

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ	5
2. ИЗУЧЕНИЕ АНАЛИЗАТОРОВ И РЕЦЕПТОРОВ ОРГАНИЗМА – ЭЛЕМЕНТОВ КИБЕРНЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ВНЕШНЕЙ СРЕДОЙ.....	10
3. ГОМЕОСТАЗ. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И САМОРЕГУЛЯЦИЯ ФУНКЦИЙ.....	19
4. ИЗУЧЕНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ УСЛОВНЫХ РЕФЛЕКСОВ – КАК ЗВЕНА КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ.....	24
5. ИССЛЕДОВАНИЕ ПСИХИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА – КАК ЭЛЕМЕНТА ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В КОНТУРЕ «ЭВМ-ОПЕРАТОР».....	40
6. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОПУЛЯЦИОННЫХ ВОЛН ДИНАМИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ	49
7. ФОРМИРОВАНИЕ МНОЖЕСТВА ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИЛИ ОРГАНА КАК ЭЛЕМЕНТА КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	63
8. МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ УРАВНЕНИЕМ ПЕРВОГО ПОРЯДКА.....	75
9. КИБЕРНЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕГУЛЯЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ И ПОТООТДЕЛЕНИЯ....	101
10. КИБЕРНЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПРОБЫ «ЗАДЕРЖКА ДЫХАНИЯ».....	104
11. Управление экологической ситуацией	106

Введение

Структура методических указаний по выполнению лабораторного практикума: цель и задачи работы, информационные материалы (включая краткие теоретические сведения), методические указания по выполнению работы, библиография.

Порядок выполнения.

1. Изучить информационные материалы к занятию, включая рекомендованную литературу и лекции.
2. Выполнить работу согласно методическим указаниям.
3. Осуществить обработку полученных результатов.
4. Оформить отчет к работе.
5. Подготовиться к отчету – собеседованию с преподавателем по тематике работы (защите полученных результатов) или обсуждению результатов в студенческой группе.

Содержание отчета.

1. Цель работы. Постановка задач лабораторных исследований.
2. Этапы проведения, полученные результаты, анализ и выводы.
3. Ответы на контрольные вопросы (не менее 3), аннотации содержания информационных источников (100-200 слов по каждому).

Использование информационных технологий в процессе лабораторного практикума

Наименование программных средств	Цель применения в учебном процессе дисциплины
Excel, Mathcard, GARM, MGUA, PC TOOLS, MATLAB, STATISTICA	Расчет статистических характеристик, построение графиков; Графический анализ результатов математического моделирования; Идентификация нелинейных структур математических моделей методом группового учета аргументов; Параметрическая идентификация множественной линейной регрессии и оценка адекватности по статистическим критериям; Переход из многомерного факторного пространства в двумерное; Расчет статистических и гармонических характеристик (включая энтропию) пульсограммы.

1. ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ

Цель работы: овладение навыками количественной оценки, характеризующей функционального состояния человека с помощью синтеза комплексного показателя, чувствительного к утомлению.

Краткие теоретические сведения.

В современных биотехнических системах (БТС) эргатического типа надежность и эффективность деятельности оператора как управляющего звена являются доминирующим фактором надежности системы в целом.

Чаще всего в качестве функционального состояния рассматривается напряженность состояния оператора, определенным образом связанная с качеством его деятельности. Наиболее часто рассматривают такие характеристики как: уровень активации, утомление, эмоциональное возбуждение. Таким образом, в целом задача эргономической оценки может формулируется следующим образом.

Необходимо получить формализованное выражение зависимости воздействия эргономических факторов на качество деятельности и состояние операторов в виде регрессионной модели:

$$Q = f(C, S) \quad , \quad (1)$$

где Q - качество деятельности, C - сложность системы, S - состояние оператора.

Совокупность эргономических факторов, включающих конструктивные характеристики системы, параметры окружающей среды, условия работы и характеристики задач, можно выразить в виде значений факторов, измеряемых физическими величинами. Для их преобразования в факторы психологической сложности следует определить нагрузки на каждый из факторов, которые определяют его степень влияния на качество деятельности:

$$C = C_0 + \sum(C_i * X_i) \quad , \quad (2)$$

где C_i - нагрузка на фактор сложности i , X_i - значение фактора сложности.

На первом этапе следует определить вид функциональной системы, на который следует опираться при структурно-параметрической идентификации формулы (1). В качестве такового предлагается принять уровень активации или более общее понятие «ресурса». Под этим понятием отождествляются усилия, вкладываемые человеком в определенную деятельность, и рассматривают эти усилия как результат активации тех функциональных систем организма, которые обеспечивают данную деятельность. Т.е. формула (1) принимает вид: $Q = f(R)$, где R - ресурс системы. Гипотетически можно предположить логистический характер данной зависимости: по мере роста R качество Q увеличивается до тех пор, пока либо ресурс не достигнет максимальной для данного субъекта величины, либо условия работы окажутся такими, что выше определенного значения величина Q практически не меняется.

Предлагается следующий способ определения величины затрачиваемого ресурса (Ахутина В.М.). Оператор выполняет некоторую задачу (работу) за фиксированное время T . При этом, путем повышения уровня требуемого значения качества деятельности Q добиваются максимальной для данного оператора затрат ресурса R_{max} . Затем оператору предлагается выполнить за то же время две задачи аналогичные первой (качество выполнения должно остаться тем же). Далее предлагается три задачи. Таким образом, имеем соответствующие базовые точки на графике (Q_1, R_{max}) , $(Q_2, R_{max}/2)$, $(Q_3, R_{max}/3)$, $(0,0)$. Далее оператору предлагается выполнить две задачи: одну с фиксированным качеством Q_3 , а другую с максимально возможным значением качеств Q_4 , но так, чтобы общий затрачиваемый ресурс был равен R_{max} . Тогда согласно сделанным предположениям, имеем координаты четвертой точки $(Q_4, 2 \cdot R_{max}/3)$. Если данная точка принадлежит аппроксимированной кривой, то сформулированные предположения по искомой зависимости адекватно отражают действительность. В рамках предложенного подхода оценки функционального состояния напряженность деятельности следует определять как:

$$Z = R / R_{max} , \quad (3)$$

Отсюда хорошо видно, что Z зависит не только от затрат ресурса, но и от возможностей оператора, характеризуемых величиной R_{\max} , для данного типа ресурса.

В рамках этого же подхода утомление можно интерпретировать как уменьшение величины R_{\max} в результате длительной и тяжелой работы и вычислить величину утомления по формуле:

$$\Delta R_{\max} = F_t = f_y \left(\int_{T_0}^{T_{\text{лат}}} R(t) dt \right), \quad (4)$$

Зная, определенную эмпирически, функцию f_y можно прогнозировать момент времени, когда поддержание требуемого качества деятельности становится невозможным или маловероятным из-за развития слишком сильного утомления.

Одним из показателей, чувствительных к появлению начальной стадии умственного утомления, является комплексный показатель вида

$$K_p = (H(\text{фд}) - H(\text{фд}/rr)) / H(rr), \quad (5)$$

где $H(\text{фд})$ - энтропийная характеристика последовательности фаз дыхания, $H(rr)$ - энтропийная характеристика кардиоинтервалограммы, нормированная относительно среднего значения, $H(\text{фд}/rr)$ - полная условная энтропия последовательности фаз дыхания относительно последовательности кардиоинтервалов.

Порядок выполнения работы

1. Заготовить 10 квадратов размером 150x150. Внутри каждого квадрата нарисовать на одинаковом расстоянии от центра четыре окружности радиусом 20. Все полученные тренажеры должны быть идентичными.
2. Для оценки Q_{1_0} и R_{\max} поступаем следующим образом. Выполняется следующая задача: за 30 секунд поставить как можно больше точек в 4 кругах как можно равномернее, не дублируя и не выходя за пределы окружностей, обходя окружности по часовой стрелке, кисть руки не опирается. Далее подсчитывается количество проставленных точек вообще (примем этот показатель за R_{\max}) и количество точек попавших в окружности (его примем за Q_1).

3. За 30 секунд повторить п.2 одновременно работая с двумя квадратами. Подсчитать, соответственно Q_2 , R_2 как среднее количество точек, попавших в круги в двух квадратах.
4. За 30 секунд проделать п.2 одновременно работая с тремя квадратами. Получить аналогичным образом координаты третьей точки.
5. Построить аппроксимирующую кривую.
6. На одном квадрате проделать п.2, но при этом задается количество точек R_{\max} , а время t фиксируется в ходе опыта. Подсчитайте координаты Q_4 и R_4 и приведите их к тому же времени эксперимента, что и ранее (30 сек.). В данном опыте рекомендуется задать R_{\max} на 40-50 % большее полученного в п.2.
7. Повторите п.6 с двумя квадратами и принципом проведения п.3. Получите, соответственно Q_5 и R_5 .
8. Нанесите полученные результаты на кривую, выполненную в п.5.
9. Оцените визуально и по среднеквадратичному критерию насколько построенные кривые $Q = f(R)$ адекватна (чем ближе четвертая и пятая точки к кривой, тем адекватнее) действительности.
10. Оцените логистический характер зависимости следующим образом: повторите эксперимент и зафиксируйте время T_{\max} , когда визуально в ходе эксперимента испытуемый заполняет точками 80-90 % площади кругов без слияния точек. Определите $Q_0 = Q \cdot 30 / T_{\max}$ $R_0 = R \cdot 30 / T_{\max}$. Отложите эту точку на графике, продолжите аппроксимацию кривой и сделайте выводы.
11. Оформите отчет о выполнении практической работы: краткие теоретические сведения, 10 экспериментальных тренажеров с результатами, построенный график и выводы, краткие ответы на контрольные вопросы (не менее 5).

Примечание: между каждым экспериментом старайтесь делать перерыв в 5-10 минут с гимнастикой для рук для обеспечения большей чистоты опыта.

Контрольные вопросы:

1. Как осуществляется прогноз функционального состояния оператора в зависимости от нагрузки?

2. Каким образом может использоваться биологическая обратная связь для управления состоянием оператора ЭВМ?
3. Каким образом фиксируется начало умственного утомления оператора в УБТС, в котором применяется вычислительная техника?
4. По какому закону нарастает утомляемость оператора ЭВМ?
5. Как влияет физическая нагрузка на утомляемость оператора?
6. Какие показатели изменения функционального состояния могут регистрироваться для оценки утомляемости оператора ЭВМ?
7. Как влияет утомляемость оператора ЭВМ на функционирование управляющей системы в целом?

2. ИЗУЧЕНИЕ АНАЛИЗАТОРОВ И РЕЦЕПТОРОВ ОРГАНИЗМА – ЭЛЕМЕНТОВ КИБЕРНЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ВНЕШНЕЙ СРЕДОЙ

Цель работы: Изучение анализаторов и рецепторов центральной нервной системы человека и приобретение практических навыков проведения экспериментальных исследований (и обработки результатов) характеристик анализаторов и рецепторов человека.

Краткие теоретические сведения.

Любой живой организм существует только в том случае, если осуществляется информационно-энергетический и вещественный взаимодействия с окружающей средой для достижения определенной цели при минимальных потерях (лучше – приобретениях) адаптационного резерва. В рамках данного аспекта, центральная нервная система человека постоянно анализирует информацию об изменениях, происходящих внутри организма и вне него. Вся афферентная информация перерабатывается в соответствующих отделах мозга (и-или различных функциональных системах) для поддержания гомеостаза адаптационных возможностей. Восприятие внешней и внутренней информации, ее передачу и анализ в высших отделах центральной нервной системы осуществляет координация комплекса анализаторов.

Впервые, четкое понятие анализатора было введено Павловым И.П., согласно которому анализатор включает в себя: периферический рецепторный отдел (воспринимающий раздражение), проводниковый отдел (по которому сигнал передается от рецептора к центру) и центральный участок (где и заканчивается афферентный путь и происходит анализ воспринимаемых раздражителей и синтез управляющих сигналов). При этом, каждый рецептор в результате онто- и филогенезов приспособлен в конкретный момент времени к восприятию определенного типа раздражителей. Знание о характеристиках анализаторов и рецепторов различного функционального назначения позволяет адекватно осуществлять прогнозирование и

возможности управления (как ауто так и внешнего) адаптационными возможностями организма в целом и его реакцию на определенные раздражители, в том числе, соматического, психического и психологического характеров на определенные раздражители.

Рассмотрим описание простых экспериментов по исследованию ряда характеристик анализаторов и рецепторов человека.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТРОТЫ ЗРЕНИЯ.

Острота зрения человека определяется способностью глаза различать две хорошо освещенные и близко расположенные точки раздельно. Для определения раздельного видения двух точек необходимо, чтобы между возбужденными колбочками находилась не менее одной невозбужденных. Поскольку диаметр колбочек порядка 3 мкм, то для раздельного видения двух точек необходимо, чтобы расстояние между их изображениями на сетчатке составляло не менее 4 мкм при угле зрения одна минута. В противном случае две наблюдаемые точки сливаются в одну.

Для определения остроты зрения предварительно изготавливается специальная таблица, состоящая из ряда букв (или иных символов) или незамкнутых окружностей, расположенных по разному. В каждой строке символы (составляющие абракадабрический текст) имеет разные размеры. (Например, последовательно уменьшаются от шрифта в 48 пикселей до 12, с шагом 4).

Определение остроты зрения определяется по формуле (1).

$$V = \frac{d}{D}, \quad (1)$$

где V – острота зрения, d – расстояние исследуемого до таблицы, D – расстояние, с которого данная строка правильно читается нормальным глазом (расстояния измеряются в см.).

Эксперимент предлагается осуществить следующим образом. Таблица помещается на доску. Испытуемый отходит на максимальное расстояние, на котором он перестает различать верхний текст. По мере приближения к таблице фиксируются расстояния L_i , когда начинает читаться строка i . (Для

объективности следует «читать» одним глазом). Динамическая острота зрения определяется по формуле (2).

$$Vd = \frac{\sum_{i=1}^N (L_i \cdot H_i)}{(\max_i (H_i)) \cdot \sum_{i=1}^N (L_i)}, \quad (2)$$

где H_i – размер символа, N – количество выполненных измерений.

Заметим, что предложенная методика отличается от традиционно применяемой в медицинской практике, но, являясь линейной функцией от традиционного показателя, может использоваться для оценки остроты зрения. Поскольку, как правило, испытуемый знает традиционно полученный показатель остроты зрения, полученный в ходе последнего медицинского осмотра, то предлагается сравнить значение данных показателей.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЯ ЗРЕНИЯ.

Пространство, которое видит глаз человека при фиксации взгляда в одной точке, называют полем зрения. Определение поля зрения применяют для диагностики поражений сетчатки и зрительных путей с помощью стандартного бланка определения периметра Форстера. Предлагается применять следующий сокращенный вариант исследования.

Выбирается любой предмет, хорошо различимый на фоне других – например, ключ от аудитории. Испытуемый помещается спиной к источнику света (окну) в свободной позе, сидя, голова не наклонена и не повернута. Экспериментатор помещает выбранный предмет напротив носа испытуемого на расстоянии 30 см. (расстояние фиксируется). Затем перемещает предмет вдоль горизонтальной плоскости слева-направо и определяет расстояния при которых испытуемый перестает однозначно идентифицировать предмет. Затем опыт повторяется при передвижении предмета в вертикальной плоскости. Затем опыт повторяется при одновременном перемещении предмета в горизонтальной и вертикальных плоскостях. Фиксируются соответствующие «углы различения» путем фиксации соответствующих расстояний в сантиметрах и дальнейшего расчета угла по известным тригонометрическим формулам (в радианах). Опыт повторяется по мере удаления предмета от носа испытуемого 5 раз на расстояния: 60 см, 100 см, 150 см, 200 см, 250 см. По полученным (расчетным)

данным на миллиметровой бумаге (или с помощью инструментальных компьютерных средств) моделируется поле зрения объемного характера и вычисляется два показателя: объем (в см³ с точность до десятичного знака) и симметричность (отношение углов зрения лево-право, верх-низ). Значения показателей фиксируются и сравниваются с предполагаемым периметром Форстера (выбрав горизонтальную плоскость на расстоянии 100 см.)

СЛЕПОЕ ПЯТНО НА СЕТЧАТКЕ ГЛАЗА.

Слепое пятно на сетчатке глаза демонстрируется с помощью опыта Мариотта. Предварительно изготавливается специальная черная карточка с изображением белого кружка справа и белого крестика слева – представлен на рисунке 1.

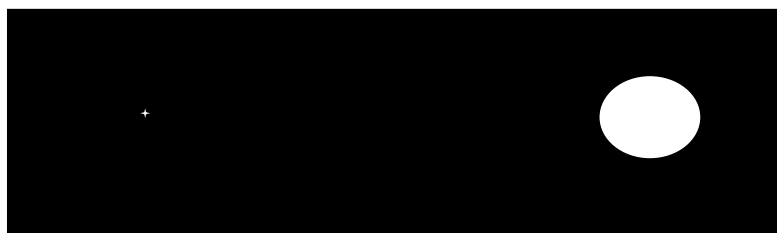


Рисунок 1. Карточка для демонстрации слепого пятна

Испытуемому предлагают закрыть левой рукой глаз и держа карточку в вытянутой правой руке, медленно приближать ее к открытому правому глазу. При этом испытуемый фиксирует взгляд на левом изображении (крестике). На расстоянии (приблизительно - 20-25 см) от глаза правое изображение (круг) исчезает – расстояние фиксируется. Данный факт является доказательством наличия на сетчатке слепого пятна, т.е. участка не имеющего зрительных рецепторов. Опыт может быть модифицирован: под разными углами, разным освещением, разными глазами, разными цветами (фон-изображение).

КОСТНАЯ И ВОЗДУШНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ ЗВУКА.

В классическом виде исследования проводятся с помощью камертона. В данном случае предлагается использовать имеющиеся у учащихся средства мобильной связи и наушники как источник звука. Источник звука прикладывается: к темени, затылку, зубам, шеи, тыльной стороны руки, к каждому из ушей (второе

закрывается тампоном) (как внутри уха, так и в 1 см от ушной раковины непосредственно около ушного отверстия). Фиксируется сила звука (громкость), при которой воспринимается и идентифицируется звуковой сигнал (например, слова песни или определенная мелодия).

ИССЛЕДОВАНИЕ ТАКТИЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ.

В коже рецептора находятся рецепторы тактильной, болевой и температурной чувствительности. Тактильные рецепторы расположены на поверхности тела неравномерно (больше всего их на кончиках пальцев, ладонях, кончике языка, меньше всего – на спине).

Оценка тактильной чувствительности осуществляется следующим образом. Испытуемого, сидящего на стуле, просят закрыть глаза. Циркулем одновременно прикасаются к различным участкам тела (пальцы рук, ладони, рука) и фиксируют на каком расстоянии между ножек циркуля различаются обе.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ (ТЕРМОЭСТЕЗИОМЕТРИЯ).

Холодовые терморепцепторы располагаются в поверхностных слоях кожи (0,16 мм), тепловые – в более глубоких слоях (около 0,3 мм). Распределение терморепцепторов в коже неравномерно. Меньше всего их в коже лица, больше всего – в коже конечностей. Первый опыт проводится следующим образом. Шприц (без иглы) заполняется теплой водой (50-70⁰). Осуществляется прикосновением шприца к различным участкам кожи и фиксируется ощущение – тепло или холод.

Второй опыт. Кисть руки опускают в теплую воду. По секундомеру определяется (и фиксируется) время адаптации терморепцепторов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГА ВКУСОВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ.

Рецепторы вкуса в основном расположены на сосочках языка. Некоторая часть вкусовых рецепторов локализуется в слизистой оболочке мягкого неба, миндалин, задней стенки глотки и надгорника. Различают четыре вида вкусовых рецепторов, воспринимающих соленое, сладкое, горькое и кислое.

Определение порога вкусовой чувствительности осуществляется следующим образом. Первоначально

приготавливают раствор соли различной концентрации. На язык испытуемого капается раствор и фиксируется его концентрация в момент осязаемости. (Перед каждым экспериментом рот испытуемого ополаскивается водой).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТРОТЫ ОБОНЯНИЯ.

