биоритмов (по оси абсцисс откладываются дни, по оси ординат откладываются биоритмы).

Задания по разработанной модели.

1. Проанализировав диаграмму, выберите:

- благоприятные дни для участия в спортивных соревнованиях
- дни, когда учебная деятельность, вероятно, будет наиболее успешной
- оптимальный день для посещения театра

2. Определите совместимость ваших биоритмов и биоритмов друга.

- Выделите ранее рассчитанные столбцы своих биоритмов, скопируйте их и вставьте в столбцы E, F, G, (начиная с девятой строки), используя команду Специальная вставка, значения.
- Введите в ячейку B4 дату рождения друга. Модель мгновенно просчитается для новых данных.
- В столбцах H, I, J провести расчет суммарных биоритмов по формулам.

Ячейка	Формула	
H9	=B9+E9	(6)
I9	=C9+F9	(7)
J9	=D9+G9	(8)

	H	I	J
8	Физическая сумма	Эмоциональная сумма	Интеллектуальная сумма
9	Формула 6	Формула 7	Формула 8
10	Заполнить вниз	Заполнить вниз	Заполнить вниз

- По столбцам H, I, J построить точечную диаграмму с гладкими кривыми физической, эмоциональной и интеллектуальной совместимости. Максимальные значения по оси у на диаграмме указывают на степень совместимости: если размер по у превышает 1.5, то вы с другом в данный период в высокой степени взаимопонимания и хорошем контакте по данному параметру.

3. Проведите уточнение периодов.

Некоторые авторы утверждают, что периоды многодневных ритмов не должны были бы представлять собой точно определенные отрезки времени. В связи с этой гипотезой приближенная продолжительность периодов такова: физический период – 23,688437 суток, эмоциональный период – 28,426124 суток и интеллектуальный – 33,163812 суток.

Скопируйте исходную модель биоритмов на новый лист электронной таблицы, используя команду Специальная вставка, формулы.

Измените в формулах для рассматриваемых ритмов соответствующие периоды и постройте диаграммы по новым рассчитанным значениям.

Моделирование процесса производства вакцины

Цель моделирования: создание и проверка модели функционирования биосистемы замкнутого режима, применяемой для потребностей производства, на примере культуры бактерий.

Объектом моделирования является процесс ежедневного изменения массы культуры бактерий с учетом выращивания и использования бактерий для производства вакцины.

Проведение вычислительного эксперимента с готовой компьютерной моделью позволяет прогнозировать состояние биосистемы в зависимости от ряда исходных параметров, выявлять условия для ее нормального функционирования. Поэтому при создании и функционировании биосистем замкнутого режима для нужд производства имеет смысл обратиться к компьютерному моделированию.

Рассмотрим ситуацию, когда для производства вакцины на заводе выращивают одну из культур бактерий. Известно, что если масса бактерий - X г, то через день она увеличивается на $(A-BX)X$, где A и B – коэффициенты, зависящие от вида бактерий. Ежедневно для нужд производства забирается M грамм бактерий. Исследуйте, как изменяется масса бактерий по дням (от 1 до 30), если $A=1$, $B=0,0001$, $X_0=12000$, $M=2000$.

Разработка модели

Исходные данные:

A и B – коэффициенты;

X_0 – начальная масса бактерий;

M – масса бактерий, забираемых для нужд производства;

Количество бактерий каждого следующего дня зависит от количества бактерий предыдущего дня и вычисляется по формуле:

$X_{i+1} = X_i + (A - B \cdot X_i) \cdot X_i - M$ – масса бактерий в следующий день.

Результатами являются значения массы бактерий через 1, 2, 3, 4 ... 30 дней.

	A	B
1	МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ	
2	Исходные данные	
3	1	коэффициент A
4	0,0001	коэффициент B
5	12000	начальная масса X_0
6	2000	ежедневная потребляемая масса M
7		
8	Расчетная таблица	
9	номер суток	масса X
10	0	=A5
11	=A10+1	=B10+(\$A\$3-\$A\$4*B10)*B10-\$A\$6
12	Заполнить до A40	Заполнить до B40

Примечание. Перед началом копирования формулы, введенной в ячейку B11, установить для данной ячейки числовой формат с числом десятичных знаков, равняющимся нулю.

Исследуя компьютерную модель задачи о вакцине, приходим к выводу, что масса бактерий довольно быстро убывает, но достигнув значения в 7236 грамм в дальнейшем не изменяется.

В соответствии с полученными данными по изменению массы культуры бактерий постройте диаграмму, выбрав тип диаграммы «Точечная с гладкими кривыми».

Задание по разработанной модели.

Проанализируйте динамику массы культуры выращиваемых бактерий, при изменении их суммарной начальной массы.

Проведите эксперимент, взяв начальную массу 13000 г., 14000 г., 17000 г., 18000 г. Постройте соответствующие графики зависимости массы бактерий от количества дней.

Для выполнения этого задания нужно скопировать результаты первого эксперимента (ячейки B10:B40) и, используя команду «Специальная вставка, значения», вставить их в диапазон C10:C40.

После этого в ячейку A5 вводится значение начальной массы, равное 13000 грамм и табличный процессор автоматически пересчитывает последующие массы бактерий. Полученные данные копируются и, используя команду «Специальная вставка, значения», размещаются в диапазон D10:D40.

Аналогично производится расчет количества бактерий для начальной массы 14000 грамм, а полученные вставляются в диапазон E10:E40.

Совершенно аналогично осуществляется расчет количества бактерий для начальной массы 17000 грамм, а полученные вставляются в диапазон F10:F40.

Таким же образом получают данные для начальной массы в 18000 грамм, из которых только неотрицательные значения копируются и вставляются в столбец G, начиная с ячейки G10. Отрицательные значения заменяются нулевыми и заполняются оставшиеся ячейки до G40.

По результатам полученных расчетов на основе разработанной модели строятся графики зависимости массы бактерий от времени при различной начальной массе, применяя тип диаграммы «Точечная с гладкими кривыми». Делается вывод о зависимости массы имеющихся бактерий от различной начальной их массы.

Примечание. Вычислительный эксперимент показывает, что существует такой интервал значений начальной массы (от 2764 г. до 17236 г.), при котором в течение некоторого времени масса бактерий стабилизируется на уровне 7236 г. Если же взять начальную массу за пределами этого интервала, то бактерии погибнут.

Моделирование выведения лекарственного средства из организма человека

Цель моделирования: разработка и проверка модели, представляющей изменение концентрации лекарственного вещества в крови человека

Объектом моделирования является процесс выведения лекарственного препарата из организма человека.

При внутривенном введении препарат сразу поступает в кровь, его концентрация принимает максимальное значение. В процессе циркуляции по кровеносной системе препарат постепенно выводится из организма по закону, близкому к экспоненциальному. Для характеристики скорости выведения используется величина называемая периодом полувыведения, численно равная времени, в течение которого концентрация препарата уменьшается в два раза.

С учетом сказанного зависимость концентрации препарата от времени описывается следующей формулой:

$$K = K_0 \cdot \text{EXP}(-t \cdot \ln(2) : T_{1/2})$$

где:

K – концентрация препарата;

K₀ – начальная концентрация;

t – время, прошедшее с момента внутривенного введения препарата;

T_{1/2} – период полувыведения;

ln(2) – натуральный логарифм 2, численное значение которого равно 0,69.

Параметрами модели являются начальная концентрация и период полувыведения.

На новом листе введите следующие данные, задав начальное значение периода полувыведения равным 5 часам и начальную концентрацию 30 мкг/мл.

	А	В	С	Д
1	Время в часах	Концентрация в мкг/мл	Начальная концентрация	Период полувыведения
2	0	Формула 1	50	5
3	1			
...	...			
25	до 24			

Для математического моделирования процесса изменения концентрации в ячейку В2 ввести следующую формулу:

$$= \$C\$2 * \text{EXP}(-A2 * 0,69 / \$D\$2) \quad (1)$$

Данную формулу скопировать в ячейки В3:В25.

Примечание. Перед началом копирования формул установить для ячейки В2 числовой формат с числом десятичных знаков, равняющимся одному.

Построить график зависимости концентрации лекарственного вещества в крови пациента от времени. Выбрать для построения тип диаграммы «Точечная с гладкими кривыми».

Задание по разработанной модели.

Исследовать поведение модели в зависимости от значения параметров. Проследить, как ведет себя модель для малых и больших периодов полувыведения.

Для этого полученные значения концентрации для периода полувыведения, равного 5 часам, скопировать и вставить в диапазон E2:E25 используя команду «Специальная вставка, значения». В ячейку E1 ввести заголовок «Концентрация препарата при $T_{1/2}=5$ ».

В ячейку D2 ввести новый полупериод, который составляет 2,5 часа. Полученные расчетные данные концентрации для нового периода также скопировать и вставить в диапазон F2:F25, используя команду «Специальная вставка, значения». В ячейку F1 разместить заголовок «Концентрация препарата при $T_{1/2}=2,5$ ».

Теперь в ячейку D2 ввести новый полупериод, который равен 10 часам. Полученные расчетные данные концентрации для нового периода также скопировать и вставить в диапазон G2:G25, используя команду «Специальная вставка, значения». В ячейку G1 ввести заголовок «Концентрация препарата при $T_{1/2}=10$ ».

По расчетным данным концентрации для трех полупериодов построить в одной координатной сетке графики зависимости концентраций лекарственного вещества в крови пациента от времени, применяя тип диаграммы «Точечная с гладкими кривыми».

Сделать выводы об изменении динамики выведения лекарственного средства при различных периодах полувыведения.

Моделирование динамики количества активного вещества в системном кровотоке

Цель моделирования: разработка и апробация модели, представляющей изменение количества лекарственного вещества в крови пациента.

Объектом моделирования является процесс изменения динамики количества лекарственного вещества в системном кровотоке при внутривенном введении.

При выполнении математического моделирования динамики количества активного вещества M (в микрограммах) в системном кровотоке при введении посредством капельницы в расчетах используются следующие формулы.

Формула для расчета **скорости изменения количества** активного вещества:

$$S = -LM + U$$

Формула для расчета **количества** активного вещества:

$$M(t + \Delta t) = M(t) + \Delta t \times S$$

формула для расчета **концентрации** активного вещества:

$$C = M / V$$

В формулах используются следующие обозначения:

t – время в минутах от начала процедуры,

Δt – шаг по времени,

L – скорость вывода активного вещества из системного кровотока за счет естественных процессов обмена веществ в организме пациента,

U – интенсивность поступления активного вещества через капельницу,

V – кажущийся объем.

На новом листе в приведенную таблицу заносятся конкретные значения данных параметров и размещаются соответствующие формулы.

При этом принимается $M(0) = 0$ – начальное значение активного вещества в кровотоке.

	А	В	С	Д	Е	Ф
1	Время (t)	Количество (M)	Скорость (S)	Динамика изменения концентрации (C)	Параметры модели	
2	0	=F2	Формула 2	Формула 3	M(0)- начальное значение количества	0
3	=A2+\$F\$5	Формула 1	Заполнить до C52	Заполнить до D52	L - скорость вывода	0,01
4	Заполнить до A52	Заполнить до B52			U – скорость ввода	10
5					Δt – шаг по времени	0,1
6					V- кажущийся объем	40

Для получения численных данных модели в ячейку В3 вводится следующая формула:

$$= B2 + \$F\$5 * C2 \quad (1)$$

Данную формулу скопировать в ячейки В4:В52.

В ячейку С2 необходимо ввести формулу:

$$= -\$F\$3 * B2 + \$F\$4 \quad (2)$$

Данная формула копируется в ячейки С3:С52.

В ячейку D2 нужно внести формулу:

$$= B2 / \$F\$6 \quad (3)$$

Данная формула копируется в ячейки D3:С52.

Примечание. Перед началом копирования формул установить для ячеек В3, С2 и D2 числовой формат с числом десятичных знаков, равняющимся двум.

По результатам расчета построить на отдельных диаграммах графики зависимости от времени количества, скорости изменения и концентрации активного вещества. Для выполнения графиков применяется тип диаграммы «Точечная с гладкими кривыми»

Задание по разработанной модели.