В лабораторных условиях клинических испытаний для определения остроты обоняния применяется ольфактометр – прибор, предназначенный для определения остроты обоняния. В условиях проведения практического занятия предлагается следующая интерпретация. Испытуемый усаживается на стул в проветренном помещении. Со стороны спины к нему начинают медленно подносить открытый флакон с нашатырным спиртом (объемом не более 250 мл). Фиксируется (в сантиметрах) расстояние, с которого испытуемый начинает ощущать запах.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ВЕСТИБУЛЯРНОГО АНАЛИЗАТОРА.

Для исследования устойчивости вестибулярного аппарата потребуется вращающееся кресло и тонометр (с фиксацией пульса). Проводятся три опыта (Опыт 3 проводится исключительно по желанию испытуемого при его нормальном, ненапряженном состоянии и отсутствия гипертонии, гипотонии, различных аритмий и экстрасистол). Манжета тонометра во время опытов не снимается. Между опытами делается перерыв не менее 10 минут.

Опыт 1. Измеряются и фиксируются давление и пульс в состоянии покоя сидя. Испытуемый усаживается во вращающееся кресло и выполняется 10 его вращений в течении 10-12 секунд; по окончании быстро измеряются артериальное давление и пульс. Рассчитывается показатель возникшего дискомфорта Dis_1 по формуле (3).

Опыт 2. Измеряются и фиксируются давление и пульс в состоянии покоя сидя. Испытуемый встает и в течении 5 секунд делает как можно больше вращательных движений головой и садится на стул. Быстро измеряются артериальное давление и пульс. Рассчитывается показатель возникшего дискомфорта Dis_2 по формуле (3).

Опыт 3. Измеряются и фиксируются давление и пульс в состоянии покоя сидя. Испытуемый встает и переворачивается ассистентами кверху ногами. Через 5 секунд осуществляется возврат испытуемого в исходное сидячее состояние. Быстро измеряются артериальное давление и пульс. Рассчитывается показатель возникшего дискомфорта Dis_3 по формуле (3).

По окончании опыта рассчитывается величина Ves , характеризующая работу вестибулярного аппарата по формуле (4). Делается вывод.

$$Dis_1 = 1 - \frac{\frac{Ps^+ - Ps^-}{\max\{Ps^+, Ps^-\}} + \frac{Pd^+ - Pd^-}{\max\{Pd^+, Pd^-\}} + \frac{puls^+ - puls^-}{\max\{puls^+, puls^-\}}}{3}, \quad (3)$$

где: Ps – артериальное давление в систоле, Pd – артериальное давление в диастоле, $puls$ – пульс (удары в минуту), знаки «+» и «-» обозначают измерение показателя после и до опыта.

$$Ves = \sqrt[3]{Dis_1 \cdot Dis_1 \cdot Dis_1}. \quad (4)$$

Чем ближе значение показателей Dis_i и Ves к единице, тем лучше работает вестибулярный анализатор как информационное звено стабилизатора функционального состояния.

Порядок выполнения работы.

1. Определите остроту зрения по описанной в теоретических сведениях методике.
2. Определите поле зрения по описанной в теоретических сведениях методике.
3. Проведите опыт по демонстрации слепого пятна на сетчатке глаза (опыт Мариотта).
4. Проведите исследование костной и воздушной проводимости звука.
5. Проведите исследование тактильной чувствительности по описанной в теоретических сведениях методике.
6. Проведите исследование температурной чувствительности по описанной в теоретических сведениях методике.
7. Определите порог вкусовой чувствительности по описанной в теоретических сведениях методике.

8. Определите остроту обоняния по описанной в теоретических сведениях методике.
9. Исследуйте функциональную устойчивость вестибулярного анализатора при вращательных нагрузках.
10. Сформируйте сводную таблицу по результатам п.1-9 для всех студентов академической группы. С помощью средств электронной таблицы идентифицируйте регрессионные модели между характеристиками различных анализаторов. Сделайте вывод.
11. Ответьте на контрольные вопросы (каждый студент отвечает не менее чем на три вопроса из прилагаемых, номера которых определяются преподавателем).
13. Оформите отчет.
14. Подготовьте реферативный обзор по одному из контрольных вопросов, на которые не готовили ответы (п.11) и сделайте доклад-презентацию (5-10 минут).

Примечания: в ходе самостоятельной подготовки к интерактивной защите рекомендуется проанализировать соответствующие тематике контрольные (тестовые) вопросы; поскольку практическая работа предполагает возможность ее реализации без применения специального традиционного инструментария, то все предлагаемые в ней опыты не являются классическими, но отражают сущность рассматриваемого вопроса.

Контрольные вопросы:

1. Что такое анализатор?
2. Что такое рецептор?
3. Какие различают виды рецепторов?
4. Каковы физиологические свойства рецепторов?
5. Каковы механизмы возбуждения рецепторов?
6. В чем заключается явление адаптации рецепторов?
7. Каковы основные элементы оптической системы глаза?
8. Что такое рефракция?
9. Каковы функциональные особенности сетчатки: палочек и колбочек?
10. Что такое абсолютная световая чувствительность глаза?
11. Каковы современные представления о механизмах цветного зрения?
12. Как регистрирую электроретинограмму, и что она отражает?

13. Что такое острота зрения и как ее определяют?
14. Как определяют поле зрения?
15. Какова структура и функции слуховых рецепторов?
16. Каковы современные представления о механизмах восприятия звуковых колебаний различной частоты?
17. Каковы структура, функции и значение вестибулярного анализатора?
18. Что такое нистагм глаза и головы? В каких условиях возникает это явление?
19. Каковы структура и функции вкусового анализатора?
20. Как определяют пороги вкусовой чувствительности?
21. Каковы функции и строение обонятельного анализатора?
22. Каковы современные представления о болевой рецепции?
23. По каким волокнам проводятся в центральную нервную систему импульсы, вызывающие ощущение боли? Где расположены центры болевой чувствительности?
24. Что такое отраженные боли и чем они характеризуются?
25. Какие виды терморецепторов различают у различных видов животных и растений? Каковы особенности холодных и тепловых рецепторов?
26. Как осуществляется тактильная рецепция?
27. Чем характеризуются различные виды проприорецепторов?
28. Каковы функции, структура и значение двигательного анализатора?
29. Каково значение двигательного анализатора в функциях других анализаторов?
30. Чем характеризуются кинестетические сигналы?

3. ГОМЕОСТАЗ. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И САМОРЕГУЛЯЦИЯ ФУНКЦИЙ

Цель работы: изучение гомеостаза в биологических системах регулируемыми различными природными факторами и законами жизнедеятельности популяции и человека, функциональными системами организма человека и саморегуляцией функций различных процессов, физиологических систем, органов и нервными системами (периферической и центральной).

Порядок выполнения работы:

1. Выполните следующие упражнения и сделайте выводы.

Упражнение 1.

- Возьмите произвольный текст (впервые виденный) и подсчитайте количество букв М и Н в нем (не подчеркивая буквы)? Определите количество ошибок и время потраченное на поиск.
- Возьмите другой произвольный текст и выполните процедуру пункта 1
- Повторите пункты 1 и 2 меняя содержимое «произвольного текста» не менее 4 раз.
- Проанализируйте изменение времени и количества ошибок подсчета букв в повторяющемся и неповторяющемся текстах (постройте диаграммы).
- Сравните собственную диаграмму с диаграммами – усредненными показателями по группе обучающихся.
- Сделайте вывод о характере саморегуляции поисковых механизмах организма по мере «закрепительного обучения,

Второе упражнение. *Вызывание ощущения тяжести в руках и ногах, что сопровождается расслаблением поперечнополосатой мускулатуры.*

Формулы:

— «Моя правая рука тяжелая. Я чувствую это»..

— «Моя левая рука тяжелая. Я чувствую это».

— «Обе моих руки тяжелые. Я чувствую это».

— «Мои ноги тяжелые. Я чувствую это».

— «Все тело тяжелое; я чувствую тяжесть в руках, ногах, и во всем теле».

Зафиксируйте время ощущения тяжести. Сравните со средним временем по группе обучающихся с учетом пола (мужской и женский).

Третье упражнение. *Вызывание ощущения тепла в руках и ногах с целью овладения регуляцией сосудистой иннервации конечностей.*

Формулы:

— «Моя правая рука теплая. Я чувствую это».

— «Моя левая рука теплая. Я чувствую это».

— «Мои обе руки теплые. Я чувствую это».

— «Мои ноги теплые. Я чувствую это».

— «Я чувствую тепло в руках, ногах, и во всем теле».

Зафиксируйте время ощущения тепла.. Сравните со средним временем по группе обучающихся с учетом пола (мужской и женский).

Четвертое упражнение. *Вызывание ощущения прохлады в области лба с целью предотвращения и ослабления головных болей.*

Формулы:

— «Мой лоб прохладен».

Зафиксируйте время прохлады лба. Сравните со средним временем по группе обучающихся с учетом пола (мужской и женский).

Сделайте перерыв 10-15 минут. (Во время перерыва, например, повторяйте теоретический материал, беседуйте с преподавателем в ходе интерактивной защиты предыдущих лабораторных работ, изучайте лекционный материал.)

Пятое упражнение: Саморегуляция пульса.

(выполняется только в случае если нет противопоказаний со стороны функционирования сердечно-сосудистой системы)

- Измерьте пульс в течении одной минуты.
- В течении 1 минуты прокрутите педали на велооргоменте или выполните 30 приседаний..
- Измерьте пульс: непосредственно после выполнения пункта 2, через каждые две минуты (30 секунд на измерении, 90 секунд покоя) не менее 6 раз.
- Постройте график восстановления пульса в зависимости от времени восстановления организма.
- Примечание: Полученные экспериментальные и расчетные результаты систематизируйте в виде таблиц и диаграмм (например, с помощью средств электронных таблиц).

2. Ответьте на контрольные вопросы (каждый студент отвечает не менее чем на два вопроса из прилагаемых, номера которых определяются преподавателем).

4. Оформите отчет.

5. По результатам отчета осуществляется интерактивная защита полученных результатов в процессе собеседование с преподавателем по его содержанию и или обсуждения в студенческой группе.

Примечание: в ходе самостоятельной подготовки к интерактивной защите рекомендуется проанализировать соответствующие тематике контрольные (тестовые) вопросы.

6. Подготовьте доклад (до 5-7 минут) на один из невыбранных вопросов для его обсуждения в ходе занятия в группе. Обсуждение осуществляется в процессе практического занятия до проведения эксперимента и выполнения расчетов.

Контрольные вопросы:

1. Что такое саморегуляция биологических систем?
2. Что такое гомеостаз?
3. Какими свойствами обладают гомеостатические системы?
4. Как осуществляется регуляция уровня глюкозы в крови?
5. Какие существуют механизмы гомеостаза ?
6. Как осуществляется экологический гомеостаз?
7. В чем заключается сущность биологического гомеостаза?
8. Какие сферы затрагивает гомеостаз в организме человека?
9. Какие функции выполняет гомеостаз в организме человека?
10. Каким образом обеспечивается кислотно-щелочное равновесие в организме?
11. Что собой представляет функциональная система в организме? Какие компоненты в нее входят?
12. Какими общими свойствами характеризуется функциональная система организма?
13. На каких принципах осуществляется механизм саморегуляции?
14. Что такое «голографические экраны» мозга?
15. По каким организационным уровням разделяют функциональные системы?
16. Чем определяются межсистемные связи в организме?
17. В чем заключается и выявляется принцип мультипараметрического взаимодействия?
18. Как осуществляется последовательное взаимодействие функциональных систем?
19. Каким образом проявляются системные отношения человека с окружающей средой?
20. Что такое «системокванты» профессиональной деятельности человека?
21. Каким образом осуществляется системная диагностика эмоционального стресса?
22. Какие особенности имеют функциональные системы в патологии?
23. Как осуществляется системная компенсация нарушенных функций?

24. В чем заключается и как реализуется системный подход саморегуляции и самоорганизации социального поведения личности?
25. В чем заключается прогрессивная саморегуляция?
26. В чем заключается регрессивная саморегуляция?
27. На каких основных принципах базируется саморегуляция биологических систем и-или организма человека?
28. С какой целью, какие задачи решает и как осуществляется психический аутотренинг?
29. В чем заключается сущность аутогенной тренировки по Шульцу?
30. Какие упражнения лежат в основе психомышечной тренировки по А.В. Алексееву?
31. Какие методы саморегуляции используют при подготовке спортсменов?
32. В чем заключается репродуктивная тренировка при саморегуляции?
33. Как саморегулируется мышечный тонус?
34. Для чего и каким образом осуществляется ступенчатый активный гипноз?

4. ИЗУЧЕНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ УСЛОВНЫХ РЕФЛЕКСОВ – КАК ЗВЕНА КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Цель работы: Изучение условий возникновения и особенностей врожденных и приобретенных форм поведения у человека и животных и формирование условных рефлексов как звена кибернетической адаптационной системы функциональных систем организма.

Краткие теоретические сведения.

Основным механизмом нервной деятельности является рефлекс. Рефлекс — реакция организма на внешнее или внутреннее воздействие при посредстве центральной нервной системы. Термин «рефлекс», как уже отмечалось, был введен в физиологию французским ученым Рене Декартом в XVII веке. Но для объяснения психической деятельности он был применен лишь в 1863 году основоположником русской материалистической физиологии М.И.Сеченовым. Развивая учение И.М.Сеченова, И.П.Павлов экспериментально исследовал особенности функционирования рефлекса.

Все рефлексы делятся на две группы: условные и безусловные.

Безусловные рефлексы — врожденные реакции организма на жизненно важные раздражители (пищу, опасность и т.п.). Они не требуют каких-либо условий для своей выработки (например, рефлекс мигания, выделение слюны при виде пищи).

Безусловные рефлексы представляют собой природный запас готовых, стереотипных реакций организма. Они возникли в результате длительного эволюционного развития данного вида животных. Безусловные рефлексы одинаковы у всех особей одного вида; это физиологический механизм инстинктов. Но поведение высших животных и человека характеризуется не только врожденными, т.е. безусловными реакциями, но и такими

реакциями, которые приобретены данным организмом в процессе его индивидуальной жизнедеятельности, т.е. условными рефлексам.

Современная наука о мозге — нейрофизиология — базируется на концепции функционального объединения механизмов мозга для осуществления поведенческих актов. Эта концепция была выдвинута и плодотворно развивалась учеником И.П.Павлова академиком П.К.Анохиным в его учении о функциональных системах.

Функциональной системой П.К.Анохин называет единство центральных и периферических нейрофизиологических механизмов, которые в своей совокупности обеспечивают результативность поведенческого акта.

Первоначальная стадия формирования любого поведенческого акта названа П.К.Анохиным афферентным синтезом (в переводе с латинского — “соединение приносимого”).

В процессе афферентного синтеза происходит обработка разнообразной информации, поступающей из внешнего и внутреннего мира, на основе доминирующей в данный момент мотивации (потребности). Из многочисленных образований мозга извлекается все то, что было связано в прошлом с удовлетворением данной потребности.

Установление того, что данная потребность может быть удовлетворена определенным действием, выбор этого действия называется принятием решения.

Нейрофизиологический механизм принятия решения назван П.К.Анохиным акцептором результатов действия. Акцептор («acceptare» — разрешающий) результатов действия — это нейрофизиологический механизм предвидения результатов будущего действия. На основе сопоставления ранее полученных результатов создается программа действия. И только после этого

совершается само действие. Ход действия, результативность его этапов, соответствие этих результатов сформированной программе действия постоянно контролируется путем получения сигналов о достижении цели. Этот механизм постоянного получения информации о результатах совершаемого действия назван П.К.Анохиным обратной афферентацией.

Механизмом наследственного приспособления являются безусловные рефлексы, а механизмом индивидуально изменчивого приспособления являются условные рефлексы, сложные комплексы функциональных систем.

Всю совокупность безусловных и образованных на их основе условных рефлексов принято по их функциональному значению делить на ряд групп.

I. По рецепторному признаку

-Экстерорецептивные рефлексы: зрительные, обонятельные, вкусовые т.п.

-Интерорецептивные рефлексы: рефлексы, в которых условным раздражителем является раздражение рецепторов внутренних органов изменением химического состава, температуры внутренних органов, давления в полых органах и сосудах.

- По эффекторному признаку, т.е. по тем эффекторам, которые отвечают на раздражение. Это - **вегетативные рефлексы:** пищевые, сердечно-сосудистые, дыхательные и т.п.

-Сомато-двигательные рефлексы - проявляющиеся в движениях всего организма или отдельных его частей на действие раздражителя;

II. По биологическому значению

- Пищевые - рефлекторный акты: глотания, жевания, сосания, слюноотделения, секреции желудочного и поджелудочного сока и т.п.

- Оборонительные - реакции устранения от повреждающих и болевых раздражений.

- Половые - рефлексы, связанные с осуществлением полового акта; в эту же группу можно отнести и так называемые родительские

рефлексы, связанные с выкармливанием и выхаживанием потомства.

- **Стато-кинетические и локомоторные** - рефлекторные реакции поддержания определенного положения и передвижения тела в пространстве.

- **Рефлексы сохранения гомеостаза:** рефлекс терморегуляции, дыхательный рефлекс, сердечный рефлекс, сосудистые рефлексы, способствующие сохранению постоянства артериального давления и др.

- **Ориентировочный рефлекс** - рефлекс на новизну. Он возникает в ответ на любое достаточно быстро происходящее колебание окружающей среды и выражается внешне в настораживании, прислушивании к новому звуку, обнюхивании, повороте глаз и головы, а иногда и всего тела в сторону появившегося светового раздражителя и т. п. Осуществление этого рефлекса обеспечивает лучшее восприятие действующего агента и имеет важное приспособительное значение. И. П. Павлов образно назвал ориентировочную реакцию рефлексом "что такое?" Реакция эта прирожденная и не исчезает при полном удалении коры больших полушарий у животных; ее наблюдают и у детей с недоразвитыми большими полушариями - анэнцефалов. Отличием ориентировочного рефлекса от других безусловно-рефлекторных реакций является то, что он сравнительно быстро угасает при повторных применениях одного и того же раздражителя. Эта особенность ориентировочного рефлекса зависит от влияния на него коры больших полушарий.

Основной компонент рефлекса - это реакция на раздражение (движение, секреция, изменение дыхания и т.п.). Большинство безусловных рефлексов представляет собой сложные реакции, в состав которых входит несколько компонентов. Так, например, при безусловном оборонительном рефлексе, вызываемом у собаки сильным электрокожным раздражением конечности, наряду с защитными движениями происходят также усиление и учащение дыхания, ускорение сердечной деятельности, появляются голосовые реакции (визг, лай), изменяется система крови

(возникают лейкоцитоз, тромбоцитоз и др.). В пищевом рефлексе также различают его двигательный (захват пищи, жевание, глотание), секреторный, дыхательный, сердечно-сосудистый и другие компоненты.

Условные рефлексы, как правило, воспроизводят структуру безусловного рефлекса, поскольку условный раздражитель возбуждает те же нервные центры, что и безусловный. Поэтому состав компонентов условного рефлекса подобен составу компонентов безусловной реакции. Среди компонентов условного рефлекса различают главные специфические для данного вида рефлексов, и второстепенные компоненты. В оборонительном рефлексе главным является двигательный компонент, в пищевом - двигательный и секреторный.

Биологическое значение условных рефлексов состоит в том, что они дают возможность намного лучше и точнее приспособиться к условиям существования и выжить в этих условиях. Например, запах или голос хищника сигнализирует другому животному об опасности и дает ему возможность спастись. Вид или запах пищи предупреждает о ней и подготавливает пищеварительную систему к принятию ее, а форма или цвет других объектов, например божьей коровки, указывает на их несъедобные качества.