Исследовать поведение модели в зависимости от значения параметров. Проследить, как изменяется динамика количества активного вещества при различной скорости ввода лекарственного средства.

Для этого полученные значения количества активного вещества для скорости введения 10 микрограмм в минуту необходимо скопировать и вставить в диапазон H2:H52 используя команду «Специальная вставка, значения». В ячейку H1 ввести заголовок «Количество вещества при U=10».

В ячейку F4 ввести новую скорость поступления препарата, составляющую 15 микрограмм в минуту. Полученные расчетные данные количества активного вещества для данной скорости также скопировать и вставить в диапазон I2:I52, используя команду «Специальная вставка, значения». В ячейку I1 разместить название «Количество вещества при U=15».

Теперь в ячейку F4 внести новое значение скорости введения лекарственного средства, равняющееся 5 микрограмм в минуту. Полученные расчетные данные концентрации для новой скорости введения также скопировать и вставить в диапазон J2:J52, используя команду «Специальная вставка, значения». В ячейку J1 ввести заголовок «Количество вещества при U=5».

По расчетным данным динамики количества активного вещества построить в одной координатной сетке графики зависимости количества лекарственного вещества в кровотоке пациента от времени, применяя тип диаграммы «Точечная с гладкими кривыми».

Сделать выводы об изменении динамики количества активного вещества при различных скоростях поступления лекарственного средства.

Моделирование процесса спада температуры тела пациента под действием жаропонижающих препаратов

Цель моделирования: разработка и апробация модели изменения температуры тела пациента в результате лечебного воздействия.

Объектом моделирования является процесс уменьшения температуры тела пациента, обусловленный приемом жаропонижающих препаратов.

В данной задаче моделируется процесс снижения температуры под воздействием лекарственного средства с определенным коэффициентом эффективности. Функция снижения температуры выбирается линейной, где независимой переменной будет время (в днях), прошедшее с начала лечения. Примем эффективность лекарственного препарата равной 0,5 градус/день, а начальную температуру тела пациента 40°C.

При этом, разрабатывая модель, нужно будет учесть тот факт, что температура снижется линейно до 36,6°C, а потом остается постоянной.

Основываясь на рассмотренном условии, зависимость температуры тела пациента от времени описывается следующей формулой:

$$t = -a \cdot x + b \text{ если } t > 36,6$$

где:

a – эффективность лекарственного препарата;

b - начальная температура.

При достижении значения **t = 36,6** температура стабилизируется.

Параметрами модели являются начальная температура и эффективность лекарственного препарата.

	A	B	C	D
1	Время в днях	Температура	Эффективность препарата	Начальная температура
2	0	Формула 1	0,5	40
3	1			
...	...			
21	до 20			

Для осуществления математического моделирования процесса изменения температуры в ячейку B2 ввести следующую формулу:

$$=ЕСЛИ(-\$C\$2*A2+\$D\$2>36,6;-\$C\$2*A2+\$D\$2;36,6) \quad (1)$$

Данную формулу скопировать в ячейки B3:B21.

Примечание. Перед началом копирования формулы установить для ячейки B2 числовой формат с числом десятичных знаков, равняющимся одному.

Построить график зависимости температуры тела пациента от времени, прошедшего с начала лечения. Выбрать для построения тип диаграммы «Точечная с гладкими кривыми и маркерами».

Задание по разработанной модели.

Исследовать поведение данной модели в зависимости от значения параметров. Проследить, как ведет себя модель для различных коэффициентов эффективности лекарственного вещества.

Для этого полученные значения температуры для коэффициента эффективности, равного 0,5 градус/день, скопировать и вставить в диапазон E2:E21 используя команду «Специальная вставка, значения». В ячейку E1 ввести заголовок «Температура при $k=0,5$ ».

В ячейку C2 ввести новый коэффициент эффективности, который равняется 0,25 градус/день. Полученные расчетные данные температуры для новой эффективности лекарственного вещества также скопировать и вставить в диапазон F2:F21, используя команду «Специальная вставка, значения». В ячейку F1 разместить заголовок «Температура при $k=0,25$ ».

Теперь в ячейку D2 ввести другой коэффициент эффективности, который составляет 0,75 градус/день. Полученные расчетные данные температуры для новой эффективности лекарственного вещества также скопировать и вставить в диапазон G2:G21, используя команду «Специальная вставка, значения». В ячейку G1 ввести заголовок «Температура при $k=0,75$ ».

По расчетным данным изменения температуры для трех коэффициентов эффективности построить в одной координатной сетке графики зависимости температуры тела пациента от времени, применяя тип диаграммы «Точечная с гладкими кривыми и маркерами».

Сделать вывод об особенностях зависимости процесса спада температуры от эффективности применяемого жаропонижающего средства.

Моделирование динамики численности вида в условиях максимально благоприятствующей среды

Цель моделирования: создание и проверка модели функционирования природной биосистемы с учетом естественной рождаемости и смертности.

Объектом моделирования является процесс последовательного изменения численности некоторого вида животных в условиях отсутствия неблагоприятных воздействий.

Рассмотрим некоторую упрощенную биологическую систему, в которой численность особей популяции зависит только от естественной рождаемости и смертности. Такая модель характеризуется коэффициентами КР и КС, учитывающими, соответственно, рождаемость и смертность в течение одного периода.

Математическая модель процесса изменения численности может быть представлена следующими уравнениями:

Рост численности с учетом рождаемости:

$$N_{i+1} = N_i + N_i \cdot \text{КР}$$

Падение численности с учетом смертности:

$$N_{i+1} = N_i - N_i \cdot \text{КС}$$

Общее изменение численности:

$$N_{i+1} = N_i + N_i \cdot \text{КР} - N_i \cdot \text{КС} = N_i \cdot (1 + \text{КР} - \text{КС})$$

Для моделирования динамики вида внесем данные в условия параметры и формулы в следующую электронную таблицу.

	А	В
1	МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ	
2	Исходные данные	
3	Коэффициент рождаемости	0,3
4	Коэффициент смертности	0,1
5	Количество особей начальное	100
6	Расчетная таблица	
7	Период наблюдения	Количество особей
8	0	=B5
9	=A8+1	=B8*(1+\$B\$3-\$B\$4)
10	Заполнить до A28	Заполнить до B28

Примечание. Для ячеек диапазона В8:В28 нужно выбрать числовой формат с числом десятичных знаков, равняющимся нулю.

В соответствии с полученными данными по изменению численности поколений определенного вида животных постройте диаграмму, выбрав тип диаграммы «Точечная с гладкими кривыми и маркерами».

Задание по разработанной модели.

Проанализируйте динамику данного вида животных при различных коэффициентах рождаемости и смертности индексах возрастания их численности.

Для выполнения этого задания нужно скопировать результаты первого эксперимента (ячейки В8:В28) и, используя команду «Специальная вставка, значения и форматы чисел», вставить их в диапазон С2:С22. В ячейку С1 введите заголовок «Динамика вида при $KP=0,3$ и $КС=0,1$ ».

После этого в ячейку А3 вводится значение коэффициента рождаемости, равное 0,5 и табличный процессор автоматически пересчитывает количество особей в последующих периодах наблюдения. Полученные данные копируются и, используя команду «Специальная вставка, значения и форматы чисел», размещаются в диапазон D2:D22. В ячейку D1 нужно внести заголовок «Динамика вида при $KP=0,5$ и $КС=0,1$ ».

Аналогично производится расчет количества особей в последовательных периодах наблюдения коэффициента рождаемости, равняющегося 0,3 и нового значения коэффициента смертности, составляющего 0,2, а полученные данные вставляются в диапазон E2:E22. В ячейку E1 вносится заголовок «Динамика вида при $KP=0,3$ и $КС=0,2$ ».

По результатам полученных расчетов на основе разработанной модели строятся графики динамики численности особей данного вида. При этом каждый график выполняется в отдельной системе координат, а для построения применяется тип диаграммы «Точечная с гладкими кривыми и маркерами».

Сделать выводы о специфике динамики численности вида при различных коэффициентах рождаемости и смертности особей.

Моделирование динамики численности поколений определенного вида животных

Цель моделирования: разработка и проверка модели функционирования природной биосистемы с учетом внутривидовой конкуренции.

Объектом моделирования является процесс изменения численности последовательных поколений некоторого вида животных.

Расчет динамики численности сезонного вида произведем с учетом внутривидовой конкуренции.

Пусть $N(k)$ – численность k -ого поколения (в условных единицах, например, в миллионах). Тогда численность следующего поколения рассчитывается как

$$N(k+1) = R_0 \cdot N(k) \cdot e^{-N(k)}$$

Здесь R_0 (basic ratio index) показывает, во сколько увеличилась численность популяции в следующем поколении при благоприятных условиях, а множитель $e^{-N(k)}$ характеризует уменьшение численности животных из-за внутривидовой конкуренции.

Требуется провести расчет динамики численности на 50 поколений при $R_0=5$ и численности первого поколения 0,1 миллиона особей.

Для моделирования динамики вида внесем данные в условия параметры и формулы в следующую электронную таблицу.

	А	В
1	МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ	
2	Исходные данные	
3	0,1	численность первого поколения
4	5	индекс возрастания численности
5	Расчетная таблица	
6	номер поколения	Количество особей
7	1	=A3
8	=A7+1	=\$A\$4*B7*EXP(-B7)
9	Заполнить до A56	Заполнить до B56

Примечание. Для ячеек диапазона В7:В56 нужно выбрать числовой формат с числом десятичных знаков, равняющимся шести.

В соответствии с полученными данными по изменению численности поколений определенного вида животных постройте диаграмму, выбрав тип диаграммы «Точечная с гладкими кривыми и маркерами».

Задание по разработанной модели.

Проанализируйте динамику данного вида животных при различных индексах возрастания их численности. Рассмотрите случаи, когда $R_0=10$ и $R_0=15$.

Для выполнения этого задания нужно скопировать результаты первого эксперимента (ячейки B7:B56) и, используя команду «Специальная вставка, значения и форматы чисел», вставить их в диапазон C2:C51. В ячейку C1 введите заголовок «Динамика вида при $R_0=5$ ».

После этого в ячейку A4 вводится значение индекса возрастания численности вида, равное 10 и табличный процессор автоматически пересчитывает количество особей в последующих поколениях. Полученные данные копируются и, используя команду «Специальная вставка, значения и форматы чисел», размещаются в диапазон D2:D51. В ячейку D1 нужно внести заголовок «Динамика вида при $R_0=10$ ».

Аналогично производится расчет количества особей в последовательных поколениях вида для индекса возрастания численности, равняющегося 15, а полученные вставляются в диапазон E2:E51. В ячейку E1 вносится заголовок «Динамика вида при $R_0=15$ ».

По результатам полученных расчетов на основе разработанной модели строятся графики динамики численности последовательных поколений данного вида. При этом каждый график выполняется в отдельной системе координат, а для построения применяется тип диаграммы «Точечная с гладкими кривыми и маркерами».

Сформулировать выводы о специфике динамики численности вида при различных индексах возрастания количества особей.

Моделирование динамики плотности популяции вида в течение определенного временного интервала

Цель моделирования: создание и апробация модели динамики плотности популяции с учетом рождаемости и смертности особей данного вида.

Объектом моделирования является процесс последовательного изменения плотности популяции особей изучаемого вида в определенный временной период.

Приступая к осуществлению моделирования, определим содержание основных применяемых понятий.

Плотность популяции – это число особей, приходящаяся на единицу площади или объема жизненного пространства. Измерением плотности пользуются в тех случаях, когда важнее знать не конкретную величину популяции в тот или иной момент времени, а ее динамику, то есть ход изменений численности во времени.

Рождаемость характеризует способность популяции к увеличению численности за счет размножения особей.

Показатель рождаемости – это число новых особей (также яиц, семян), родившихся (вылупившихся, отложенных) в популяции за определенный промежуток времени.

Смертность – это показатель, противоположный рождаемости. Смертность, как и рождаемость, выражается числом особей, погибших за данный период времени, но чаще в виде относительной или удельной величины. Такой величиной может быть процент особей, погибших в единичный отрезок времени.

Пусть известно начальное значение плотности популяции.