В результате образования условных рефлексов организм реагирует не только непосредственно на безусловные раздражения, но и на возможность их действия на него; реакции появляются еще за некоторое время до безусловного раздражения. Эти самым организм оказывается заранее подготовленным к тем действиям, которые ему предстоит осуществить в данной ситуации. Условные рефлексы способствуют нахождению пищи, заблаговременному избежанию опасности, устранению вредных воздействий и т. п. Среда, в которой существуют животные, очень изменчива. Приспособление к условиям этой среды посредством условных

рефлексов будет тонким и точным лишь в том случае, если эти рефлексы также будут изменчивыми, т. е. ненужные в новых условиях среды условные рефлексы исчезнут, а вместо них образуются новые. Исчезновение условных рефлексов происходит благодаря процессам торможения.

Различают внешнее (безусловное) торможение условных рефлексов и внутреннее (условное) торможение.

Внешнее торможение условных рефлексов возникает под влиянием посторонних раздражителей, вызывающих новую рефлекторную реакцию. Это торможение называется внешним потому, что оно развивается вследствие процессов, происходящих в участках коры, не участвующих в осуществлении данного условного рефлекса. Тормозящий эффект оказывают и посторонние раздражения, связанные с деятельностью других нервных центров. Например, болевое раздражение тормозит пищевые условные рефлексы. Так же могут действовать и раздражения, исходящие от внутренних органов. Переполнение мочевого пузыря, рвота, половое возбуждение, воспалительный процесс в каком-либо органе вызывают угнетение условных пищевых рефлексов.

Внутреннее торможение условных рефлексов возникает при отсутствии подкрепления безусловным раздражителем полученного сигнала.

Если животному с выработанным и закрепленным условным рефлексом на зажигание лампочки в течение дня давать только условный раздражитель и не подкреплять его пищей, то каждый раз количество слюны в ответ на зажигание лампочки уменьшается, пока реакция не угаснет совсем. Однако условный рефлекс не исчез бесследно - он затормозился.

Внутреннее торможение при этом возникает не сразу. Требуется, как правило, многократное применение неподкрепляемого сигнала. О том, что это торможение условного

рефлекса, а не его разрушение, свидетельствует восстановление рефлекса на следующий день, когда торможение прошло. Различные заболевания, переутомление, перенапряжение вызывает ослабление внутреннего торможения. Если условный рефлекс угашать (не подкреплять его пищей) несколько дней подряд, то он может исчезнуть совсем.

Существует несколько разновидностей внутреннего торможения. Рассмотренная выше форма торможения называется угасательным торможением. Это торможение лежит в основе исчезновения ненужных условных рефлексов.

Другая разновидность - **дифференцированное (различительное) торможение.**

Если у собаки выработать пищевой слюно-выделительный условный рефлекс на удары метронома частотой 60 раз в минуту, то животное сначала будет реагировать выделением слюны на удары метронома любой частоты. Если дать животному два раздражителя - удары метронома частотой 60 и 100 раз в минуту и первый из них, как и прежде, подкреплять пищей, а второй нет, то постепенно выделение слюны на частоту 100 ударов прекратится и сохранится только на 60. Это и есть дифференцировка, или различение раздражителей, в основе которой лежит процесс внутреннего торможения.

Неподкрепляемый условный раздражитель вызывает торможение в коре и называется тормозным раздражителем. С помощью описанного приема удалось определить различительную способность разных органов чувств у животных.

Установлено, что собака не различает цветов, но очень хорошо различает звуки. Она имеет абсолютный слух и способна отличать $1/8$ музыкального тона.

Явление растормаживания. Известно, что посторонние раздражители вызывают торможение условных рефлексов. Если же

посторонний раздражитель возникнет во время действия тормозного раздражителя, например при действии метронома частотой 100 раз в минуту, как в предыдущем случае, то это вызовет противоположную реакцию - потечет слюна. Это явление И. П. Павлов назвал растормаживанием и объяснил его тем, что посторонний раздражитель, вызывая ориентировочный рефлекс, тормозит любой другой процесс, который происходит в данный момент в центрах условного рефлекса. Если тормозится процесс торможения то все это приводит к возбуждению и осуществлению условного рефлекса. Явление растормаживания также указывает на тормозную природу процессов различения и угашения условных рефлексов.

Значение условного торможения очень велико. Благодаря торможению достигается значительно лучшее соответствие реакции организма внешним условиям, более совершенно приспособление его к среде. Сочетание двух форм единого нервного процесса - возбуждения и торможения - и их взаимодействие дают возможность организму ориентироваться в различных сложных ситуациях, являются условиями анализа и синтеза раздражений.

Сравнение условных и безусловных рефлексов

безусловные	условные
имеются с рождения	приобретаются в течение жизни
в течение жизни не изменяются и не исчезают	могут изменяться или исчезать в течение жизни
одинаковые у всех организмов одного вида	у каждого организма свои собственные, индивидуальные
приспосабливают организм к постоянным условиям	приспосабливают организм к изменяющимся условиям
рефлекторная дуга проходит через спинной мозг или ствол головного	временная связь образуется в коре больших полушарий
Примеры	
выделение слюны при попадании лимона в рот	выделение слюны при виде лимона
сосательный рефлекс новорожденного	реакция 6-месячного ребенка на бутылочку с молоком
чихание, кашель, отдергивание руки от горячего чайника	реакция кошки/собаки на кличку

Порядок выполнения работы:

1. Проведите следующие эксперименты.

1.1. Воспроизведение мигательного рефлекса: к краю глаза испытуемого подносят грушу и нажимают на нее, направляя струю воздуха в глаз. Что происходит с глазом в ответ на направленную на него струю воздуха? Каково значение выявленной ответной реакции организма?

1.2 Поставьте испытуемого глазами к свету, рассмотрите у него зрачки обоих глаз, отметьте, одинаковы ли их размеры. Предложите испытуемому закрыть глаза руками, а через минуту открыть глаза. Что произошло со зрачками? Объясните природу изменений размеров зрачков.

1.3. Поставьте испытуемого так, чтобы правый глаз был освещен, а левый находился в тени. Закройте рукой правый глаз, а через минуту его откройте. Что произойдет со зрачками правого и левого глаз? Объясните наблюдаемые реакции.

1.4 *Выработка сосудистого условного рефлекса у человека.*

Основой эксперимента является феномен изменения просвета кровеносных сосудов в ответ на действие холода или тепла, что является причиной кратковременного изменения температуры участка кожи. 15-20 раз (с интервалом 1,5-2 минуты) прислоняйте к запястью охлажденный предмет с одновременной мелодией (по мобильному телефону) и измеряете температуру электронным термометром. Включите мелодию без охлаждения и измерьте температуру запястья в этот момент. Зафиксируйте результат.

1.5 *Взаимодействие сигнальных систем на выработку условно рефлекторных реакций.*

Включите компьютер и инициализируйте работу любого текстового редактора. При подаче звукового сигнала (например, звонок мобильного телефона) нажимайте определенную клавишу по команде «нажмите клавишу «.....» (на экране появиться изображение соответствующего символа). Повторите опыт в течении 10-15 раз и с интервалом времени 30-40 секунд. Подайте звуковой сигнал без команды. Зафиксируйте результат опыта.

2.6 *Изучение безусловных рефлексов у человека* (выполняется тактично и осторожно). Прodelайте следующие эксперименты и зафиксируйте результат.

2.6.1 Надбровный рефлекс. Испытуемый сидит. Экспериментатор неожиданно, но очень осторожно, прикасается карандашом с укрепленным на его конце ластиком к краю надбровной дуги испытуемого и наблюдает ответную реакцию.

2.6.2. Коленный рефлекс. Испытуемый в положении сидя кладет ногу на ногу. Экспериментатор наносит легкий удар неврологическим молоточком (или ребром ладони) по сухожилию четырехглавой мышцы (под надколенником) и наблюдает ответную реакцию.

2.6.3. Ахиллов рефлекс. Испытуемый встает на стул на коленях. Ступни ног свисают. Неврологическим молоточком экспериментатор наносит легкий удар по сухожилию трехглавой мышцы голени (в месте прикрепления мышцы общим сухожилием (ахилловым) к бугру пяточной кости) наблюдает ответную реакцию (сгибание стопы).

3. Оформите отчет.

4. По результатам отчета осуществляется интерактивная защита полученных результатов в процессе собеседования с преподавателем по его содержанию и или обсуждения в студенческой группе.

Примечание: в ходе самостоятельной подготовки к интерактивной защите рекомендуется проанализировать соответствующие тематике контрольные (тестовые) вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Зяблики, выращенные в изоляции, издают звуки, которые ухо человека воспринимает как типичное пение зяблика. Однако их пение носит лишь «зачаточный» характер. Дело в том, что зяблики, выращенные родителями, прислушиваются к их пению и пению других зябликов, и у них вырабатывается такой же характер

звучания, как у старших птиц. О каких формах поведения зяблика идет речь?

2. Внешне зайцы и кролики очень похожи друг на друга, но кролики роют норы, делают гнезда из травы и пуха, а зайцы нет; крольчата рождаются слепыми и голыми, а зайчата – зрячими и покрытыми шерстью. Как можно объяснить эти различия?

3. Верно ли, что если поведение формируется только после предъявления соответствующего стимула, то это поведение приобретенное?

4. Все безусловные рефлексы, присущие особям одного вида, одинаковы. Безусловные рефлексы головастика отличаются от безусловных рефлексов взрослой лягушки. Противоречит ли это положению о видовой специфичности безусловных рефлексов?

5. Каково значение врожденных форм поведения в жизнедеятельности животных и человека?

6. Что называется врожденным поведением?

7. Что называется приобретенным поведением?

8. Чем характеризуются и каким образом классифицируются безусловные рефлексы?

9. Чем отличаются рефлексы от инстинктов?

10. Какова роль восприятия при формировании рефлексов?

11. Что такое габитауция?

12. Какие существуют варианты ассоциативного научения?

13. Что такое инсайт?

14. Что такое импринтинг?

15. Какие и как действуют раздражители при образовании условного рефлекса?

16. Как работает мозг при образовании условного рефлекса?

17. Как образуются условные рефлексы у человека?

18. Какова роль подкрепления

19. Чем отличаются простые, сложные и комплексные условные рефлексы?

20. Что является сигналами для рефлексов человека?

21. Как осуществляется дифференцированное торможение условных рефлексов?
22. В чем заключается явление растормаживания?
23. Какие вестибулярно-вегетативные рефлексы вы знаете? Кратко опишите их.
24. Что такое условный раздражитель?
25. Как подразделяются условные рефлексы по типу подкрепления?
26. Как подразделяются условные рефлексы по характеру реакции?
27. Что такое динамический стереотип?
28. В чем заключается специфика временных связей, замыкающихся между индифферентными раздражителями?
29. Каково биологическое значение положительных и отрицательных эмоций?

Тест:

1. Условный рефлекс

- А) наследуется потомством, но не сохраняется в течение жизни
- Б) легко приобретается и теряется организмом в течение жизни
- В) наследуется потомством от родителей и сохраняется в течение
- Г) является постоянной реакцией организма на строго определенные раздражители внешней среды

2. Пример условного рефлекса у кошки

- А) выделение слюны во время еды
- Б) отдергивание лапы при ожоге
- В) реакция на кличку
- Г) реакция на резкий звук

3. Кто из российских ученых ввел термины условный и безусловный рефлексы

- А) И. П. Павлов
- Б) П. К. Анохин
- В) И. М. Сеченов
- Г) А. А. Ухтомский

4. Центры условных рефлексов, в отличие от безусловных, расположены у человека в

- А) коре больших полушарий
- Б) продолговатом мозге
- В) мозжечке
- Г) среднем мозге

5. Слюноотделение у человека при виде лимона – рефлекс

- А) условный
- Б) безусловный
- В) защитный
- Г) ориентировочный

6. Условные рефлексы у человека образуются в процессе

- А) индивидуального развития
- Б) формирования вида
- В) исторического развития
- Г) образования зародыша

7. Примером условного рефлекса является

- А) выделение слюны при виде разрезанного лимона
- Б) выделение слюны во время кормления
- В) сужение зрачка при воздействии сильного света
- Г) отдергивание руки при внезапном уколе

8. Если не подкреплять условный рефлекс безусловным, то у собаки

- А) формируется новый безусловный рефлекс
- Б) исчезают безусловные рефлексы
- В) приобретает новый условный рефлекс
- Г) наступает торможение условного раздражителя

9. Реакция ребёнка на бутылочку с молоком - это рефлекс, который

- А) передаётся по наследству
- Б) формируется без участия коры больших полушарий
- В) приобретаются в течение жизни
- Г) сохраняется в течение всей жизни

10. Защитный рефлекс чихания

- А) не передается по наследству
- Б) является условным
- В) ослабевает в течение жизни
- Г) характерен для всех особей вида

11. При выработке условного рефлекса условный раздражитель должен

- А) действовать через 2 часа после безусловного
- Б) следовать сразу после безусловного
- В) предшествовать безусловному
- Г) постепенно ослабляться

12. Реакции, приобретенные человеком и животными в течение жизни и обеспечивающие приспособление к меняющимся условиям среды, называют

- А) условными рефлексами
- Б) инстинктами
- В) безусловными рефлексами
- Г) рефлексами, передающимися по наследству

13. Основу нервной деятельности человека и животных составляет

- А) мышление
- Б) инстинкт
- В) возбуждение
- Г) рефлекс

14. Безусловный рефлекс

- А) передается по наследству
- Б) приобретается в течение жизни
- В) вырабатывается на определенные сигналы
- Г) лежит в основе различных внешних сигналов

15. Основу нервной деятельности человека и животных составляет

- А) мышление
- Б) рассудочная деятельность
- В) возбуждение
- Г) рефлекс

16. Безусловные рефлексы человека и животных обеспечивают

- А) приспособление организма к постоянным условиям среды
- Б) приспособление организма к меняющемуся внешнему миру
- В) освоение организмом новых двигательных умений
- Г) различение животными команд дрессировщика

17. Реакция человека на зеленый цвет светофора – это рефлекс

- А) врожденный
- Б) приобретенный
- В) безусловный

Г) наследуемый

18. Выделение желудочного сока в ответ на раздражение пищей рецепторов ротовой полости

А) возбуждение

Б) торможение

В) безусловный рефлекс

Г) саморегуляция

19. Каковы особенности спинномозговых рефлексов у человека и млекопитающих животных?

А) приобретаются в течение жизни

Б) передаются по наследству

В) различны у разных особей

Г) позволяют организму выжить в изменяющихся условиях среды

20. Угасание условного рефлекса при неподкреплении его безусловным раздражителем – это

А) безусловное торможение

Б) условное торможение

В) рассудочное действие

Г) осознанный поступок

21. Биологическое значение условных рефлексов для организма состоит в том, что они

А) поддерживают постоянство внутренней среды

Б) видоспецифичны и сохраняются в течение всей жизни

В) способствуют взаимодействию функциональных систем

Г) обеспечивают приспособление к изменяющимся условиям среды

22. В процессе жизни животные приобретают рефлекс

А) безусловные

Б) передающиеся по наследству

В) характерные для всех особей данного вида

Г) позволяющие им выживать в изменяющихся условиях

23. Условным рефлексом у человека является

А) сужения зрачка при ярком свете

Б) поворот головы на резкий звук

В) выделение слюны при попадании пищи в ротовую полость

Г) реакция на смысл слова

24. Примером условного рефлекса может служить

- 1) умение кататься на велосипеде
- 2) выделение слюны при еде
- 3) желание спать при усталости
- 4) чихание и кашель

25. Условные рефлексy человека и животных обеспечивают

- А) приспособление организма к постоянным условиям среды
- Б) приспособление организма к меняющемуся внешнему миру
- В) освоение организмом новых двигательных, умений
- Г) различение животными команд дрессировщика

26. Врожденные рефлексy

- А) являются видовыми признаками организма
- Б) характерны для отдельных особей вида
- В) требуют дополнительных условий для осуществления
- Г) не передаются по наследству

27. Безусловные рефлексy

- А) вырабатываются у каждой особи в течение жизни
- Б) со временем затухают и исчезают
- В) индивидуальны для каждой особи
- Г) являются врожденными и передаются по наследству.

5. ИССЛЕДОВАНИЕ ПСИХИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА – КАК ЭЛЕМЕНТА ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В КОНТУРЕ «ЭВМ- ОПЕРАТОР»

Цель работы: овладение навыками подготовки, проведения и системной обработки результатов эксперимента по исследованию психических характеристик функционального состояния человека - оператора, как основного звена эргатической системы.

Краткие теоретические сведения.

Одно из основных звеньев в биотехнических системах составляет поведение организма для достижения целей своего существования (жизнеобеспечения) в условиях изменяющейся окружающей среды при помощи и под обратным воздействием окружающих технических средств. Если рассматривать биомедицинский аспект проблемы оптимизации (удовлетворяемости) подобного поведения, то в качестве организма обычно рассматривается человек, а характеристики его поведения обычно носят психосоматический характер.

При непосредственном контакте человека с окружающей средой в процессе удовлетворения потребностей существования своей популяции на уровне обычных органов чувств возникновения дискомфортных ситуаций средневероятно. Но если в этой цепочки появляются «усилители» органов чувств, а именно таковыми являются информационно-измерительные приборы с и без интеллектуальным интерфейсом, то напряжение, приводящее при длительном воздействии к дискомфорту, резко нарастает (в основном из-за перенасыщения информационного канала в ситуации следствии несогласования скоростей и объема передаваемой и усвояемой информации). Взаимодействие человеческого организма с информационно-измерительными приборами и информационно-управляющими органами получило название операторской детальности.

Непременное условие эффективного протекания любого вида человеческой деятельности - это внимание. Особую, практическую значимость исследования свойств внимания приобретает при анализе и оптимизации трудовой деятельности. Изменение и содержание характера труда постоянно предъявляет возрастающие требования к сенсорному вниманию, которое характеризуется такими параметрами как: селективность, переключаемость, объем, распределяемость, устойчивость и концентрированность.

Селективность внимания характеризует направленность деятельности человека как звено эргатической системы по переработке информации на ограниченную часть наличного входа, что позволяет выделить в практических ситуациях релевантную и значимую информацию и активно подавлять незначимый и ирелевантный фоны. Изменение селективности сенсорного внимания может служить индикатором изменений функционального состояния и работоспособности человека.

Переключаемость внимания: является свойством человеческой деятельности, которое характеризует способность субъекта гибко изменять направленность различных психических процессов в соответствии с текущим изменением деятельности (функционирования биологической части в БТС).

Объем внимания: характеризуется способностью человека одновременно охватывать определенное число субоднородных объектов. Количество одновременно воспринимаемых объектов принимается в качестве характеристики объема внимания. Последний в большей степени зависит от умения человека осмысленно связывать и структурировать информацию.

С объемом внимания тесно связана такая характеристика, как распределяемость зрительного внимания, которая заключается в способности человека одновременно концентрировать внимание на нескольких разнородных объектах.

Устойчивость внимания тесно связана с показателями стабильности деятельности человеческого организма на протяжении заданного времени.

Концентрированность внимания характеризует интенсивность сосредоточенности человека. Она предполагает активное и

направленное сужение внимания на одном или нескольких ситуационных элементах и умение отстраниться от помех (незначимой для биологической части БТС в текущий момент времени информации).

Основными функциональными единицами, характеризующими состояние сенсорных систем, являются показатели их абсолютной и разностной чувствительностей, связанные обратной зависимостью с показателями абсолютных и разностных порогов. Измерение данных порогов требует строгого контроля многих переменных, - как предъявляемого физического стимула, так и условий проведения исследований. Внешним выражением психических процессов, обеспечивающих действенную практическую связь человека с окружающим миром, является психомоторика. Формально, психомоторные процессы характеризуются показателями скорости, точности, темпа, выносливости, силы, координированности. Причем, интеллектуализация современного труда уменьшает удельный вес в производственных силовых движениях,- при этом растут требования к скорости и точности. Вышеизложенное вызывает преобразование на современном производстве локальной мышечной нагрузки при ограничении общей подвижности.

Немаловажной характеристикой в цепях обратной связи в управляющих контурах БТС является память, как биологической, так и технической частях системы. И если вторая носит в основном пассивный характер отслеживания и изменения уставок, то первая - активных. Биопамять, (в частности, человеческого организма) - это процесс психического отражения прошлого опыта посредством его запечатления, сохранения и воспроизведения.

Согласно концепции когнитивной психологии, память включает в себя три блока: сенсорная память, кратковременная оперативная и долговременная памяти. Считается, что сенсорная память связана с краткосрочными процессами последствий в сенсорных системах (например, зрительной) и позволяет в течении миллисекунд сохранить в модально-специфическом виде следы раздражителей во всем их чувствительном многообразии.

На рисунке 1 приведена обобщенная структурная схема диагностики основных психических свойств человеческого организма, работающего в техническом контакте с окружающей средой. С помощью различных методик, реализуемых соответствующей батареей тестов, осуществляется регистрация определенных показателей, характеризующих состояние внимания, памяти, сенсорных процессов, психомоторики. Блоком выбора (настройки) информативных признаков осуществляется отбор тех из них, которые наиболее чувствительны к характеру решаемой задачи-исследования.

Таблица 1. Обобщенная структурная схема диагностики психических свойств человека.

Внимание	Память	Психомоторика
Селективность Переключаемость Объем Распределяемость Устойчивость Концентрированность	Сенсорная Фильтрация Перекодиров. Кратковрем. Повторение	Координация Скорость Точность Сила Выносливость Темп
Сенсорные системы	Мышление	Личность
Зрительная Слуховая Кинестетическая	Понятийное Наглядно-действенное	Тестовые опросники Конформность Групповая активность
Исследователь	Система диагностики	Выбор информативных признаков

При выполнении лабораторной работы осуществляется тестирование психических характеристик операторской деятельности по ряду методик, большинство из которых организованы так, что вне зависимости от измеряемых признаков выходными данными являются некоторые коэффициенты функционально-идентичным образом зависящие от: среднего времени латентного периода реакции, среднего разброса этого времени и качества ответов. Темп и сложность диагностического процесса устанавливается в интерактивном режиме исследователем.

Для исследования селективности зрительного внимания предлагается следующая методика. Испытуемому на экране монитора предъявляются в случайном порядке и в заданном темпе цифры натурального ряда и измеряется среднее время его реакции на их появление. Затем цифры предъявляются на фоне визуального шума. В итоге рассчитывается показатель:

$$CB = t_o * (N - C_o) / (t_n * (N - C_n)) , \quad (1)$$

где t_o , t_n - среднее время опознания цифр без помех и с помехой,

C_o , C_n - число ошибок испытуемого без помех и с помехой,
 N - число предъявлений стимула.

При исследовании переключаемости испытуемому предлагается реагировать на один из двух предупредительных сигналов («0» и «1»; «чет» - «нечет») и на один пусковой («*»). При появлении первого сигнала испытуемый ожидает появления пускового и как можно быстрее нажимает на определенную функциональную клавишу. При появлении второго предупредительного сигнала испытуемый нажимает на клавишу после исчезновения пускового сигнала. Тем самым проверяется умение человека как звена эргатической системы гибко реагировать на изменение существующей установки. В конце эксперимента рассчитывается показатель:

$$ПВ = N * t / (N - C) , \quad (2)$$

где C - число ошибок, t - среднее время реакции.

Для исследования устойчивости внимания предлагается методика, в соответствии с которой испытуемому в случайном порядке предъявляются цифры натурального ряда, которые он должен классифицировать по правилу: при появлении четной цифры нажимает на одну клавишу, нечетной - другую. Нажатие приводит к мгновенной смене цифры. Средняя скорость реакции при этом характеризует темп психических процессов. В итоге рассчитывается показатель:

$$UB = N*(t - M(t)) / ((N - C)* M(t)) \quad (3)$$

При реализации методики «поиска сигнала в шуме» тестируется состояние блока сенсорной памяти, операций фильтрации и перекодирования информации. В определенном экспериментатором темпе на экране монитора появляется цифра натурального ряда, выполняющая роль инструкции. Затем предъявляется последовательность неповторяющихся цифр. Испытуемый должен указать (нажатием определенной функциональной клавиши) присутствовала ли в последовательности цифра - инструкция.

При реализации методики «опознание» испытуемому вначале предъявляется последовательность натуральных цифр-стимулов, после чего испытуемый должен указать отсутствующую цифру.

При реализации методики «воспроизведение» тестируется состояние кратковременной памяти и операции повторения. На экране дисплея предъявляется случайная неповторяющаяся последовательность цифр натурального ряда. От испытуемого требуется после его исчезновения как можно быстрее и точнее воспроизвести заданную последовательность.

При реализации методики определение отсутствующей цифры испытуемому предъявляется случайная неповторяющаяся последовательность натурального ряда, затем она исчезает и через определенное время предъявляется вновь, но без одной цифры. Испытуемый должен как можно быстрее воспроизвести эту цифру.

Во всех перечисленных методиках рассчитывается показатель, аналогично формуле (2).

Измерение способности к оценке величины геометрических размеров (элемент мыслительного процесса) осуществляется следующим образом. В левом верхнем углу экрана монитора изображается метрический эталон. Испытуемому предъявляются квадраты разных размеров. Требуется как можно быстрее указать размер стороны квадрата в единицах метрики эталона. Фиксируется разность между истинными размерами фигур и размерами, определенными испытуемым, а так же среднее время реакции.

Исследование эффективности манипулирования образами разно ориентированных объектов (процесс ассоциативного мышления, особенно важный для управляющих быстрыми транспортными средствами в экстремальных условиях) в соответствии с методикой Леоновой А.Б. осуществляется следующим образом. На экране монитора предъявляются две сложные идентичные геометрические фигуры (левая - эталон). Задача испытуемого состоит в определении того, в каком из четырех положений находится правая фигура по отношению к левой: фигуры одинаково ориентированы на плоскости, зеркально отражены, перевернуты, зеркально-перевернуты. Фиксируется время латентного периода и правильность ответа (формула (2)).

Порядок выполнения работы.

1.. Изучить принципы работы с автоматизированной системой оценки психических характеристик, путем инициализации исполнительного файла и изучения интерфейса системы. На этом этапе студент овладевает навыками самостоятельного освоения новой информации. Программное обеспечение снабжено дружественным интерфейсом и стандартизованным использованием функциональных клавиш ПЭВМ. На данном этапе студент должен изучить: - как запускать систему, - как настроить батарею тестов, - как провести тестирование, - как отобразить и зафиксировать результат.

На выполнение данного этапа отводится 30-40 минут.

2. Провести исследование следующих психических характеристик:

- селективности внимания,
- устойчивости внимания,
- переключаемости внимания,
- поиска сигнала в шуме,
- определения отсутствующей цифры,
- воспроизводимости числового ряда,
- определения геометрического размера фигуры,
- манипулирования объектами,

- опознания отсутствующего элемента /цифры в ряду/ следующим образом.

2.1. Не изменяя стандартную цветовую палитру, настроить батарею тестов на выполнение только одного исследования с 15 предъявляемыми стимулами.

2.2. Провести исследование со следующими временами предъявления стимулов: 1, 2, 3, 4, 5, 10 секунд и зафиксировать в тетради результат каждого эксперимента.

2.3. Повторить п.3.2. в следующих вариантах цветовой палитры:

- фон черный - стимул белый,
- фон белый - стимул черный,
- фон желтый - стимул белый.

3. По данным п.3 оформить следующую таблицу:

Фамилия, И.О. _____ дата рождения _____ пол ____
Методика _____

№ опыта	Значение показателя	обозначение
Тпред		X1
Цвет фона		X2
Цвет стимула		X3
Значение показателя психической характеристики		X4

4. Построить графические зависимости $X4-X1$, $X4-X2$, $X4-X3$, $X4-F(X2, X3)$.

5. Осуществить линейную и нелинейную идентификации $X4=F(X1)$ с помощью инструментария Excel.

Примечание. п.п.5 и 6 проводятся вне аудиторных занятий, в ходе самостоятельной работы студентов.

6. Сделать выводы о: влиянии времени предъявления стимулов, соотношения цветов фона и стимула на значение соответствующих

зарегистрированных показателей, сформулировать индивидуальную норму.

7. Оформить отчет.

Контрольные вопросы:

1. Что такое эргатическая система?
2. Каким образом оценивается внимание оператора ЭВМ?
3. Каким образом оценивается реакция оператора ЭВМ?
4. Как влияют цвета фона и стимула (как аналога информационного сигнала) на деятельность оператора ЭВМ?
5. Какие вопросы рассматривает когнитивная психология?
6. Как исследуется устойчивость внимания?
7. Как исследуется селективность внимания?
8. Как исследуется переключаемость внимания?
9. Как исследуется характеристика «поиска сигнала в шуме»?
10. Как исследуется характеристика «определения отсутствующей цифры»?
11. Как исследуется характеристика «воспроизводимость числового ряда»?
12. Как исследуется характеристика «определения геометрического размера фигуры»?
13. Как исследуется характеристика «манипулирования объектами»?
14. Как исследуется характеристика «опознания отсутствующего элемента»?
15. В чем заключается понятие «функциональное состояние» человека, как звена эргатической системы?
16. Каким образом можно корректировать (управлять) функциональным состоянием человека как подсистемы БТС?

6. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОПУЛЯЦИОННЫХ ВОЛН ДИНАМИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Цель работы: овладение навыками имитационного моделирования популяционных волн динамики региональной заболеваемости с помощью инструментария Excel.

Краткие теоретические сведения.

1. Специфика человеческих популяций.

В антропогенетике популяцией называют группу людей, проживающих на общей территории и свободно вступающих в брак. Изоляционные барьеры, препятствующие вступлению в брак носят выраженный социальный характер (например, различия в вероисповедании), поэтому в формировании популяций главную роль играет не общность территории, а родственные связи. Демографическими показателями популяции людей являются: величина, уровень рождаемости и смертности, возрастной состав, экономическое состояние, уклад жизни. Генетически человеческие популяции характеризуются генофондами.

Популяции человека по численности делятся на крупные, малые (субпопуляции) или демы и изоляты. Большие по размерам популяции (более 4000 человек) состоят обычно из нескольких антропологических групп, имеющих различное происхождение. В таких популяциях распределение частот аллелей в генотипах поколений подчиняется закону Харди - Вайнберга, что используется в медико-генетической практике для расчета доли гетерозигот - носителей рецессивного аллеля. Закон Харди-Вайнберга. Генетическая гетерогенность популяции при отсутствии давления эволюционных факторов остается неизменной, находясь в определенном равновесии. Если частоту встречаемости доминантного аллеля А - определить как p , а частоту альтернативного аллеля а - q , то в потомстве свободно скрещивающихся особей должны быть следующие отношения аллелей, генотипов.

Это при суммировании дает: $(p+q)^2 = p^2 + 2pq + q^2 = 1$; Закон Харди-Вайнберга позволяет рассчитать относительную частоту генотипов и фенотипов в популяции.

Демы - популяции численностью примерно 1500-4000 человек. Изоляты - самые маленькие популяции - не более 1500 человек. Для демов и изолятов характерны следующие признаки: низкий (1-2) процент лиц, происходящих из разных антропологических групп, высокая частота внутригрупповых браков (80-90%) и незначительный прирост населения - около 20% за 25 лет. В изолятах частота внутригрупповых браков может достигать 90% и более. В таком изоляте, если он существует не менее 4-х поколений (около 100 лет), все члены являются не менее чем троюродными братьями и сестрами.

В настоящее время в популяциях человека происходят такие процессы: 1) разрушение брачных изолятов; 2) средовая гомогенизация, которая снижает первичные причины расовых различий; 3) замена одних форм болезней другими (первое место с некоторых пор занимают две болезни “цивилизации” - сердечно-сосудистые и онкологические заболевания вместо инфекционных и алиментарных. Эти процессы в совокупности ведут к численному увеличению популяций.

2. Особенности действия эволюционных факторов в популяциях людей.

С возникновением человека как социального существа биологические факторы эволюции постепенно ослабляют свое действие и ведущее значение в развитии человечества приобретают социальные факторы. Однако, человек как биологическое существо подчиняется законам, действующим в живой природе (развитие человеческого организма, продолжительность жизни и др.). Большую часть истории человечество было представлено совокупностью изолированных в репродуктивном отношении малочисленных групп. В связи с этим, генофонды популяций людей испытывали ранее и продолжают испытывать теперь действие элементарных эволюционных факторов. Однако социальная сущность человека вносит в это действие определенную специфику.

Мутационный процесс - эволюционный фактор, который сохраняет свое значение в человеческом обществе. Его действие сходно с таковым у других организмов по средней частоте

мутирования, по генетико-физиологическим характеристикам, наличию антимутационных барьеров. На начальных этапах эволюции характеристики спонтанного мутагенеза формировались под действием различных видов излучения, температуры, определенной химической среды. В настоящее время давление мутационного процесса на генофонд человечества усиливается в результате действия индуцированных мутаций, которые обусловлены производственной деятельностью человека в условиях научно-технической революции. Мутации возникают как в половых, так и в соматических клетках. Индуцированные мутации, как правило, приводят к наследственной патологии (генеративные мутации) или к увеличению частоты различных заболеваний, прежде всего злокачественных опухолей (соматические мутации). Популяционные волны (волны жизни) еще в сравнительно недавнем прошлом играли заметную роль в развитии человечества. Темп прироста населения изменялся неравномерно. Увеличение темпов прироста численности совпадает с достижениями человечества - развитием земледелия, индустриализацией. Наблюдается неравномерное распределение людей на планете. На фоне общей тенденции к повышению численности людей имели место снижения этого показателя. Во время эпидемий холеры и чумы всего лишь несколько сот лет назад население Европы сократилось в десятки раз. Такое сокращение могло быть основой для ряда случайных ненаправленных процессов изменения генофонда населения отдельных районов.

Изоляция, как эволюционный фактор, в прошлом оказывала существенное значение. Природа изоляционных барьеров между популяциями людей социальная. Специфическими для человеческого общества являются формы изоляции, зависящие от разнообразия культур, экономических укладов, религиозных и морально-этических установок. Разобщение людей по социальным, религиозным причинам приводит к образованию эндогенных групп в больших городах. Рецессивные гены (болезнь Тея-Сакса, Тея-Гоше) встречаются преимущественно у евреев, тогда как ген фенилкетонурии является редким у представителей этой национальности. Высокая степень изоляции малочисленных

человеческих популяций на протяжении многих поколений создавала условия для дрейфа генов.

Генетико-автоматические процессы, или дрейф генов, приводят к появлению случайных, не связанных с отбором различий между изолятами. Примером дрейфа генов служит эффект родоначальника. Он возникает, когда несколько семей создают новую популяцию, что способствует случайному закреплению в ее генофонде одних аллелей и утрате других. Так, члены секты амишей штата Пенсильвания произошли от трех супружеских пар, иммигрировавших в Америку. В этом изоляте зарегистрировано 55 случаев карликовости с многопалостью, в то время как в мировой практике описаны единичные случаи. Вероятно, среди основателей находился носитель рецессивного мутантного аллеля карликовости - родоначальник соответствующего фенотипа.

С развитием средств массового перемещения людей на планете всё меньше остается генетически изолированных групп населения. Нарушение изоляционных барьеров имеет большое значение для обогащения генофонда популяций. В дальнейшем эти процессы неизбежно будут приобретать все более широкое значение.

Естественный отбор в природе в процессе видообразования переводит случайную индивидуальную изменчивость в биологически полезную популяционную, видовую. Смена биологических факторов развития социальными привела к тому, что в человеческих популяциях отбор утратил функцию видообразования. Было бы, однако, неправильно полностью отрицать существование отбора в человеческом обществе. Он действует в основном во время внутриутробного развития, играет значительную роль в таких формах, как несостоявшаяся беременность, спонтанный аборт, мертворождение, детская смертность, стерильность и выполняет известную стабилизирующую роль.

В пользу действия стабилизирующей формы отбора свидетельствует большая смертность среди недоношенных и переносенных новорожденных по сравнению с доношенными.

Направление отбора зависит от общей жизнеспособности. Отрицательный отбор можно проиллюстрировать на примере системы крови “резус”. При Rh-отрицательном фенотипе матери Rh-положительный плод всегда гетерозиготен. Это означает, что со смертью индивида из генофонда удаляется равное количество доминантных и рецессивных аллелей. Отбор направлен против гетерозигот. Отрицательный отбор действует в большинстве популяций людей по аллелям аномальных гемоглобинов, он направлен против гомозигот. При этом устраняются аллели одного вида. Отрицательный отбор против гомозигот перекрывается мощным положительным отбором гетерозигот благодаря их высокой жизнеспособности в очагах тропической малярии.

3. Генетическое разнообразие в популяциях людей. Генетический груз.

Генетическая гетерогенность популяции - это наличие у особей данной популяции нескольких аллельных вариантов (минимум двух) по генетическим локусам (генам). Она поддерживается за счёт мутаций, процесса рекомбинации. Происходящая при половом размножении комбинаторика генетического материала даёт неограниченные возможности для создания генетического разнообразия в популяции. При скрещивании особей, различающихся в общей сложности по 1000 локусам, каждый из которых представлен 10 аллелями, число возможных наследственных генотипов в потомстве составляет 101000, т.е. многократно превзойдёт число электронов в известной нам вселенной. Эти потенциальные возможности никогда не реализуются. Чем больше запас генетической изменчивости в данной популяции, тем легче ей адаптироваться в новой среде. Лабораторные эксперименты показали, что чем выше уровень изменчивости популяции, тем быстрее она эволюционирует. Результатом эволюционного процесса является внутривидовой или наследственный полиморфизм - это такое состояние популяции, когда в ней на протяжении многих поколений сохраняется две или более разных генетических форм в достаточном количестве (не менее 1%). Различают две формы наследственного полиморфизма:

1) экологический (адаптационный) полиморфизм. При этом две или несколько генетически различных форм внутри популяции подвергаются отбору в разных экологических условиях. Например, возникновение расовых различий человека в процессе антропогенеза.

2) гетерозиготный полиморфизм устанавливается в результате давления на популяцию положительного отбора гетерозигот. Человечеству свойствен высокий уровень наследственного разнообразия. Люди отличаются фенотипически цветом кожи, глаз, волос, формой ушной раковины и др. Выявлены многочисленные варианты отдельных белков, которые отражают генетическую конституцию организма. У людей не совпадают группы крови по системам эритроцитарных антигенов “резус”, АВО, MN. Известно более 10 вариантов гемоглобина, более 70 вариантов фермента глюкозо-6-фосфат-дегидрогеназы. У человека в целом не менее 30% генов, контролирующих синтез ферментных систем, имеют несколько аллельных форм. Вариабельность частоты аллелей в популяциях людей зависит от действия эволюционных факторов: мутационного процесса, естественного отбора, генетико-автоматических процессов, миграций.

Генетическая гетерогенность снижает реальную приспособленность популяций. Из-за накопления в генофонде популяции рецессивных аллелей, приводящих в гомозиготном состоянии к снижению приспособленности отдельных особей, происходит снижение приспособленности популяции в целом.

Генетический груз - это и есть различие в приспособленности между существующей и идеально приспособленной популяцией, так как всегда происходит гибель части особей популяции вследствие их меньшей приспособленности.

Генетический груз - это "проигрыш" приспособленности на данный момент, но одновременно это возможность будущей эволюции и, следовательно, выживание популяции в целом. Это, как бы, плата за возможность эволюционировать. Различают следующие виды генетического груза:

а) по способу образования: 1) мутационный (в результате мутаций и отбора); 2) рекомбинационный (появление новых генов и генных

сочетаний при кроссинговере); б) по направлению передачи: 1) сегрегационный (разная вероятность передачи разных аллелей последующим поколениям); 2) миграционный (в результате внедрения других организмов в популяцию). Бремя генетического груза человечества можно оценить, введя понятие летальных эквивалентов.

Летальный эквивалент - это коэффициент, равный у человека от 3-х до 5. Это означает, что количество неблагоприятных аллелей в генотипе человека по вредному действию эквивалентно действию 3-5 рецессивных аллелей, приводящих в гомозиготном состоянии организм к гибели до наступления репродуктивного периода. Благодаря наличию неблагоприятных аллелей и их сочетаний, примерно половина зигот, образующихся в каждом поколении людей, не участвует в передаче генов следующему поколению, т.е. гибнет; погибает около 15% зачатых организмов до рождения, 3% - при рождении, 2% - непосредственно после рождения, 3% людей погибает, не достигнув половой зрелости, 20% лиц не вступают в брак и 10% браков бездетны.