Плотность популяции к началу следующего года есть ее плотность к началу данного года плюс рождаемость и минус смертность.

Рождаемость зависит от плотности самок и плодовитости. Предположим, что в популяции равное количество самок и самцов, то, зная плотность популяции, можно определить плотность самок (плотность самок = $1/2$ плотности популяции). Плодовитость считается также известной по условию задачи. Число особей, погибших за год – это процент смертности от общей плотности популяции. Смертность популяции зависит так же и от величины плотности популяции.

Исходные данные:

плотность популяции (**P**) - 140 особей/га;

плодовитость - 1,3 детеныша в год.

Остальные показатели рассчитываются следующим образом:

плотность самок = $P/2$;

рождаемость (**R**) = плотность самок * плодовитость;

смертность (**S**) = $P * \text{удельная смертность}$;

где удельная смертность голубя = 27% в год, если $P < 300$, в противном случае она равна 50%;

Плотность популяции в каждом следующем году рассчитывается по формуле:

$$P_{i+1} = P_i + R_i - S_i$$

Для моделирования динамики вида внесем данные в условия параметры и формулы в электронную таблицу.

	А	В	С	Д	Е
1	Поколение	Плотность	Рождаемость	Смертность	Плотность начальная:
2	1	=E2	=B2/2*\$E\$4	Формула 1	140
3	=A2+1	=B2+C2-D2	Заполнить до C11	Заполнить до D11	Плодовитость:
4	Заполнить до A11	Заполнить до B11			1,3

В ячейку D2 вносится следующая формула для расчета смертности особей:

$$=ЕСЛИ(B2<300;B2*0,27;B2*0,5) \quad (1)$$

Примечание. Перед началом копирования введенных формул установить для ячеек В3, С2 и D2 числовой формат с числом десятичных знаков, равняющимся нулю.

В соответствии с полученными данными по изменению плотности популяции данного вида постройте диаграмму, выбрав тип диаграммы «Точечная с гладкими кривыми и маркерами».

Задание по разработанной модели.

Проанализируйте динамику плотности популяции данного вида животных в зависимости от изменения количества и плодовитости самок рассматриваемого вида животных.

Для выполнения этого задания нужно скопировать результаты первого эксперимента (ячейки B2:B11) и, используя команду «Специальная вставка, значения и форматы чисел», вставить их в диапазон F2:F11. В ячейку F1 введите заголовок «Динамика плотности популяции вида при первоначально заданных условиях».

После этого в ячейку E4 вводится значение коэффициента плодовитости, равное 1,5 и табличный процессор автоматически пересчитывает количество особей в последующих периодах наблюдения. Полученные данные для плотности популяции копируются и, используя команду «Специальная вставка, значения и форматы чисел», размещаются в диапазон G2:G11. В ячейку G1 нужно внести заголовок «Динамика плотности популяции вида при коэффициенте плодовитости равным 1,5».

Аналогично производится расчет плотности популяции особей в последовательных поколениях вида при исходных значениях параметров в столбце E электронной таблицы, но при условии, что количество самок в популяции составляет 25% особей. Для этого в ячейку C2 вводится формула:

$$=B2/4*E$4$$

Формула копируется в ячейки C3:C11.

Полученные расчетные данные плотности популяции копируются и вставляются в диапазон H2:H11. В ячейку H1 вносится заголовок «Динамика плотности популяции вида при плотности самок 25%».

По результатам полученных расчетов на основе разработанной модели строятся графики динамики плотности популяции данного вида. При этом каждый график выполняется в отдельной системе координат, а для построения применяется тип диаграммы «Точечная с гладкими кривыми и маркерами».

Сделать выводы о специфике динамики плотности популяции вида при различных коэффициентах плодовитости и плотности самок данного вида.

Моделирование эпидемиологической обстановки заболеваемости гриппом

Цель моделирования: разработка и проверка модели распространения инфекционного заболевания в условиях крупного населенного пункта на примере эпидемии гриппа.

Объектом моделирования является процесс развития эпидемии гриппа в условиях крупного населенного пункта.

Для осуществления процесса моделирования примем следующие **условия задачи**.

В городе, населённостью 1 млн. человек, начинается эпидемия гриппа. Требуется отследить «развитие» эпидемии, для этого сформировать таблицу, в которой отражены данные на каждый день эпидемии о:

- количестве заболевших на каждый день,
- количестве нетрудоспособных в связи с болезнью, если допустить, что заболевание длится 10 дней,
- количестве обращений к врачу, если считать, что больной обращается дважды к врачу: в начале заболевания и в конце,
- количестве обращений к врачу,
- количестве врачей для обслуживания больных, если на одного врача допускается двадцать посещений больных.

Требуется также построить графики, иллюстрирующие развитие эпидемии гриппа: рост числа заболевших, количество нетрудоспособных в связи с болезнью, число обращений к врачу, зависимость количества врачей, необходимых для обслуживания больных.

Моделирование данной задачи будем выполнять **в несколько этапов**: выявление исходных данных для её решения, разработка математической модели решаемой задачи и выбор метода решения, выполнение задачи и анализ полученных результатов.

Исходные данные:

- население города 1 млн. человек,
- допустим, в город приехали 20 человек, которые являются переносчиками гриппа.

Математическое представление задачи:

Для вычисления количества заболевших в определенный день эпидемии будем применять уравнение:

$$K = a \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (1), \text{ где:}$$

$a = 0,000002$ – коэффициент, характеризующий степень заразности для гриппа,

K_1 - количество не перенесших заболевание (без иммунитета),

K_2 - количество заболевших вчера (они активно продуцируют возбудитель).

Выполнение расчетов по данным задачи.

Для решения поставленной задачи в Excel формируется следующая таблица:

	A	B	C	D	E	F	G
1	День эпидемии	Ещё не перенесли грипп	Заболели сегодня	Всего заболели	Кол-во нетрудоспо- собных	число обращений к врачу	Количество врачей
2	1	1000000	20				
3	2						
4	3						

Количество дней эпидемии целесообразно взять не более 36.

Для расчёта количества «заболевших сегодня» в ячейку **C3** вводится формула на основании уравнения (1):

=ОКРУГЛ(0,000002*B2*C2;0); в этой формуле используется округление расчётных данных до целого значения.