Развитие многих заболеваний у человека связано с внешними факторами – особенно с динамикой (в том числе популяционной) возбудителей заболеваний. Знания математических прогностических моделей динамики возбудителей и популяционные волны человечества позволяют своевременно принять меры по предотвращении вспышек заболеваний у человека в различных регионах.

Подобные модели включают в себя множество факторов и латентных переменных. В простейшем случае они могут быть аппроксимированы простейшими моделями развития популяций и типа «хищник-жертва». Во втором случае в качестве «жертвы» можно в некотором приближении рассматривать заболеваемость в регионе, в качестве «хищника» - меры борьбы с возбудителем – например, прививки.

Математические модели строятся на основе данных эксперимента, мониторинга или умозрительно, описывают гипотезу, теорию или закономерность того или иного феномена и требуют

дальнейшей проверки на практике. Различные варианты проводимых экспериментов выявляют границы применения математической модели и создают условия для ее дальнейшей коррекции. Математическое моделирование часто позволяет предвидеть характер изменения исследуемого процесса в условиях, трудно воспроизводимых в эксперименте, а в отдельных случаях позволяет предсказать ранее неизвестные явления и процессы.

Процесс математического моделирования принято делить на несколько этапов.

1. *Постановка задачи.*

2. *Проведение модельных экспериментов - имитационное.*

3. *Оценка реализованной модели.*

4. *Анализ модели на основе накопленных данных об изучаемом объекте, модернизация первоначально построенной модели.*

В медицине модели применяются для исследования структур, функций и процессов на разных уровнях организации живого организма: атомарно-молекулярном, субклеточном, клеточно-тканевом, органно-системном, организменном, биоценотическом. В медицине, как и в биологии, используются в большинстве случаев биологические, физико-химические, математические модели. Исторически сложилось, что в медицине до сих пор широко распространены словесные описания объектов и процессов (например, заболеваний), а в последние десятилетия все чаще применяются информационные модели.

Из математических моделей, известных в физиологии наиболее известны:

- модель возбуждения нервного волокна, предложенную А.Ходжкином и А.Хаксли;

- модель сердечной деятельности Ван дер Пола и Ван дер Марка, основанная на теории релаксационных колебаний, позволила предсказать возможность особого нарушения сердечного ритма, впоследствии обнаруженного у человека.

- модель кровообращения Ф. Гродинза.

Когда осуществляют процессный анализ в ЛПУ с последующим выходом на планирование эксперимента и принятие управленческих решений, то всегда наталкиваемся на одну и ту же

проблему разработки и апробации модели управления процессов обеспечения КМП в условиях реального функционирования ЛПУ. Одна из важных особенностей управления качеством производства медицинских услуг — принципиальная невозможность проведения реальных работ по управлению КМП до завершения эксперимента.

Возможным выходом является использование имитационных моделей. Сущность метода имитационного моделирования состоит в построении так называемой имитационной модели исследуемого ЛПУ или его подразделения и целенаправленном экспериментировании с разрабатываемой моделью управления для получения ответов на те или иные вопросы. Говоря о методе имитационного моделирования, как правило, имеют в виду метод, ориентированный на применение вычислительной техники, хотя в принципе могут использоваться любые средства, включая лист бумаги и карандаш.

Имитационное моделирование в медицине используется в основном по следующим направлениям:

1. при исследовании сложных внутренних и внешних взаимодействий ЛПУ с целью оптимизации их функционирования. Для этого на модели ЛПУ изучают закономерности взаимосвязи переменных, вносят в модель ЛПУ изменения и наблюдают их влияние на поведение системы производства медицинских услуг;
2. для прогнозирования поведения ЛПУ в будущем на основе моделирования развития самого ЛПУ и его внешней среды;
3. в целях обучения персонала ЛПУ, которое может быть двух типов:

- первый тип - индивидуальное обучение оператора, управляющего неким технологическим процессом или медицинской аппаратурой;
- второй тип - обучение группы персонала, осуществляющей коллективное управление сложным объектом по производству медицинских услуг.

Рассмотрим модели, отражающие ранее упомянутые биологические процессы:

1. Игра «Жизнь».

Предполагается наличие прямоугольного клетчатого поля, в каждой клетке которого может «жить» существо. Если клетка

пустая – то в ней никто не живет. Модель задается двумя параметрами: начальной конфигурацией (размером поля и расположением живых существ) и определенными «биологическими законами», регулирующими жизнь популяции существ. На каждой итерации осуществляется последовательный просмотр всех клеток с некоторой начальной (координаты клетки выбираются исследователем или случайным образом) с применением к ним биологических законов.

В качестве типовых законов, предлагаются, например, следующие:

1. Если выбранная клетка пуста, а в соседней с ней клетках находится более двух существ, то внутри клетки появляется существо («размножение»).
2. Если выбранная клетка непуста, а в соседних с ней клетках живет меньше трех или больше четырех существ, то клетка очищается (существо в ней погибает от одиночества или перенаселения).
3. Если правила 1 и 2 не выполняются, то ничего с клеткой не происходит.

(Под соседними подразумеваются восемь окружающих клеток, за границей ореала – прямоугольного поля – существ нет).

2. Модель «хищник» - «жертва».

В системе хищник-жертва ситуация моделируется следующим образом. В случае конкурирующих популяций исчезновение одной означает выигрыш для другой в борьбе за дополнительные ресурсы. Обозначим через C численность популяции хищника, N – популяцию жертвы. Наиболее популярная модель, отражающая колебания численности имеет вид:

$$\begin{aligned} N_{i+1} &= N_i + (r \cdot N_i - a \cdot N_i \cdot C_i) \cdot \Delta t, \\ C_{i+1} &= C_i + (-q \cdot C_i - a \cdot f \cdot N_i \cdot C_i) \cdot \Delta t. \end{aligned}$$

Согласно первому уравнению при $C=0$ численность жертв быстро растет со скоростью r , поскольку модель не учитывает внутривидовой конкуренции. Скорость роста числа жертв $\left(\frac{\Delta N}{\Delta t}\right)$ уменьшается тем больше, чем чаще происходят встречи особей видов (тогда a - коэффициент эффективности поиска).

Второе уравнение показывает, что в отсутствии жертв численность хищников быстро убывает со скоростью q : положительное слагаемое в правой части уравнения компенсирует эту убыль, f – коэффициент эффективности перехода пищи к потомству хищников.

3. Внутривидовая конкуренция в популяции с дискретным размножением.

Для популяций с дискретным размножением (некоторые виды растений, насекомые) поколения дифференцированно разнесены во времени и особи разных поколений вместе не сосуществуют. Численность подобной популяции характеризуется числом N_t , а время t - дискретная величина – можно, в первом приближении, считать номером популяции. Тогда одна из моделей межвидовой конкуренции может быть описана уравнением:

$$N_{t+1} = \frac{N_t \cdot R}{1 + (a \cdot N_t)^b},$$

где R – скорость воспроизводства популяции в отсутствие внутривидовой конкуренции (математически это соответствует $a=0$); a – параметр, характеризующий интенсивность внутривидовой конкуренции, при $b=1$ осуществляется выход численности популяции на стационарное значение при любых значениях других параметров модели.

Знаменатель в уравнении отражает наличие конкуренции, делающей скорость роста тем меньше, чем больше численность популяции. Данная модель описывает четыре вида эволюции:

1. монотонное установление стационарной численности популяции;
2. колебательное установление стационарной численности популяции;
3. устойчивые предельные циклы изменения численности популяций;
4. случайные изменения численности популяции без наличия явных закономерностей.

4. Внутривидовая конкуренция в популяции с непрерывным размножением.

В данном случае численность популяции $N(t)$ является непрерывной функцией во времени. В начале эволюционного

процесса численность популяции невелика, а ее удельная скорость не зависит от численности: $\frac{1}{N} \cdot \frac{\Delta N}{\Delta t} = r$ - скорость роста численности популяции в отсутствие конкуренции. Далее, по мере роста численности, скорость роста начинает уменьшаться и при достижении определенного критического значения K обращается в ноль. Таким образом, в первом приближении, математическая модель имеет вид:

$$N_{i+1} = N_i + r \cdot N_i \cdot \left(\frac{K - N_i}{K}\right) \cdot \Delta t .$$

Динамики численности (концентрации) большинства возбудителей заболеваний несут в себе циклические составляющие выявление которых затруднено существующими методами спектрального анализа в силу малых объемов выборки исходных данных. В этом случае предлагается использовать либо алгоритмы самоорганизационного моделирования (метод группового учета аргументов) либо осуществлять параметрическую идентификацию полиномов 2-5 степени и, считая их частью некоторого гармонического процесса, оценивать частоты и фазы гармонических составляющих.

Предполагая, что в этом случае

$$a \cdot t^2 + b \cdot t + c \approx A_0 + A \cdot \sin(\omega t) + B \cdot \cos(\omega t) = C_0 + C_1 \cdot \sin(\omega t + \varphi), \quad (1)$$

и в определенных точках первые и вторые производные левых и правых частей данного приближительного равенства равны (в качестве таковых реперных точек могут быть выбраны $(t = 0$ и $t = \frac{\pi}{2\omega})$) получаем приближительную оценку частоты $\omega \approx \left| \frac{\pi^2 \cdot a}{4} \right|$. Затем оценка параметров гармонической модели осуществляется путем решения задачи множественной линейной регрессии с помощью стандартного инструментария электронных таблиц.

Порядок выполнения работы.

1. Сформируйте исходные данные для работы согласно варианта из таблицы приведенной в Приложении: необходимо выбрать один из

показателей заболеваемости (или демографический) – Z - и один из показателей иммунизации населения – I .

2. Инструментальными средствами Excel (Statistica) идентифицируйте зависимости: $Z(I), I(Z), Z(a \cdot t^2 + b \cdot t + c), I(a \cdot t^2 + b \cdot t + c), Z(\omega, \varphi), I(\omega, \varphi)$. Определите корреляцию между функциями и моделями. Сделайте сравнительные выводы: по корреляции, частотам и функции. Предложите передаточные функции соответствующие полученным моделям. Исследуйте кибернетические системы с соответствующими им передаточные функциями на устойчивость (в среде MathLab).

3. На основании результатов п.2. и рекомендациям в кратких теоретических сведениях идентифицируйте параметры модели «хищник-жертва», постройте графики, отражающие результаты имитационного моделирования.

4. Идентифицируйте параметры и постройте модели (с графическим отображением результата имитационного моделирования) внутривидовой конкуренции, считая Z – аналогом (биологической моделью) популяции некоторого возбудителя заболеваний в регионе.

5. Оформите отчет.

Контрольные вопросы

1. Каким образом заболеваемость связана с численностью (концентрацией) возбудителей болезни?
2. Как оцениваются значения параметров гармонических термов, входящих в математические модели заболеваний?
3. Что такое популяционные волны?
4. Что характеризуют популяционные волны в медицинской практике?
5. Какие природные циклы являются модуляторами заболеваний у человека?
6. Что такое хрономедицина?
7. Как можно использовать ритмологические модели (в том числе, популяционных волн) в превентивной медицине?

8. Какими математическими структурами можно в первом приближении аппроксимировать ритмологические составляющие уровней региональной заболеваемости?

Таблица 1 – мониторинг медицинских показателей региона
(размерность показателей – условные относительные единицы)

Годы	Смертность	рождаемость	Прививки от дифтерии	Прививки от столбняка	Прививки от кори	Прививки от гепатита
1	13,2	14,99	10,2	24,6	8,9	15,8
2	11,9	13,36	11,0	30,5	7,7	34,3
3	12,8	11,4	9,5	29,3	9,6	24,9
4	13,5	12,23	10,3	27,7	10,6	28,5
5	13,4	12,92	11,3	43	11,7	18,9
6	13,0	11,67	11,2	44,7	11,5	18,2
7	13,7	11,55	12,4	47,5	10,7	13,0
8	13,0	13,3	12,6	44,1	11,0	19,1
9	14,2	14,7	11,7	44,4	11,9	24,2
10	14,6	14,1	12,1	46,6	18,2	28,2
11	13,0	14,6	13,2	39,5	16,6	12,3
12	13,3	14,8	13,0	40,0	16,3	19,51
13	13,6	13,8	13,5	38,7	17,4	10,12
14	13,6	11,8	14,5	40,9	26,8	19,91
15	14,6	10,8	13,8	34,2	25,1	12,54
16	14,7	9,7	11,6	28,3	12,1	4,2
17	16,5	9,0	11,0	31,1	11,0	85,7
18	18,0	9,3	7,3	16,6	5,6	72,2
19	16,7	8,6	11,5	38,7	3,7	2,02
20	17,0	8,3	11,1	52,5	11,4	22,6
Год	гепатит	Инфаркт миокарда	корь	стенокардия	столбняк	дифтерия
1	101,6	8,6	171,2	28,0	5,2	19,2
2	142,8	3,8	142,6	36,1	9,8	21,4
3	137,6	23,4	135,5	38,8	4,2	16,3
4	127,2	25,2	143,3	55,5	9,9	20,2
5	100,0	34,6	144,0	87,2	8,1	21,2
6	71,9	37,5	119,2	35,4	10,5	21,8
7	83,8	25,5	147,0	39,4	8,1	19,1
8	107,7	33,5	90,7	36,7	4,0	13,7
9	81,4	19,3	85,9	43,8	37,1	17,6
10	72,4	17,9	108,4	41,6	6,2	2,1
11	47,3	28,2	74,5	29,6	3,1	16,7
12	56,8	3,9	108,2	37,7	8,0	11,6
13	43,2	15,1	108,1	30,7	6,4	6,6
14	41,2	12,4	106,4	26,1	4,9	22,4
15	60,6	16,3	97,3	34,9	15,7	10,8
16	29,8	17,6	78,2	30,3	14,7	5,3
17	34,8	15,1	119,0	37,8	20,0	14,6
18	43,3	18,0	167,7	47,5	1,8	25,9
19	55,4	21,8	166,5	38,5	9,9	13,4
20	50,5	17,3	168,5	46,1	18,6	17,1

7. ФОРМИРОВАНИЕ МНОЖЕСТВА ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИЛИ ОРГАНА КАК ЭЛЕМЕНТА КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Цель работы: овладение навыками формирования множества информативных признаков биообъекта управления на основе функциональных связей структуры данных мониторинга.

Краткие теоретические сведения.

Современное медицинское обслуживание населения основывается на информационных и компьютерных технологиях поддержки различных этапов лечебно-диагностического процесса. Развитие теоретического базиса и программно-инструментальных средств искусственного интеллекта для решения задач классификации и распознавания образов, прогнозирования привело к созданию различных специализированных автоматизированных систем поддержки принятия диагностических решений (СППДР) для задач клинической медицины и повышения квалификации медицинских работников.

Проектирование специализированных СППДР в медицине основывается на формировании адекватной и эффективной базы знаний на базе решающих диагностических правил синтезированных и апробированных на клинически подтвержденном материале, каждый элемент которого характеризуется определенным множеством регистрируемых наблюдаемых и управляемых характеристик биообъекта или процесса. Проблема формирования множества информативных признаков является актуальной, поскольку от качества ее разрешения зависит эффективность дальнейшей диагностики, как с применением, так и без применения автоматизированных СППДР.

С медицинской точки зрения, формирование информативного множества признаков несет семантическую нагрузку как формирование кортежа лингвистических переменных для симптомов определенного заболевания или состояния организма.

Особенностью построения СППДР для клинической медицины является использование в реальных условиях небольших

объемов обучающей и экзаменационной (контрольной) выборок результатов исследования состояний биообъекта или процесса. Необходимые и достаточные условия, накладываемые на объемы исследуемого материала с точки зрения классической доказательной медицины практически нереализуемы в условиях анализа открытых систем (к каковым относятся биообъекты), нечеткости и неточности фиксируемых данных в условиях неопределенности. Кроме того, одна и та же система признаков может обладать приемлемой информативностью для решения одной задачи распознавания и полностью непригодной для другой.

Вопросам формирования кортежа лингвистических переменных (множества информативных признаков) посвящено большое количество исследований, фундаментальными из которых являются работы Лбова Г.С. Рассмотрим ряд методов формирования кортежа, основанными на методологиях: анализа иерархий (упорядочивание на основе присвоенных или полученных рангов – весов), регрессионного анализа и самоорганизационной структурно-параметрической идентификации математических моделей метода группового учета аргументов или логических функций (идентифицированных, например, алгоритмами логических искусственных нейронных сетей).

В начале исследования состав признаков задается неформализованным путем, с помощью экспертов (метод Делфи или нечеткий метод Делфи), рекомендуемый для анализа биомедицинской информации в силу особенностей ее регистрации) или волонтаристски, с учетом личного опыта и знаний исследователя и анализа специализированной литературы.

Затем, предлагается применять следующие, зарекомендовавшие себя на практике методы и алгоритмы: Full – полный перебор различных сочетаний признаков до достижения приемлемого диагностического эффекта, Add – последовательное добавление признаков; Del – последовательное исключение признаков до момента предшествующему исчезновению диагностического эффекта; AddDel – одновременное выполнение процедур алгоритмов Add и Del; Prob – каждому признаку определяются веса, а затем применяются процедуры

вышеописанных алгоритмов; фрактальный анализ - применяется для тензорных данных (например, для диагностики болезни Паркинсона); Grad - аналогичен алгоритму AddDel, но включение и исключение показателей в итоговое множество осуществляется не «по одному», а «комплексно».

Заметим, что в качестве признаков выступают как непосредственно регистрируемые, так и латентные или интегральные – в качестве последних могут быть использованы показатели системной организации.

Указанные алгоритмы анализируют характеристики структуры данных, в качестве которых предлагается использовать коэффициенты парной корреляции и-или расстояния до центров кластеров. В этом случае рекомендуется применять критерии – показатели качества: индекс Дана, индексы плотности, общий гиперобъем, индекс Девиса – Боулдина. Т.е., на небольшой по объему выборке применяются указанные алгоритмы и по достижению показателей качества определенного значения, формируются наборы лингвистических переменных, состоящих из определенных признаков. При этом исследователем задается «свобода выбора принятия решений» - количество наборов, из которого на экзаменационной выборке по внешнему критерию оставляется наиболее информативный.

Если осуществление разведочного кластерного анализа невозможно, то предлагается следующий простой и семантически прозрачный метод – в итоговом наборе лингвистических переменных оставляются те признаки, которые имеют наименьшую корреляцию с оставленными и наибольшую с «отброшенными».

Для принятия решения о включения признака в информативное множество предлагается использовать методологию принятия решений Саати Т.Л. Формируется матрица предпочтительности элементов W , элементы которой для показателей i и j различаются по 9 степеням (признак i предпочтительнее признака j): $w_{i,j} = 1$ - равная предпочтительность, $w_{i,j} = 2$ - слабая степень предпочтения, $w_{i,j} = 3$ - средняя степень предпочтения, $w_{i,j} = 4$ - предпочтение

выше среднего, $w_{i,j} = 5$ - умеренно сильное предпочтение, $w_{i,j} = 6$ - сильное предпочтение, $w_{i,j} = 7$ - очень сильное (очевидное) предпочтение, $w_{i,j} = 8$ - очень, очень сильное предпочтение, абсолютное предпочтение, $w_{i,j} = 9$ – абсолютное предпочтение.

Анализ матрицы позволяет после преобразования матрицы группировать признаки по кластерам предпочтительности с помощью предлагаемого П-преобразования. Осуществляется перестановка строки I со строкой J в модифицированной матрице предпочтений таким образом, что вокруг главной диагонали группировались элементы матрицы с максимальными значениями. Условием останова процесса перестановки выступает достижения минимума суммы произведений значений элемента модифицированной матрицы предпочтений W^* на расстояние этого элемента до главной диагонали, согласно формуле (1):

$$(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (w_{i,j}^* \cdot |j - i|)) \rightarrow \min, \text{ где } w_{i,j}^* = \begin{cases} w_{i,j}, \text{ для } i < j \\ 10 - w_{i,j}, \text{ для } i > j \end{cases}, \quad (1)$$

где N – количество анализируемых признаков до селекции.

Степень предпочтения предлагается определять путем упорядочивания признаков по рангам информативности по убыванию. Ранг информативности показателя для СППДР диагностического характера предлагается определять одним из способов (или всеми - с учетом известных алгоритмов принятия решения по нескольким двум альтернативным).

Способ 1. – По максимальному градиенту функциональных различий (МГФР) с учетом или без учета латентного интегрального показателя системной организации функциональных состояний (предложено и апробировано школой академика Завьялова А.В.);

Способ 2. – Путем анализа структуры и параметров аппроксимирующего полинома Габора.

Способ 3. – Путем анализа структуры и анализа логической функции, полученной путем применения алгоритмов и программного обеспечения искусственных логических нейронных сетей.

Способ 4. - По показателям качества кластеризации.

В первом предлагаемом способе для каждого альтернативного класса строится матрица парной связности (например, абсолютные значения коэффициентов корреляции Пирсона) между признаками, элементы которой приравниваются нулю, если их рассчитанное значение меньше определенного порогового уровня. В классах для признаков – кандидатов на включение в кортеж информативных лингвистических переменных, определяются количество связей - Ks_i^{w0} и Ks_i^{w1} и рассчитываются разницы (градиенты) $G_i = |Ks_i^{w0} - Ks_i^{w1}|$, по которым признаки i упорядочиваются по убыванию Ks_i . Для упорядоченного множества показателей рассчитываются ранги Rn_i по формуле (2):

$$Rn_i = \begin{cases} N, & \text{для } i = 1 \\ Rn_i - 1, & \text{для } (i \neq 1) \& (G_i \neq G_{i-1}) \\ Rn_i, & \text{для } (i \neq 1) \& (G_i = G_{i-1}) \end{cases} \quad (2)$$

По вектору $\{Rn\}$ строится матрица предпочтений W , значения элементов которой вычисляются в соответствии с градациями, предложенными Саати Т.Л. (приведены ранее) либо когнитологом, либо автоматически – по формуле (3).

$$w_{i,j} = \begin{cases} \left[\frac{9 \cdot x + \max x - 9 \cdot \min x}{\max x - \min x} \right], & \text{для } i < j \\ 1 - \frac{9 \cdot x + \max x - 9 \cdot \min x}{\max x - \min x}, & \text{для } i > j \end{cases} \quad (3)$$

где $x = |Rn_i - Rn_j|$, $\max x = \max_i |Rn_i - Rn_j|$, $\min x = \min_i |Rn_i - Rn_j|$, $w_{i,i} = 9$.

Второй способ формирования матрицы предпочтений информативности признаков предполагает использование аппроксимирующего полинома Габора – формула (4), поскольку при увеличении степени полинома точность приближения им аппроксимируемой функции возрастает, а затем убывает, - это позволяет применять полином в самоорганизационных алгоритмах метода группового учета аргументов (МГУА). Заметим, что МГУА позволяет обрабатывать выборки малого объема и строить полином Габора по узлам интерполяции, количество которых меньше максимальной степени полинома.

$$Y(Z) = A_0 + \sum_{k=1}^L (A_k \cdot \prod_{i=1}^N z_i^{p_{i,k}}), \quad (4)$$

где: $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_N\}$ – множество аргументов, $Y(Z)$ – функция отклика (аппроксимант), L – количество термов в полиноме, $A_k, p_{i,k}$

– идентифицированные параметры модели, N – количество аргументов.

Информативность показателя из множества $\{X\}$ предлагается определять следующими методами:

1 метод – на основе нелинейной дискриминантной функции, идентифицированной для классов w_1 и w_0 («болен» - «неболен», «состояние1»-«состояние2» - т.е., подразумевается бинарное иерархическое дерево решений). Для класса w_0 задается значение функции отклика, лежащее в диапазоне $(-1 \pm e)$ и имеющее равномерное распределение ($e = \frac{1}{N_0+N_1}$, где N_0, N_1 - объемы обучающих выборок для классов w_0 и w_1 , соответственно). Аналогичным образом формируется отклик для класса w_1 в диапазоне $(1 \pm e)$ формулы (4) и с помощью ортогонального алгоритма МГУА осуществляется структурно-параметрическая идентификация полинома (4).

Далее определяется доля влияния каждого термина по формуле (5) в каждом классе:

$$V_k^{w_{0/1}} = \frac{A_k^{w_{0/1}} \cdot \overline{\prod_{i=1}^N x_i^{p_{i,k,w_{0/1}}}}} {\sum_{j=1}^L (A_j^{w_{0/1}} \cdot \overline{\prod_{i=1}^N x_i^{p_{i,j,w_{0/1}}}})}, \quad (5)$$

где оператор $\overline{(\cdot)}$ – означает модальное значение ZZ .

Затем, для каждого аргумента, входящего в k -ый терм вычисляется вес мультипликанта по формуле (6).

$$M_{i,k}^{w_{0/1}} = \frac{|p_{i,k,w_{0/1}}| \cdot |\ln(x_i)|} {\sum_j |p_{i,j,w_{0/1}}| \cdot |\ln(x_i)|}. \quad (6)$$

В итоге, определяются значение величины аддитивно-мультипликативного влияния показателя x_i на функцию отклика (согласно параметрам дискриминантного аппроксиманта) для каждого альтернативного класса – по формуле (7).

$$AM_{x_i}^{w_{0/1}} = 1 - \prod_{k=1}^L (1 - V_k^{w_{0/1}} \cdot M_{i,k}^{w_{0/1}}). \quad (7)$$

Вводится «относительная погрешность отличий» $\varepsilon < 0,5$ (рекомендуется $0,01 \leq \varepsilon < 0,1$) и пересчитываются значения величины мультипликативного влияния в $[AM_{x_i}^{w_{0/1}}, \varepsilon]$ по формуле (8):

$$[AM_{x_i}^{w_0/1}, \varepsilon] = \begin{cases} AM_{x_j}^{w_0/1}, & \text{если } (1 - \varepsilon) \cdot AM_{x_j}^{w_0/1} < AM_{x_i}^{w_0/1} \leq (1 + \varepsilon) \cdot AM_{x_j}^{w_0/1} \\ AM_{x_i}^{w_0/1}, & \text{иначе} \end{cases}, j = \overline{1, N}, j \neq i$$

(8)

Далее, для каждого класса (w_1 и w_0) признаки (лингвистические переменные) x_i упорядочиваются по мере убывания значений $[AM_{x_i}^{w_0/1}, \varepsilon]$. В итоге формируются два кортежа признаков для классов: $\{X^{w_0}\}$ и $\{X^{w_1}\}$. По полученным кортежам, применяя формулу (2), заменив G_i на $[AM_{x_i}^{w_0/1}, \varepsilon]$ формируются два множества рангов Rn^{w_0} и Rn^{w_1} .

По Rn^{w_0} и Rn^{w_1} формируется итоговое множество информативных признаков согласно определенному исследователем объема $NI \leq N$ состоящего из элементов $XI_j = (x_j / Inf(x_j)) / j = \overline{1, NI}$, которые импортируются из исходного множества $\{X\}$ согласно Rn^{w_0} и Rn^{w_1} по мере убывания путем последовательного включения по мере убывания рангов. В случае возникновения альтернативных ситуаций включений применяется один из вариантов: волюнтаристический (знание и опыт исследователя), метод Монте-Карло или путем уменьшения величины ε и повторения процедуры ранжирования.

Информативность признака $Inf(x_j)$ предлагается определяется по формуле (9).

$$Inf(x_j) = \frac{\max(Rn_{x_j}^{w_0}, Rn_{x_j}^{w_1})}{\max_{j=\overline{1, NI}}(\max(Rn_{x_j}^{w_0}, Rn_{x_j}^{w_1}))}, \quad (9)$$

где $Rn_{x_j}^{w_0}, Rn_{x_j}^{w_1}$ – значение ранга показателя x_j в w_0 и w_1 , соответственно.

2 метод формирования множества информативных показателей и с вычисление значения $Inf(x_j)$, основывается на предварительной идентификации аппроксимирующего полинома Габора (4) для каждого показателя из начального множества $\{X\}$. В этом случае, процедура идентификации повторяется N раз для каждого класса w_0 и w_1 , последовательно формируя множества $\{Z\} = \{X\} - x_j$ и отклики $Y(Z) = x_j$.

В результате формируются множества аппроксимантов для альтернативных классов:

$\{App\}_{M0}^{w_0}$ и $\{App\}_{M1}^{w_1}$ ($M0 \leq N, M1 \leq N, M0 \neq 0, M1 \neq 0$).

Следует отметить, что аппроксиманты со значениями коэффициента детерминации меньше определенного исследователем порогового значения в дальнейшем анализе не участвуют. Если в результате селекции образуется пустое множество аппроксимантов, то в него последовательно возвращаются аппроксиманты с максимальными значениями коэффициентов детерминации. Минимальный объем множества аппроксимантов определяется «свободой выбора» (рекомендуемая величина от 3 до 7).

Далее, для каждого альтернативного класса формируются матрицы $(ApX)_{M0,N}^{w_0}$ и $(ApX)_{M1,N}^{w_1}$, количество строк в которых равны, соответственно $M0$ и $M1$, количество столбцов – количеству показателей множества $\{X\}$, значение элемента матриц подсчитывается по формулам, аналогичным (5)-(8). По полученным матрицам образуют два вектора $(SAPX)_N^{w_0}$ и $(SAPX)_N^{w_1}$ (для каждого класса), значения элементов которых вычисляются по формулам (10):

$$\begin{aligned} SAPX_i^{w_0} &= \max_j ((ApX)_{j,i}^{w_0}) \cdot \sum_{j=1}^{M0} ((ApX)_{j,i}^{w_0}) / i = \overline{1,N}, j = \overline{1,M0} \\ SAPX_i^{w_1} &= \max_j ((ApX)_{j,i}^{w_1}) \cdot \sum_{j=1}^{M1} ((ApX)_{j,i}^{w_1}) / i = \overline{1,N}, j = \overline{1,M1}. \end{aligned} \quad (10)$$

Для каждого класса (w_1 и w_0) показатели x_i упорядочиваются по мере убывания значений $[SAPX_i^{w_0/w_1}, \varepsilon]$. Таким образом, формируются формируются два кортежа показателей для альтернативных классах: $\{X^{w_0}\}$ и $\{X^{w_1}\}$.

Задание ε , формирование кортежей и дальнейшее применение формулы (2), формирование множества информативных признаков $XI_j = (x_j / Inf(x_j)) / j = \overline{1,NI}$ и вычисление информативности далее осуществляется аналогичными рассмотренными в способе 1 процедурами.

В способе 3 лингвистические переменные принимают значения «true» («1») либо «false» (0). С определенной точностью (диагностической эффективностью в медицинских приложениях)

аппроксимант отклика представляется формулой (11) (индексы и переменные имеют аналоги в (2)).

$$YB(ZB) = \bigvee_{k=1}^L (\bigwedge_{i=1}^N (zb)) , \quad (11)$$

где : $f_i(zb) \in \{zb, \bar{z}, 1\}$. $zb \in \{ZB\}$ – логическая переменная.

Для возможности применения подходов, изложенных в способе 1 и способе 2 предлагается от (11) перейти к аналогу полинома Габора $YB^*(ZB^*)$ для логических функций в виде формулы (12), на основании аналогов арифметических операций логическим функциям.

$$YB^*(ZB^*) = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - zb_i^*)^{p_k} , p_k = \{0,1\}, zb_i^* = \{0,1\} . \quad (12)$$

Далее применимы формулы (5)-(10) и выводы из них вытекающие.

Способ 4 предполагает осуществлять упорядочивание признаков (лингвистических переменных) с последующим вычислением рангов, включения в информативный кортеж и вычисление информативности аналогично ранее рассмотренными способами на основании гиперобъемов H (и-или индекса плотности PD), рассмотренных в [7], проводя процедуры разведочной кластеризации с вычислением величины изменения качества кластеризации dH_{x_j} по мере исключения из рассмотрения анализируемого признака по формуле (13).

$$dH_{x_j} = \frac{\sqrt{[(\det(R_{w_0,\{X\}}))^2 + (\det(R_{w_1,\{X\}}))^2]} - \sqrt{[(\det(R_{w_0,\{X\}-x_j}))^2 + (\det(R_{w_1,\{X-x_j\}}))^2]}}{\sqrt{[(\det(R_{w_0,\{X\}}))^2 + (\det(R_{w_1,\{X\}}))^2]}} , \quad (13)$$

где: $R_{w_0,\{X\}}$, $R_{w_1,\{X\}}$ – ковариационные матрицы в соответствующих классах w_0 и w_1 на начальном множестве $\{X\}$; $R_{w_0,\{X\}-x_j}$, $R_{w_1,\{X-x_j\}}$ – корреляционные матрицы в классах w_0 и w_1 на множестве $\{\{X\}-x_j\}$ (исключен признак x_j ; $\det()$ – оператор вычисления определителя матрицы.

Под ковариационными матрицами здесь понимаются матрицы, вычисляемые по формулам (14).

$$R_{w_0,\{X\}} = \frac{1}{N_0} \cdot \sum_{i=1}^{N_0} (x_{w_0,i} - v_{w_0}) \cdot (x_{w_0,i} - v_{w_0})^T ,$$

$$R_{w_1,\{X\}} = \frac{1}{N_1} \cdot \sum_{i=1}^{N_1} (x_{w_1,i} - v_{w_1}) \cdot (x_{w_1,i} - v_{w_1})^T , \quad (14)$$

где N_0, N_1 – количество объектов в классах w_0 и w_1 , соответственно; $x_{w_0,i}, x_{w_1,i}$ – вектора координат i -го объекта в соответствующих кластерах; v_{w_0}, v_{w_1} – векторы координат центров соответствующих классов w_0 и w_1 .

Заметим, что dN_{x_j} может принимать как положительные, так и отрицательные значения – последний вариант означает, что после селекции качество классификации согласно общему гиперобъему N ухудшилось.

Недостатком данного способа является анализ исключения признака как единичного представителя, а не в совокупности с некоторыми кортежами остальных. Процедуры полного перебора различных вариантов требуют в этом случае больших вычислительных ресурсов, как правило, с незначительными потерями диагностического качества (или их отсутствием) в конечном итоге.

Порядок выполнения работы:

1. Сформируйте протокол мониторинга за показателями крови больных согласно варианта задания и таблицы, приведенной к приложению к работе. В каждом варианте выбирается методом Монте-Карло 6 показателей - с помощью датчика случайных чисел.
2. Формируются две выборки равного объема, на каждой из которых формируется множество информативных размерностью 3, по максимальному градиенту функциональных различий и путем анализа аппроксимирующего полинома Габора (используйте один терм в полиноме и логарифмические функции при идентификации параметров модели с использованием процедуры множественного линейного регрессионного анализа). Сравните полученные на разных выборках результаты селекции.
3. Отобразите графически объекты наблюдения в трехмерном пространстве путем использования трех двумерных проекций на разных выборках. Сделайте сравнительные выводы.
4. Оформите отчет.

Контрольные вопросы:

1. Что такое информативность показателя?
 2. Как идентифицируется полином Габора средствами Excel?
 3. Что такое логистическая переменная объекта управления?
 4. Какие типы показателей характеризуют физиологическую систему?
 5. Что такое показатель «максимальный градиент функциональных различий»?
 6. Каким образом показатели ранжируются по информативности?
 7. Что такое искусственные логические нейронные сети?
 8. Как применяется метод группового учета аргументов в биомедицинских исследованиях физиологических процессов и систем?
 9. Чем отличаются функциональная и физиологическая системы?
 10. Как определяется информативность по Кульбаку?
 11. Каким образом определяется репрезентативность данных мониторинга?
 12. Какие бывают виды мониторинга физиологических систем?
- Организация мониторинга.

Приложение

эр	Нб	ЦП	лейк	эоз	пал	сегм	лимф	мон	заболевание
4,6	130	0,85	6,7	1	3	44	38	14	Цирроз
3,7	117	0,95	3,6	5	3	50	32	10	цирроз
3,3	110	1,00	4,4	1	3	70	23	3	цирроз
4,4	140	0,95	13,2	3	2	63	30	2	цирроз
4,5	150	1,00	7	1	6	50	34	9	цирроз
4,4	132	0,90	4,4	0	5	60	33	2	цирроз
4,1	136	1,00	5	1	1	70	24	4	цирроз
4	130	0,98	4,9	3	2	71	20	4	цирроз
3,5	115	0,99	7,8	1	6	51	38	4	цирроз
4,2	132	0,94	6	3	4	67	20	6	цирроз
4,3	140	0,98	4,3	2	2	71	17	8	цирроз
4	118	0,89	8,3	0	5	61	26	8	цирроз
4,5	144	0,96	6,4	2	1	60	33	4	цирроз
4,60	150	0,98	5,6	7	4	46	36	7	цирроз
4	130	0,98	7,0	5	6	54	26	9	цирроз
3,9	130	1,00	9,6	1	19	48	15	5	цирроз
4,0	112	0,84	15,8	4	18	61	13	4	цирроз

4,6	150	0,98	5,4	1	2	52	37	8	цирроз
4,6	150	0,98	5,4	2	5	51	34	8	цирроз
4,6	145	0,95	5,2	1	8	68	20	3	цирроз
4,6	150	0,98	6,6	2	3	64	42	12	цирроз
3,2	108	1,01	3	2	5	48	49	6	цирроз
4,5	141	0,94	8,4	2	4	58	24	12	цирроз
4,2	140	1,00	7,1	1	3	60	33	3	цирроз
4	130	0,98	7,0	5	6	54	26	9	цирроз
3,7	112	0,91	3,9	2	1	61	32	4	цирроз
4,0	130	0,98	4	3	1	57	35	4	цирроз
3,7	114	0,92	3,8	3	2	50	41	4	цирроз
4,4	144	0,98	7	2	12	48	26	12	цирроз
эр	Нь	ЦП	лейк	эоз	пал	сегм	лимф	мон	
3,9	109	0,84	4,6	3	3	67	24	3	желчКамБол
4,0	132	0,99	7	3	5	84	10	1	желчКамБол
4,4	144	0,98	9,1	4	7	72	20	1	желчКамБол
3,6	126	1,05	4,4	2	8	54	37	1	желчКамБол
3,5	106	0,91	11,9	1	4	73	18	5	желчКамБол
3,0	100	1,00	6,0	3	1	60	30	6	желчКамБол
3,9	139	1,07	6,4	2	4	59	34	1	желчКамБол
3,8	127	1,00	5,9	3	4	40	50	6	желчКамБол
3,1	103	1,00	10,2	4	1	68	17	10	желчКамБол
3,8	120	0,95	6,8	1	1	58	37	3	желчКамБол
4,1	134	0,98	8,9	2	5	58	36	1	желчКамБол
4,0	120	0,90	7,2	3	1	78	19	2	желчКамБол
3,5	126	1,08	5,3	1	1	51	46	2	желчКамБол
3,5	114	0,98	5,2	3	3	59	33	2	желчКамБол
3,9	126	0,97	9,3	1	11	66	20	2	желчКамБол
4,35	138	0,95	19,0	2	8	86	3	1	желчКамБол
3,8	124	0,98	7,2	2	7	69	27	2	желчКамБол
3,8	128	1,01	10,2	1	8	77	14	1	желчКамБол
3,5	110	0,94	9,4	3	6	68	24	2	желчКамБол
3,5	114	0,98	14,9	2	3	79	15	3	желчКамБол
3,9	126	0,97	9,9	4	5	76	18	1	желчКамБол
3,9	120	0,92	17,9	3	5	67	24	4	желчКамБол
4,5	140	0,93	12,7	1	8	87	3	1	желчКамБол
3,3	110	1,00	3,2	2	1	66	27	4	желчКамБол

8. МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ УРАВНЕНИЕМ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

Цель работы: овладение навыками математического моделирования и проведения вычислительного эксперимента физиологических систем организма приближенно описываемых дифференциальным уравнением первого порядка.