Для расчёта «не перенесших гриппа» необходимо вычесть из количества не перенесших грипп в предыдущий день эпидемии количество заболевших сегодня, для этого в ячейку **B3** вводится формула **=B2-C3**

Выделив ячейки **B3** и **C3**, можно эти формулы скопировать на все дни эпидемии. При таком копировании координаты ячеек в формуле будут относительными, т.е. меняться в зависимости от адреса ячеек.

После расчёта начальный фрагмент таблицы выглядит так:

	A	B	C	D	E	F	G
1	день эпидемии	Ещё не перенесли грипп	Заболели сегодня	Всего заболели	Кол-во нетрудоспо- собных	Число обращений к врачу	Количество врачей
2	1	1000000	20				
3	2	999960	40				
4	3	999880	80				
5	4	999720	160				
6	5	999400	320				
7	6	998760	640				
8	7	997482	1278				
9	8	994932	2550				
10	9	989858	5074				
11	10	979813	10045				
12	11	960129	19684				
13	12	922331	37798				
14	13	852606	69725				
15	14	733710	118896				
16	15	559240	174470				

17	16	364099	195141				
18	17	221998	142101				
19	18	158906	63092				
20	19	138855	20051				
21	20	133287	5568				
22	21	131803	1484				
23	22	131412	391				
24	23	131309	103				
25	24	131282	27				
26	25	131275	7				
27	26	131273	2				
28	27	131272	1				
29	28	131272	0				

Таким образом, в каждый последующий день эпидемии расчёт числа заболевших производится относительно данных предыдущего дня эпидемии.

По таблице видно, что пик заболеваемости приходится на 16-ый день эпидемии, и уже к 28-му дню нет вновь заболевших гриппом.

Для расчёта на каждый день заболевших всего необходимо сложить заболевших сегодня и заболевших всего в предыдущий день, для этого в ячейку **D3** вводится формула $=C3+D2$ и затем эта формула копируется в ячейки столбца D на все дни эпидемии.

Для вычисления количества нетрудоспособного населения (находящихся на больничном) на каждый день эпидемии надо учитывать, что заболевание длится 10 дней, поэтому в первые десять дней количество нетрудоспособных в каждый день эпидемии равно числу заболевших сегодня плюс число получивших больничный лист вчера; формула вводится в ячейку **E3** такая: $=C3+E2$ и затем копируется на первые десять дней эпидемии. На 11-ый день эпидемии для расчёта количества нетрудоспособных на каждый день эпидемии надо сложить число заболевших сегодня и число получивших больничный лист вчера, и из полученной суммы вычесть число заболевших в первый день эпидемии, т.к. они уже здоровы. В ячейке **E12** вводится формула $=C12+E11-C2$ и затем копируется на остальные дни эпидемии.

Для расчёта числа обращений к врачу необходимо учесть, что больной обращается дважды к врачу: в начале заболевания и в конце заболевания, на десятый день болезни. Число обращений к врачу первые девять дней эпидемии равно количеству заболевших сегодня, а на десятый день эпидемии для расчёта числа обращений к врачу к количеству заболевших сегодня прибавляется число заболевших в первый день эпидемии. В ячейку **F2** вводится формула $=C2$, и эта формула копируется на девять дней эпидемии, в ячейку **F11** вводится формула $=C11+C2$ и затем эта формула копируется на все остальные дни эпидемии.

Последний расчёт – это количество врачей для обслуживания больных. Вычисляется в столбике G и равен числу обращений к врачу делить на 20 (по условию задачи на одного врача допускается 20-ть посещений больных за один приём), для этого в ячейку **G2** вводится формула $=ОКРУГЛ(F2/20;0)$.

После всех расчётов таблица выглядит так:

	A	B	C	D	E	F	G
1	день эпидемии	Ещё не перенесли грипп	Заболели сегодня	Всего заболели	Кол-во нетрудоспо- собных (на больничном)	число посещений врача	Количество врачей
2	1	1000000	20	20	20	20	1
3	2	999960	40	60	60	40	2
4	3	999880	80	140	140	80	4
5	4	999720	160	300	300	160	8
6	5	999400	320	620	620	320	16
7	6	998760	640	1260	1260	640	32
8	7	997482	1278	2538	2538	1278	64
9	8	994932	2550	5088	5088	2550	128
10	9	989858	5074	10162	10162	5074	254
11	10	979813	10045	20207	20207	10065	503
12	11	960129	19684	39891	39871	19724	986
13	12	922331	37798	77689	77629	37878	1894
14	13	852606	69725	147414	147274	69885	3494
15	14	733710	118896	266310	266010	119216	5961
16	15	559240	174470	440780	440160	175110	8756
17	16	364099	195141	635921	634661	196419	9821
18	17	221998	142101	778022	775484	144651	7233
19	18	158906	63092	841114	836026	68166	3408
20	19	138855	20051	861165	851003	30096	1505
21	20	133287	5568	866733	846526	25252	1263
22	21	131803	1484	868217	828326	39282	1964
23	22	131412	391	868608	790919	70116	3506
24	23	131309	103	868711	721297	118999	5950
25	24	131282	27	868738	602428	174497	8725
26	25	131275	7	868745	427965	195148	9757
27	26	131273	2	868747	232826	142103	7105
28	27	131272	1	868748	90726	63093	3155
29	28	131272	0	868748	27634	20051	1003
30	29	131272	0	868748	7583	5568	278
31	30	131272	0	868748	2015	1484	74
32	31	131272	0	868748	531	391	20
33	32	131272	0	868748	140	103	5
34	33	131272	0	868748	37	27	1
35	34	131272	0	868748	10	7	0
36	35	131272	0	868748	3	2	0
37	36	131272	0	868748	1	1	0

Анализ полученных результатов.

Для анализа расчётных данных удобно построить два следующих графика. На первом из графиков будут представлены зависимости количества заболевших на каждый день эпидемии, количества нетрудоспособных в связи с болезнью, а также числа обращений к врачу в каждый день эпидемии. Вторым графиком отражает необходимое количество врачей для обслуживания заболевших жителей города.