Краткие теоретические сведения

Устойчивость физиологических функций и методы ее оценки.

Одним из важных вопросов, возникающих при исследовании биологических систем (к которым относится человеческий организм в клинической и практической медицине), является вопрос об их устойчивости и этой проблеме посвящены многочисленные исследования (Ризниченко Г.Ю., 2002; Братусь А. С., Новожилов А. С., Платонов А. П., 2010; Keener J. and Sneyd J, 2001; Moser M., Penter R., Fruehwirth M.; Kenner J, 2006).

Устойчивость, стабильность - универсальные понятия, используемые в различных сферах человеческой жизни, начиная от бытовых (устойчиво научился ходить ребенок, устойчиво работает та или иная бытовая техника). В медицине понятие «устойчивость» употребляется для обозначения степени тяжести состояния больного: 51 «стабильное», «стабильно тяжелое» и т.д.

В психологии - для обозначения людей с «устойчивой» и «неустойчивой» психикой.

В физике под «устойчивостью движения» понимается способность движущейся механической системы не отклоняться от траектории при незначительных случайных воздействиях.

Устойчивостью движения должны обладать автомобиль, самолет, снаряд, ракета и др. Анализ различных определений понятия «устойчивость» и классификацию систем по типам устойчивости можно найти в монографии (В.В.Артюхов, 2010). В монографии рассматриваются виды устойчивости, связанные с такими понятиями, как инерционность, симметрия, адаптивность, гомеостаз. Автор приводит 38 различных определений понятия

«устойчивость» и дает еще одно, собственное определение: устойчивость – это свойство системы S совпадать по признакам $\{П\}$ до и после изменений $\{И\}$ вызванных действием комплекса факторов $\{Ф\}$. Строгие математические определения понятия «устойчивость» берут начало от изучения устойчивости движения механических систем. Движение любой механической системы зависит от действующих сил и начальных условий, исходя из которых, можно теоретически рассчитать, как будет двигаться система. Движение, соответствующее этому расчёту, называется невозмущённым. Но на практике истинные значения начальных условий обычно изменяются из-за влияния внешних случайных возмущений. Движение, которое система будет совершать при наличии этих возмущений, называется возмущённым движением. Если при малых начальных возмущениях характеристики движения всё последующее время мало отличаются от невозмущённых, движение называется устойчивым. Если же характеристики движения со временем будут всё более и более отличаться от невозмущённых, то движение системы называется неустойчивым.

Эти определения соответствуют определению устойчивости движения по А. М. Ляпунову, который заложил основы точной математической теории устойчивости механических систем. На практике эта теория может быть применена не только к механическому движению, но и к любым другим сложным системам, поведение которых может быть описано с помощью дифференциальных уравнений.

Наиболее широко используются классические методы оценки устойчивости в технических системах, и, в частности, при проектировании систем автоматического управления. Для нормального функционирования таких систем необходимо, чтобы система была устойчивой, так как в противном случае в ней возникнут большие ошибки.

В отличие от механических, в биомедицинских системах мы сталкиваемся с невозможностью применения к ним математических методов оценки устойчивости, так как в большинстве случаев нам не известны дифференциальные уравнения, описывающие их состояние.

По этой причине изучение вопросов устойчивости физиологических функций с применением строгих математических методов и критериев чрезвычайно ограничено. Несмотря на это, понятие «устойчивость физиологических функций» широко применяется физиологии.

Оно получило широкое распространение одновременно с проникновением в физиологию кибернетических идей и сформулированного П.К.Анохиным принципа саморегуляции и системного подхода к изучению физиологических функций.

Согласно этому принципу, «отклонение результата деятельности функциональной системы от уровня, обеспечивающего нормальный метаболизм, немедленно вызывает цепь центрально-периферических процессов, направленных на восстановление оптимального уровня данного результата.

Именно благодаря динамической саморегуляторной деятельности различные функциональные системы определяют необходимую для нормальной жизнедеятельности устойчивость метаболических процессов и их уравнированность с внешней средой». Эти идеи положили начало разработке количественных методов оценки устойчивости физиологических функций.

Первоначально это были экспериментальные методы.

В частности, были предложены экспериментальные методы оценки устойчивости животных к стрессорным нагрузкам по суммарному индексу поведенческой активности в тесте 53 «открытое поле» (Коплик Е.В., Горбунова А.В., Салиева Р.М., 1995).

Оценка стресс-устойчивости и разделение животных по поведенческим критериям на группы «стресс-устойчивых» и «стресс-предрасположенных» осуществляется с помощью показателя «индекс активности» в тесте «открытое поле», рассчитываемого по таким параметрам, как латентные периоды первого движения и выхода в центр, периферические и центральные амбуляции, число исследованных объектов, время груминга, уринация и дефекации.

Устойчивость к стрессорным воздействиям сердечно-сосудистых функций и электрическую стабильность сердца сначала

оценивали по ЧСС, виду зубцов ЭКГ-сигнала и появлению различных аритмий. Позднее Макарычевым В.А. и соавт. (1979) был предложен количественный критерий, позволяющий оценивать электрическую стабильность сердца по порогам возникновения желудочковых аритмий (ПЖА) и фибрилляции желудочков (ПФЖ).

Чем выше ПФЖ, тем выше электрическая стабильность сердца. Помимо ПФЖ, для оценки электрической стабильности сердца были предложены и другие критерии (Malkin R.A., Sousa J.J., Ideker R.E., 1997). Это ULV (upper limit to the vulnerability) - верхний предел уязвимости миокарда к ФЖ (порог уязвимости) и DF - порог дефибрилляции. Чем выше ULV и DF, тем ниже электрическая стабильность сердца.

Но эти методы могут использоваться лишь в научно-исследовательских целях при проведении экспериментов на животных. В то же время нужды практической медицины ставят врачей перед необходимостью иметь в распоряжении точные методы оценки индивидуальной устойчивости различных функциональных состояний пациентов и прогнозирования вероятностей переходов в неустойчивые состояния и патологические режимы. Поэтому разработка количественных методов оценки индивидуальной устойчивости физиологических функций к экстремальным внешним воздействиям имеет важное не только теоретическое, но и практическое значение. В настоящей работе были использованы как экспериментальные методы оценки электрической стабильности сердца с помощью ПФЖ и ПЖА, так и впервые применены разработанные нами (Мезенцева Л.В, 2014) 54 математические и компьютерные методы оценки устойчивости различных состояний кардиодинамики.

Изучение математических моделей физиологических систем начнем с систем первого порядка, которым соответствует одно дифференциальное уравнение первого порядка:

$$\frac{dx}{dt} = f(x,t).$$

Если система автономная, то правая часть уравнений не зависит явно от времени и уравнение имеет вид:

$$\frac{dx}{dt} = f(x). \quad (1)$$

Состояние таких систем в каждый момент времени характеризуется одной единственной величиной – значением переменной x в данный момент времени t .

Рассмотрим плоскость t, x . Решениями уравнения (1): $x(t)$ являются кривые на плоскости t, x , называемые интегральными кривыми (рисунок 1).

Пусть заданы начальные условия $x = x_0$ при $t=0$ или, иначе, пусть на плоскости t, x задана точка с координатами (t_0, x_0) . Если для уравнения (1) выполнены условия теоремы Коши, то имеется единственное решение уравнения (1), удовлетворяющее этим начальным условиям, и через точку (t_0, x_0) проходит одна единственная интегральная кривая $x(t)$.

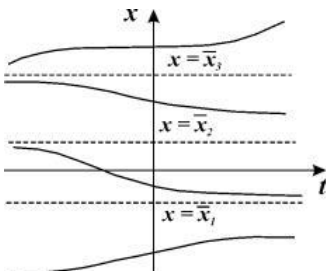


Рис1. Интегральные кривые

Интегральные кривые уравнения (1) не могут пересекаться. Решения уравнения (1) не могут быть периодическими, они монотонны.

Поведение интегральных кривых на плоскости t, x можно установить, не решая в явном виде дифференциального уравнения (1), если известен характер движения изображающей точки на фазовой прямой.

Рассмотрим плоскость t, x , причем фазовую прямую совместим с осью x . Построим на плоскости t, x точку с абсциссой t и с ординатой, равной смещению изображающей точки по оси x в данный момент времени t . С течением времени в соответствии с уравнением (1) изображающая точка будет двигаться по фазовой прямой (рисунок 2), а на

плоскости t, x описывать некую кривую. Это будет интегральная кривая уравнения (1).

Решения одного автономного дифференциального уравнения либо уходят в бесконечность (чего не бывает в реальных системах), либо асимптотически приближаются к стационарному состоянию.

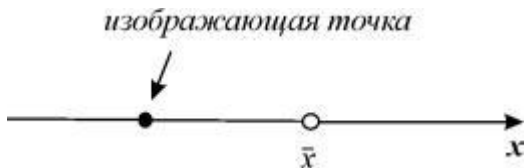


Рис.2 – Фазовая прямая

Стационарное состояние (точка покоя, особая точка, состояние равновесия). В стационарном состоянии значения переменных в системе не меняются со временем. На языке дифференциальных уравнений это означает:

$$\frac{dx}{dt} = 0. \quad (2)$$

Если левая часть уравнения равна нулю, значит равна нулю и его правая часть:

$$f(x) = 0. \quad (3)$$

Корни алгебраического уравнения (2.3): $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n$ суть стационарные состояния дифференциального уравнения (1). На плоскости (t, x) прямые $x = \bar{x}_i$ – асимптоты, к которым приближаются интегральные кривые. На фазовой прямой (рис. 2) стационарное состояние \bar{x}_i – точка, к которой стремится величина x .

Реальные физиологические (как и биологические) системы испытывают многочисленные флуктуации, переменные при малых отклонениях возвращаются к своим стационарным значениям. Поэтому при построении модели важно знать, устойчивы ли стационарные состояния модели.

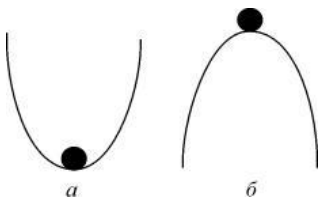


Рис. 3 – К понятию устойчивости состояния равновесия

На рисунке 3 в обоих положениях (а и б) шарик находится в равновесии, т.к. сумма сил, действующих на него, равна нулю. Устойчивое состояние равновесия можно определить так: если при достаточно малом отклонении от положения равновесия система никогда не уйдет далеко от особой точки, то особая точка будет устойчивым состоянием равновесия, что соответствует устойчивому режиму функционирования системы.

Строгое математическое определение устойчивости состояния равновесия уравнения $dx/dt = f(x)$ выглядит следующим образом : Состояние равновесия устойчиво по Ляпунову, если задав сколь угодно малое положительное ε , всегда можно найти такое δ , что

$$|x(t) - \bar{x}| < \varepsilon \quad \text{для } t_0 \leq t < +\infty \quad \text{если } |x(t_0) - \bar{x}| < \delta.$$

Иначе говоря, для устойчивого состояния равновесия справедливо утверждение: если в момент времени t_0 отклонение от состояния равновесия мало ($|x(t_0) - \bar{x}| < \delta$), то в любой последующий момент времени $t > t_0$ отклонение решения системы от состояния равновесия будет также мало: $|x(t) - \bar{x}| < \varepsilon$.

Другими словами: стационарное состояние называется устойчивым, если малые отклонения не выводят систему слишком далеко из окрестности этого стационарного состояния. Пример — шарик в ямке (с трением или без трения).

Стационарное состояние называется асимптотически устойчивым, если малые отклонения от него со временем затухают. Пример — шарик в ямке в вязкой среде.

Стационарное состояние называется неустойчивым, если малые отклонения со временем увеличиваются. Пример: шарик на горке.

Устойчивое стационарное состояние представляет собой простейший тип аттрактора.

Аттрактором называется множество, к которому стремится изображающая точка системы с течением времени (притягивающее множество).

Рассмотрим следующие типы аттракторов:

- устойчивая точка покоя;
- предельный цикл — режим колебаний с постоянными периодом и амплитудой (начиная с размерности системы 2);
- Области с квази-стохастическим поведением траекторий в области аттрактора, например, «странный аттрактор» (начиная с размерности 3).

Аналитический метод исследования устойчивости стационарного состояния (метод Ляпунова).

Метод Ляпунова приложим к широкому классу систем различной размерности, точечным системам, которые описываются обыкновенными дифференциальными уравнениями, и распределенным системам, описываемым уравнениями в частных производных, непрерывным и дискретным.

Рассмотрим метод линеаризации Ляпунова для одного автономного дифференциального уравнения первого порядка. Пусть \bar{x} — стационарное решение уравнения:

$$\frac{dx}{dt} = f(x). \quad (2.1)$$

Пусть система, первоначально находившаяся в стационарном состоянии, отклонилась от него и перешла в близкую точку с координатой: $x = \bar{x} + \xi$, причем $\xi / \bar{x} \ll 1$.

Перейдем в уравнении (1) от переменной x к переменной ξ , т.е. новой переменной будет отклонение системы от стационарного состояния.

Получим:

$$\frac{d(\bar{x} + \xi)}{dt} = \frac{dx}{dt} = f(\bar{x} + \xi)$$

Учтем, что $\left. \frac{dx}{dt} \right|_{x=\bar{x}} = 0$ по определению стационарного состояния.

Правую часть разложим в ряд Тейлора в точке \bar{x} :

$$\frac{d\xi}{dt} = f(\bar{x}) + f'(\bar{x})\xi + \frac{1}{2}f''(\bar{x})\xi^2 + \dots \quad \text{или}$$

$$\frac{d\xi}{dt} = a_1\xi + a_2\xi^2 + \dots, \quad \text{где } a_1 = f'(\bar{x}); \quad a_2 = f''(\bar{x}), \dots$$

Отбросим члены порядка 2 и выше. Останется линейное уравнение:

$$d\xi/dt = a_1\xi, \quad (4)$$

которое носит название линеаризованного уравнения или уравнения первого приближения. Интеграл этого уравнения для $\xi(t)$ находится сразу:

$$\xi(t) = c \cdot \exp(\lambda t), \quad (5)$$

где $\lambda = a_1 = f'(\bar{x})$, c — произвольная постоянная.

Аналогичные рассуждения проводятся при рассмотрении устойчивости стационарных состояний более сложных динамических систем.

Итак, устойчивость стационарного состояния \bar{x} уравнения $dx/dt=f(x)$ определяется знаком производной правой части в стационарной точке.

В случае одного уравнения вопрос об устойчивости состояния равновесия нетрудно решить, рассматривая график функции $f(x)$.

По определению в стационарной точке правая часть уравнения (1) — функция $f(x)$ обращается в нуль.

Здесь возможны три случая (рисунок 4 а,б,в).

1. Вблизи состояния равновесия функция $f(x)$ меняет знак с плюса на минус при возрастании x (рисунок 4а).

Отклоним изображающую точку системы в сторону $x < \bar{x}$. В этой области скорость изменения x $dx/dt = f(x)$ положительна. Следовательно, x увеличивается, т.е. возвращается к \bar{x} . При $x > \bar{x}$ скорость изменения величины x уменьшается, т.к. функция $f(x) \rightarrow 0$. Следовательно, здесь уменьшается и опять стремится к \bar{x} . Таким образом, отклонения от стационарного состояния в обе стороны затухают. Стационарное состояние устойчиво.

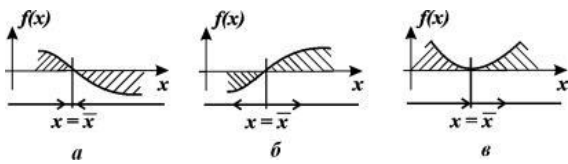


Рис. 4. Определение устойчивости стационарного состояния по графику функции $f(x)$

а – стационарное состояние \bar{x} устойчиво; б, в – стационарное состояние \bar{x} неустойчиво.

2. Вблизи состояния равновесия функция $f(x)$ меняет знак с минуса на плюс при возрастании x (рисунок 4б).

В обоих случаях изображающая точка удаляется от состояния равновесия. Стационарное состояние неустойчиво.

3. Вблизи состояния равновесия функции $f(x)$ не меняет знак (рисунок 4в).

Поскольку $f'(\bar{x}) = 0$, это означает, что изображающая точка, помещенная достаточно близко к состоянию равновесия с одной стороны, будет приближаться к нему, помещенная с другой стороны – удаляться.

Пример.

1. Рост колонии микроорганизмов в организме человека

За время Δt прирост численности равен:

$$\Delta x = R - S,$$

где R – число родившихся и S – число умерших за время Δt особей пропорциональные этому промежутку времени:

$$R(\Delta t, x) = R(x)\Delta t, \quad S(\Delta t, x) = S(x)\Delta t.$$

В дискретной форме:

$$\Delta x = [R(x) - S(x)]\Delta t.$$

Разделив на Δt и переходя к пределу при $t \rightarrow 0$, получим дифференциальное уравнение

$$\frac{dx}{dt} = R(x) - S(x). \quad (6)$$

В простейшем случае, когда рождаемость и смертность пропорциональны численности:

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x - \beta x,$$

$$\frac{dx}{dt} = rx. \quad (7)$$

Разделим переменные и проинтегрируем:

$$\frac{dx}{rx} = dt;$$

$$\ln x = rt + C.$$

Переходя от логарифмов к значениям переменной x и определяя произвольную постоянную C из начальных условий, получим экспоненциальную форму динамики роста.

$$x = x_0 e^{rt}; \quad x_0 = x(t=0). \quad (8)$$

График функции (8) при положительных (размножение) и отрицательных (вымирание) значениях константы скорости роста представлен на рисунке 5.

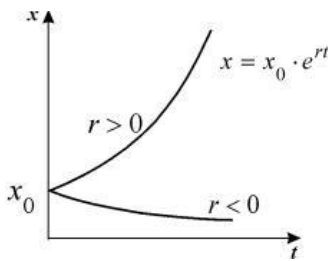


Рис. 5. Экспоненциальная форма динамики роста численности колонии микроорганизмов.

Аналитически решаются следующие виды дифференциальных уравнений.

1. Уравнения с разделяющимися переменными решаются в интегралах. К ним относятся оба приведенные выше примера.
2. Линейные дифференциальные уравнения (не обязательно автономные).
3. Некоторые специальные виды уравнений.

Решение дифференциального уравнения в Excel

Для моделирования и исследования систем и технических объектов табличный редактор Excel имеет все необходимые средства для быстрого создания модели и получения наглядных результатов моделирования.

Динамические объекты – это объекты, для которых нельзя пренебречь изменением состояния во времени – t . Динамические объекты описываются дифференциальными уравнениями. Для исследования и моделирования динамических объектов применяются известные численные методы: метод Эйлера и его модификации, методы Рунге-Кутты и Адамса.

Пусть требуется найти закон движения объекта $y(t)$ на отрезке $[t_0, t_k]$, которому принадлежит t . Задано: дифференциальное уравнение $\frac{dy}{dt} = f(t, y, u(t))$, (1), начальные условия $y(t_0) = y_0$, (2), функция управления $u(t)$.

Допущение, принятое в вычислительной модели метода Эйлера, заключается в том, что на некотором достаточно малом интервале времени h предполагается допустимым пренебречь изменением производной y_0 . Задача решается в дискретном времени. Множество равноотстоящих моментов времени $T = (t_0, t_1, t_2, \dots, t_k)$ и множество значений функции y_i в эти моменты времени определяют закон движения объекта. На основании (1) и (2) организуются рекуррентные вычисления (табл. 1), где $h = t_i - t_{i-1}$, $i = 1..k$.