Для построения графиков желательно использовать тип диаграммы «Точечная с гладкими кривыми», выделив для первого графика данные в столбцах А,С,Е,Ф; для второго графика данные в столбцах А,Г. При таком выборе типа графика первый столбец рассматривается как ось категорий.

Задание по разработанной модели.

Проанализируйте динамику эпидемического процесса при изменении определяющих его данных. Рассмотрите преобразование распространения эпидемии при условии различного количества приехавших в город переносчиков инфекционного заболевания.

Для выполнения этого задания нужно скопировать получившуюся таблицу и вставить ее в диапазон П1:О37, используя команду «Специальная вставка, формулы». Также исходную таблицу нужно разместить в диапазон Q1:W37, применяя команду «Специальная вставка, формулы».

После этого во вторую таблицу (первую копию исходной таблицы) в ячейку К2 вводится новое значение приехавших переносчиков заболевания, равняющееся 5. Табличный процессор автоматически пересчитывает данные, характеризующие распространение эпидемии.

В ячейку S2 второй копии исходной таблицы размещается новое значение приехавших переносчиков заболевания, равняющееся 50. Табличный процессор автоматически пересчитывает данные, представляющие распространение эпидемии.

По результатам второй таблицы строятся такие же два графика, как и по данным начальной таблицы.

Также по результатам третьей таблицы строятся графики, идентичные графикам по данным начальной таблицы.

На основании анализа полученных графиков делается вывод о характере изменения протекания эпидемии при различном количестве приехавших в город переносчиков инфекционного заболевания.

Моделирование процесса определения размера заработной платы сотрудников медицинской организации

Цель моделирования: создание и апробация модели расчета размера заработной платы работников медицинской организации при определенном фонде оплаты труда.

Объектом моделирования является процесс определения заработной платы сотрудника при некотором фонде оплаты труда коллектива медицинской организации.

В данной задаче определим штатный состав сотрудников медицинской организации. Пусть в штате лечебно-профилактической организации 8 санитарок, 12 медсестёр, 10 врачей, 3 заведующих отделениями, заместитель главного врача, заведующий аптекой, завхоз и главный врач. Общий месячный фонд зарплаты составляет 710000 рублей. Определить какими должны быть оклады сотрудников.

Разработка модели

За основу возьмём оклад санитарки, остальные оклады будем вычислять исходя из него. Каждый оклад является линейной функцией от оклада санитарки:

$$\text{Оплата} = \text{ОС} \cdot A_i + B_i,$$

где:

ОС – оклад санитарки,

A_i и **B_i** – определенные коэффициенты.

Пусть медсестра получает в 1,5 раза больше санитарки ($A_2=1,5$; $B_2=0$);

врач – в 2,5 раза больше санитарки ($A_3=2,5$; $B_3=0$);

заведующий отделением – на 2000 рублей больше, чем врач ($A_4=2,5$; $B_4=2000$);

заведующий аптекой – в 2 раза больше санитарки ($A_5=2$; $B_5=0$);

завхоз – на 2000 рублей больше медсестры ($A_6=1,5$; $B_6=200$);

заместитель главного врача – в 4 раза больше санитарки ($A_7=4$; $B_7=0$);

главный врач медицинской организации – на 2000 рублей больше заместителя главного врача ($A_8=4$; $B_8=200$).

Сумма всех рассмотренных окладов труда сотрудников медицинской организации представляет собой соответственно общий месячный фонд зарплаты.

Внесем данные задачи в электронную таблицу согласно приводимому далее рисунку.

	A	B	C	D	E	F	G
1		Коэффициент А	Коэффициент В	Зарплата сотрудника	Кол-во сотрудников	Суммарная зарплата	Зарплата санитарки
2	Санитарка	1	0	Формула 1	8	=D2*E2	1000
3	Медсестра	1,5	0	Формула 2	12	=D3*E3	
4	Врач	2,5	0	Формула 3	10	=D4*E4	
5	Зав.отделением	2,5	2000	Формула 4	3	=D5*E5	
6	Зав.аптекой	2	0	Формула 5	1	=D6*E6	
7	Завхоз	1,5	2000	Формула 6	1	=D7*E7	
8	Зам.главврача	4	0	Формула 7	1	=D8*E8	
9	Главный врач	4	2000	Формула 8	1	=D9*E9	
10						Формула 9	

Первоначально в ячейку G1, где потом будет рассчитана заработная плата санитарки, размещается некоторое исходное значение, например 1000.

Формулу, введенную в ячейку F2, как представлено в таблице, возможно скопировать и вставить в ячейки от F3 до F8. Диапазон F2:F8. будет заполнен в соответствии с приведенным рисунком.

В ячейку D2 вводится формула:
=B2*\$G\$2+C2 (Формула 1)

Данная формула копируется и вставляется в ячейки от D3 до D9. Соответственно будут получены выражения для формулы 2 и далее по формулу 8, определяющие размер зарплаты представителя каждой категории сотрудников.

В ячейку F10 вводится формула:
=СУММ(F2:F9) (Формула 9)

Данное выражение позволяет рассчитать общий месячный фонд оплаты труда всех сотрудников медицинской организации.

Теперь осуществим подбор значений оплаты труда сотрудников, основываясь на том, что имеется месячный фонд заработной платы сотрудников, равняющийся 710000 рублей.

Расчет выполняется с помощью команды **Анализ «что если»**, размещенной на вкладке **Данные** в группе **Работа с данными**. В меню команды выбираем пункт **Подбор параметра**. Далее в открывшемся диалоговом окне в строке «Установить в ячейке» вводим ячейку \$F\$10; в строке «Значение» вносим размер фонда оплаты труда, равняющийся 710000 рублей, а в строке «Изменяя значение ячейки» вносим ячейку \$G\$2, после этого нажимаем кнопку «ОК». Табличный процессор производит перерасчет заработной платы сотрудников в соответствии с выбранными параметрами.

Задание по разработанной модели.

Используя разработанную модель, ответить на вопросы:

1) какой будет зарплата сотрудников организации, если месячный фонд оплаты труда возрастет до 850000 рублей?

2) каким должен быть месячный фонд оплаты труда, чтобы зарплата врача составляла 35000 рублей?

Моделирование процесса определения размера заработной платы сотрудников медицинской организации при условии оптимизации фонда оплаты труда

Цель моделирования: создание и проверка модели расчета размера заработной платы работников медицинской организации при соблюдении требований оптимизации фонда оплаты труда.

Объектом моделирования является процесс определения заработной платы сотрудника при соблюдении определенных требованиях к фонду оплаты труда коллектива медицинской организации.

В данной задаче определим штатный состав сотрудников медицинской организации следующим образом. Пусть в штате больницы необходимо иметь 5-7 санитарок, 7-10 медсестёр, 10 врачей, 3 заведующих отделениями, заместителя главного врача, заведующего аптекой, завхоза и главного врача. Общий месячный фонд зарплаты должен быть минимален. Определить какими должны быть оклады сотрудников, при условии, что оклад санитарки не должен быть меньше прожиточного минимума 8000 рублей.

Разработка модели

За основу возьмём оклад санитарки, остальные оклады будем вычислять исходя из него. Каждый оклад является линейной функцией от оклада санитарки:

$$\text{Оплата} = \text{ОС} \cdot \text{A}_i + \text{B}_i,$$

где:

ОС – оклад санитарки,

A_i и **B_i** – определенные коэффициенты.

Пусть медсестра получает в 1,5 раза больше санитарки ($A_2=1,5$; $B_2=0$);

врач – в 2,5 раза больше санитарки ($A_3=2,5$; $B_3=0$);

заведующий отделением – на 2000 рублей больше, чем врач ($A_4=2,5$; $B_4=2000$);

заведующий аптекой – в 2 раза больше санитарки ($A_5=2$; $B_5=0$);

завхоз – на 2000 рублей больше медсестры ($A_6=1,5$; $B_6=200$);

заместитель главного врача – в 4 раза больше санитарки ($A_7=4$; $B_7=0$);

главный врач медицинской организации – на 2000 рублей больше заместителя главного врача ($A_8=4$; $B_8=200$).

Сумма всех рассмотренных окладов труда сотрудников медицинской организации представляет собой соответственно общий месячный фонд зарплаты.

Внесем данные задачи в электронную таблицу согласно приводимому далее рисунку.

	A	B	C	D	E	F	G
1		Коэффициент А	Коэффициент В	Зарплата сотрудника	Кол-во сотрудников	Суммарная зарплата	Зарплата санитарки
2	Санитарка	1	0	Формула 1	6	=D2*E2	9000
3	Медсестра	1,5	0	Формула 2	8	=D3*E3	Прожиточный минимум
4	Врач	2,5	0	Формула 3	10	=D4*E4	8000
5	Зав.отделением	2,5	2000	Формула 4	3	=D5*E5	
6	Зав.аптекой	2	0	Формула 5	1	=D6*E6	
7	Завхоз	1,5	2000	Формула 6	1	=D7*E7	
8	Зам.главврача	4	0	Формула 7	1	=D8*E8	
9	Главный врач	4	2000	Формула 8	1	=D9*E9	
10						Формула 9	

Первоначально в ячейку G1, где потом будет рассчитана заработная плата санитарки, размещается некоторое исходное значение, например 9000.

Формулу, введенную в ячейку F2, как представлено в таблице, возможно скопировать и вставить в ячейки от F3 до F8. Диапазон F2:F8. будет заполнен в соответствии с приведенным рисунком.

В ячейку D2 вводится формула:
 $=B2*G2+C2$ (Формула 1)

Данная формула копируется и вставляется в ячейки от D3 до D9. Соответственно будут получены выражения для формулы 2 и далее по формулу 8, определяющие размер зарплаты представителя каждой категории сотрудников.

В ячейку F10 вводится формула:

$=СУММ(F2:F9)$ (Формула 9)

Данное выражение позволяет рассчитать общий месячный фонд оплаты труда всех сотрудников медицинской организации.

Теперь осуществим подбор значений оплаты труда сотрудников, основываясь на том, что месячный фонд заработной платы сотрудников должен быть минимальным.

Расчет выполняется с помощью команды **Поиск решения**, размещенной на вкладке **Данные** в группе **Анализ**. Если данной кнопки на вкладке нет, то следует в группе команд **Файл** выбрать надстройку **Поиск решения**, после чего одноименная кнопка появится на вкладке **Данные**.

После нажатия на данную кнопку появляется диалоговое окно, в котором мы вводим значения следующим образом.

В строке **Оптимизировать целевую функцию** указываем $=F10$ – абсолютную ссылку на ячейку F10, в которой отражается фонд оплаты труда.

Выбираем вариант оптимизации **Минимум**.

В поле **В соответствии с ограничениями** добавляем следующие ограничения, определяемые условием данной задачи.

$$E_2 \leq 7$$

$$E_2 \geq 5$$

$$E_3 \leq 10$$

$$G_2 \geq G_4$$

Отмечаем, ставим галочку **Сделать переменные без ограничений неотрицательными.**

В поле **Изменяя ячейки переменных** вносим абсолютные ссылки на ячейки, данные в которых меняются в установленных в соответствии с условием задачи пределах. Для решаемой задачи такими переменными выступают количество санитарок и медсестер и оклад санитарки.

$$E_2; E_3; G_2$$

Выбираем метод решения **Поиск решения нелинейных задач методом ОПГ.**

Нажимаем кнопку **Найти решение.**

Табличный процессор производит перерасчет заработной платы сотрудников в соответствии с выбранными параметрами.

Затем в диалоговом окне **Результаты поиска решения** выбираем **Сохранить найденное решение** и нажимаем кнопку **ОК.**

Результаты найденного табличным процессором решения в соответствии с определенными в задаче ограничениями будут представлены в электронной таблице.

Задание по разработанной модели.

Используя разработанную модель, ответить на вопросы:

1) каким должен быть минимальный месячный фонд оплаты труда, количество и оклады сотрудников, если прожиточный минимум увеличится до 10000 рублей?

2) каким будет минимальный фонд оплаты труда при необходимости увеличить имеющийся штат врачей на одного или двух специалистов, и какое количество врачей в данной медицинской организации будет соответствовать требованию минимальности фонда оплаты труда?