Таблица. Формулы метода Эйлера (объект 1-го порядка)

i	t_i	y_i	$y'_i = f(t_i, y_i, u_i)$	Δy_i
0	t_0	y_0	$y'_0 = f(t_0, y_0, u_0)$	$\Delta y_0 = y'_0 h$
1	t_1	$y_1 = y_0 + \Delta y_0$	$y'_1 = f(t_1, y_1, u_1)$	$\Delta y_1 = y'_1 h$
2	t_2	$y_2 = y_1 + \Delta y_1$	$y'_2 = f(t_2, y_2, u_2)$	$\Delta y_2 = y'_2 h$
...
K	t_k	$y_k = y_{k-1} + \Delta y_{k-1}$	$y'_k = f(t_k, y_k, u_k)$	$\Delta y_k = y'_k h$

Перенос формул таблиц на лист книги Excel с учетом правил ввода формул позволяет получить табличную модель процесса движения. Начальный момент времени (t_0) и начальные условия (y_0) вводятся как числовые константы. Формула вводится только в верхнюю ячейку каждого столбца. Остальные ячейки заполняются

путем копирования с помощью перетаскивания маркера заполнения вниз по столбцу.

Метод Эйлера может быть применен к решению дифференциальных уравнений высоких порядков, а также к решению систем дифференциальных уравнений. При этом математическое описание объекта должно быть приведено к системе N дифференциальных уравнений первого порядка, где N – порядок исходного дифференциального уравнения или системы уравнений. Схемы приведения можно найти в [4].

Для дифференциального уравнения N -го порядка рекуррентные формулы будут иметь следующий вид

$$y_{i,q} = y_{i-1,q} + \Delta y_{i-1,q}, \text{ где } \Delta y_{i-1,q} = hf_1(t_{i-1,q}, y_{i-1,q}, z_{i-1,q}), i = 0, 1, 2, \dots, k; q = 1, 2, \dots, N. \quad (6)$$

В таблицу нужно добавить столбцы для представления всех переменных состояния y_q , их производных y'_q , и приращений значения функций Δy_q на интервале h .

В качестве примера на рисунке представлены расчеты свободного движения объекта 2-го порядка. Закон движения объекта определяется параметрами: коэффициентом передачи K , постоянной времени T и коэффициентом затухания r . Точность расчетов определяется выбранным шагом дискретизации времени. Эти данные для выбранного объекта вводятся в 4 первых ячейки шестой строки листа. Для примера выбран приведенный объект, коэффициент передачи которого и постоянная времени равны 1.

Стандартная форма дифференциального уравнения:

$$y'_1 = y_2, \quad (3)$$

$$y'_2 = \frac{K}{T^2} u - \frac{1}{T^2} y_1 - \frac{2r}{T} y_2, \quad (4)$$

Начальные условия и задающая функция:

$$y_1(0) = y_2(0) = 1, y'_1(0) = y'_2(0) = 0, u(t) = 0. \quad (5)$$

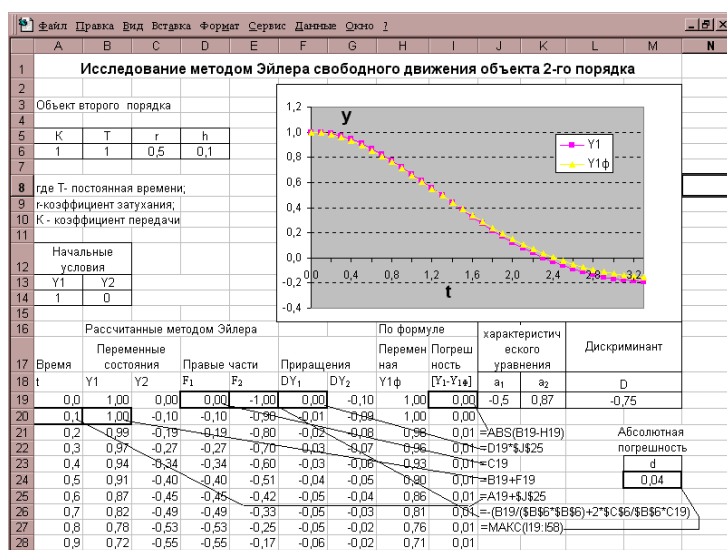


Рисунок 5. Результаты расчетов

В диапазоне ячеек J19:L19 вычисляются дискриминант и корни характеристического уравнения. Для исследования погрешности метода вычисляется $Y1\phi$ по формуле свободной составляющей переходного процесса.

Правые части (3) и (4) уравнений обозначены в таблице соответственно $F1$ и $F2$, используются для вычисления производных переменных состояния $y1$ и $y2$.

Предложенная методика легко распространяется на исследования движения объектов любых порядков, как линейных, так и нелинейных. Задающее воздействие $u(t)$ может быть описано формулами либо представлено таблично. Для расчета переходных процессов в сложных системах следует применить прием, принятый в теории регулирования. Представить систему в виде структурного соединения типовых динамических звеньев. В таблице организовать расчеты переходных процессов типовых динамических звеньев, соединенных в соответствии со структурной схемой объекта. При этом ячейки, вычисляющие выходной сигнал первого звена, будут соответствовать входному сигналу второго.

От пользователя не требуется умений использования специализированных программных систем. Предложенную методику рекомендуется использовать в учебном процессе в дисциплинах, освещающих переходные процессы в электрических

цепях и системах управления, а также в дисциплинах, представляющих численные методы решения инженерных задач.
Решение Обыкновенных Дифференциальных Уравнений (ОДУ) в MatchCad

Как уже отмечалось ОДУ первого порядка называется уравнение $F(x, y, y')=0$

F – известная функция трех переменных; x – независимая переменная на интервале интегрирования $[a, b]$; y – неизвестная функция; y' – ее производная.

Функция $y(x)$ является решением дифференциального уравнения, если она при всех $x \in [a, b]$ удовлетворяет уравнению $F(x, y(x), y'(x))=0$

График решения $y(x)$ называется интегральной кривой дифференциального уравнения. Если не заданы начальные условия, таких решений $y(x)$ будет множество. При известных начальных условиях $y(x_0)=y_0$ решение $y(x)$ будет единственным. Вычислительный процессор MathCAD может работать только с нормальной формой ОДУ. Нормальная форма ОДУ – это ОДУ, разрешенное относительно производной $y'=f(x, y)$

Для численного интегрирования ОДУ в MathCAD имеется выбор – либо использовать вычислительный блок Given/Odesolve, либо встроенные функции. Оба способа обладают одинаковыми возможностями, но при использовании блока решения запись уравнений более привычна и наглядна, однако отдельная функция может быть использована в составе других функций и программ. Рассмотрим оба варианта решения.

Вычислительный блок Given/Odesolve

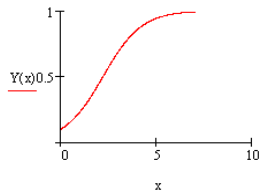
Ниже приведены два примера для решения дифференциальных уравнений первого и второго порядка с использованием вычислительного блока решения Given/Odesolve.

given

$$y'(x) = y(x) - y(x)^2 \quad y(0) = 0.1$$

Y := odesolve(x,10)

x := 0,0.01..10



Y(1) = 0.232

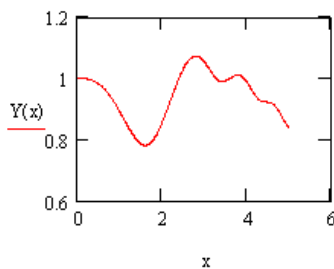
Y(3) = 0.691

given

$$y''(x) = \sin(y'(x) - x \cdot y(x) + x^2) \quad y(0) = 1 \quad y'(0) = 0$$

Y := odesolve(x,5)

x := 0,0.01..5



Y(1) = 0.892

Y(3) = 1.053

Вычислительный блок для решения одного ОДУ состоит из трех частей:

ключевое слово given;

ОДУ и начальные условия, записанные с помощью логического равенства;

встроенная функция Odesolve(x, b) относительно независимой переменной x на интервале [a, b]; b – верхняя граница отрезка интегрирования. Допустимо и даже предпочтительнее задание функции Odesolve(a, b, step) с тремя параметрами, где step – внутренний параметр численного метода, определяющий количество шагов; чем больше step, тем с лучшей точностью будет получен результат, но тем больше времени будет затрачено на его поиск.

Функция Odesolve возвращает решение задачи в виде функции. Эта функция не имеет символьного представления и может только вернуть численное значение решения уравнения в любой точке интервала интегрирования.

Функция Odesolve использует для решения дифференциальных уравнений наиболее популярный алгоритм Рунге-Кутты четвертого порядка, описанный в большинстве книг по методам вычислений. Он обеспечивает малую погрешность для широкого класса систем ОДУ за исключением жестких систем. Если щелчком правой кнопки мыши на блоке формул с функцией Odesolve вызвать контекстное меню, то можно изменить метод вычисления решения, выбрав один из трех вариантов: Fixed – метод Рунге-Кутты с фиксированным шагом интегрирования (этот метод используется по умолчанию), Adaptive – также метод Рунге-Кутты, но с переменным шагом, изменяемым в зависимости от скорости изменения функции решения, Stiff – метод, адаптированный для решения жестких уравнений и систем (используется так называемый метод PADAUS).

Альтернативный метод решения ОДУ заключается в использовании одной из встроенных функций: rkfixed, Rkadapt, или Vulstoer. Все они решают задачу Коши для системы дифференциальных уравнений первого порядка, но каждая из них использует для этого свой метод. Для простых систем не играет большой роли, какой метод использовать – все равно получите решение достаточно быстро и с высокой точностью. Но для сложных или специфических систем бывает, что некоторые методы вообще не могут дать удовлетворительного решения за приемлемое время. Именно для таких сложных, но не редких случаев в MathCAD и введено несколько различных методов решения систем ДУ.

rkfixed – метод Рунге-Кутты с фиксированным шагом интегрирования. Самый простой и быстрый метод, но далеко не всегда самый точный. Полностью аналогичен использованию функции Odesolve с выбранным в контекстном меню методом Fixed.

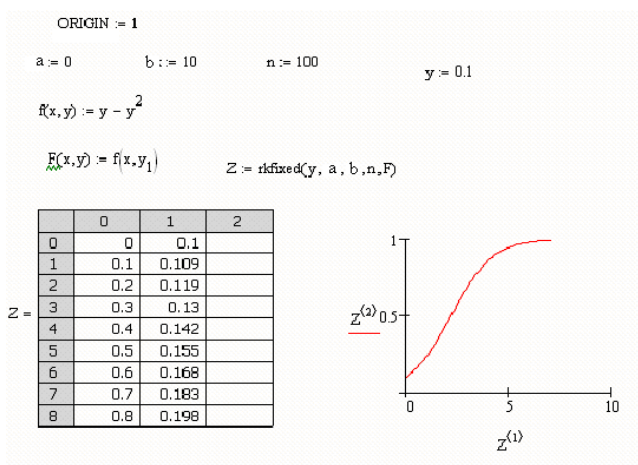
Rkadapt – метод Рунге-Кутты с переменным шагом интегрирования.

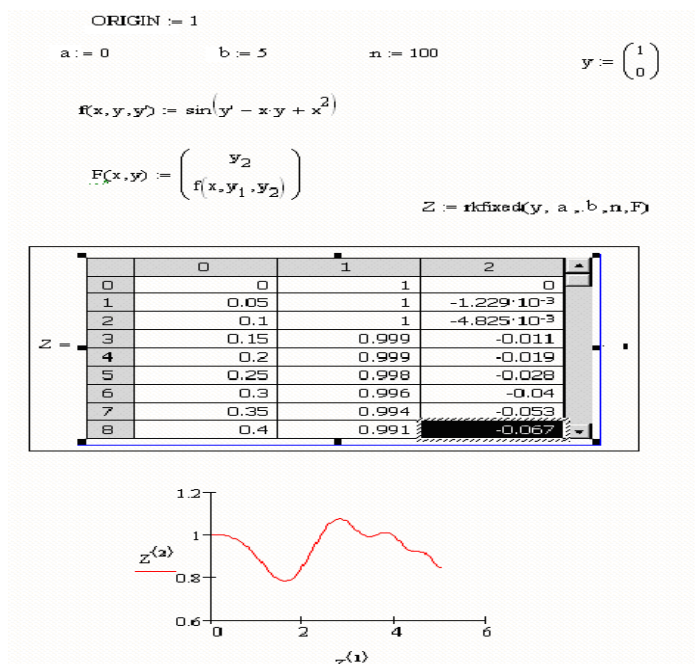
Величина шага адаптируется к скорости изменения функции решения. Данный метод позволяет эффективно находить решения уравнений, в случае если оно содержит как плавные, так и быстро меняющиеся участки. Там, где решение меняется слабо, шаги

выбираются более редкими, а в областях его сильных изменений – частыми. В результате для достижения одинаковой точности требуется меньшее число шагов, чем для `rkfixed`. Полностью аналогичен использованию функции `Odesolve` с выбранным в контекстном меню методом `Adaptive`.

`Bulstoer` – метод Булирша – Штера. Этот метод более эффективен, чем метод Рунге-Кутты, в случае если решение является плавной функцией.

Имена функций `Rkadapt` и `Bulstoer` начинаются с прописной буквы. В `MathCAD` для некоторых имен функций неважно, с какой буквы они записаны, но для перечисленных функций это принципиально, т.к. в `MathCAD` также существуют функции с такими же именами, только записанные с маленькой буквы – `rkadapt`, `bulstoer`. Эти функции используются в тех случаях, когда важным является решение задачи в конечной точке интервала интегрирования.





Выше приведены примеры решения тех же дифференциальных уравнений первого и второго порядка, которые были решены с использованием вычислительного блока Given/Odesolve.

Применение встроенных функций в документах MathCAD выглядит сходным образом, т.е. функции Rkadapt и Bulstoer имеют тот же синтаксис, что и выше приведенная функция rkfixed.

Назначение аргументов в этих встроенных функциях следующее:

y – вектор начальных значений неизвестных функций, входящих в систему. В случае одного уравнения и одной неизвестной функции – это просто число.

a – начало отрезка, на котором ищется решение системы (отрезка интегрирования). Именно в этой точке значения неизвестных функций принимаются равными элементам вектора y.

b – конец отрезка интегрирования.

n – количество частей, на которые разбивается отрезок [a, b] при решении системы. Чем больше это число, тем точнее получается решение, но расчет занимает больше времени.

F(x,y) – векторная функция, элементы которой содержат правые части уравнений системы в нормальной форме (когда левые части –

первые производные от соответствующих функций, а в правых частях производные отсутствуют).

Аргументами этой функции являются вектор y , элементы которого соответствуют различным неизвестным функциям системы, и скалярный аргумент x , соответствующий независимой переменной в системе.

В случае одного уравнения функция F может быть скалярной функцией, зависящей от двух скалярных переменных x и y .

Возвращаемым значением всех вышеперечисленных встроенных функций является матрица. Первый столбец этой матрицы – это точки, на которые разбивается отрезок $[a, b]$, а остальные столбцы – это значения функций системы в этих точках. Если в аргументе функции `rkfixed` было указано количество частей $n = 100$, то матрица будет содержать 101 строку вместе с начальной.

Решение систем обыкновенных дифференциальных уравнений.

Для численного интегрирования систем ОДУ в MathCAD также имеется выбор – либо использовать вычислительный блок `Given/Odesolve`, либо встроенные функции `rkfixed`, `Rkadapt` и `Bulstoer`.

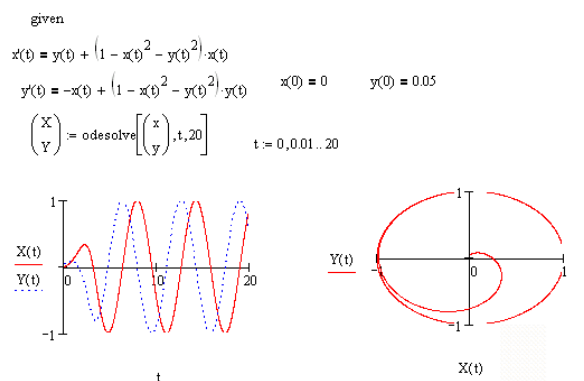
При решении систем ОДУ MathCAD требует, чтобы система ОДУ была представлена в нормальной форме (когда левые части – первые производные от соответствующих функций, а в правых частях производные отсутствуют):

$$Y'(t) = F(t, Y(t)),$$

где Y и Y' – соответствующие неизвестные векторные функции переменной t , а F – вектор правых частей системы уравнений первого порядка. Именно векторное представление используется для ввода системы ОДУ в среде MathCAD.

Если в систему ОДУ входят и уравнения высших порядков, то оно тоже сводится к системе уравнений первого порядка, как было показано выше. При этом количество нулевых условий для вычислительного блока `Given/Odesolve`, а также размер вектора начальных условий y и размер вектора правых частей $F(x,y)$ для встроенных функций `rkfixed`, `Rkadapt` и `Bulstoer` должны быть равны сумме порядков всех уравнений.

Вначале покажем решение систем ОДУ первого порядка с использованием вычислительного блока Given/Odesolve



Функция Odesolve для системы ОДУ имеет несколько иной, по сравнению с одним уравнением, синтаксис. Теперь она возвращает вектор функций, составляющих решение системы. Поэтому в качестве первого аргумента функции нужно ввести вектор, состоящий из имен функций, использованных при вводе системы. Второй и третий аргументы то же самое, что и в задаче с одним ОДУ.

Решение системы ОДУ показано на графике слева. Как известно, решения ОДУ часто удобнее изображать не в таком виде, а в фазовом пространстве, по каждой из осей которого откладываются значения каждой из найденных функций (как показано на рисунке справа). При этом аргумент входит в них лишь параметрически. В рассматриваемом случае двух ОДУ такой график – фазовый портрет системы – является кривой на фазовой плоскости. В общем случае, если система состоит из N ОДУ, то фазовое пространство является N – мерным. При $N > 3$ наглядность теряется, и для визуализации фазового портрета приходится строить его различные проекции.

Рассмотрим решение этой же системы ОДУ первого порядка с использованием встроенной функции rkfixed.

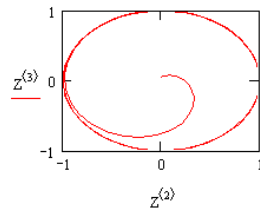
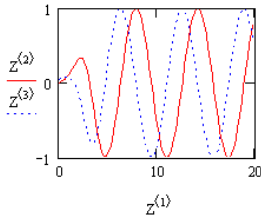
ORIGIN := 1

$$x(t) = y(t) + (1 - x(t)^2 - y(t)^2) \cdot x(t)$$

$$y(t) = -x(t) + (1 - x(t)^2 - y(t)^2) \cdot y(t) \quad a := 0 \quad b := 20 \quad n := 100 \quad y := \begin{pmatrix} 0 \\ 0.05 \end{pmatrix}$$

$$F(t, y) := \begin{bmatrix} y_2 + [1 - (y_1)^2 - (y_2)^2] y_1 \\ -y_1 + [1 - (y_1)^2 - (y_2)^2] y_2 \end{bmatrix}$$

Z := rkfixed(y, a, b, n, F)



Полученное решение полностью соответствует вышеприведенному решению с использованием вычислительного блока Given/Odesolve. Следует отметить, что начальные условия здесь задаются в виде вектора y , а функциям $x(t)$ и $y(t)$ соответствуют элементы этого вектора y_1 и y_2 . Вектор начальных условий y и вектор правых частей F имеют размер равный двум, т.к. система состоит из двух уравнений первого порядка. Для системы ОДУ, состоящей из двух уравнений второго порядка, размер этих векторов будет равен четырем

$$y := \begin{pmatrix} x(0) \\ x'(0) \\ y(0) \\ y'(0) \end{pmatrix} \quad F(t, y) := \begin{pmatrix} y_2 \\ f1(t, y_1, y_2, y_3, y_4) \\ y_3 \\ f2(t, y_1, y_2, y_3, y_4) \end{pmatrix}$$

Порядок выполнения работы.

1. Скорость укорочения мышцы описывается уравнением

$$\frac{dx}{dt} = B(x_0 - x),$$

где x_0 — полное укорочение мышцы; B — постоянная зависящая от грузки; x — укорочение мышцы в данный момент. Найти закон сокращения мышцы, если в момент времени $t=0$ величина укорочения мышечных волокон была равна 0. В Excel и MathCad получите виды решения уравнения в зависимости от полного укорочения мышц и постоянной B . Постройте решения в плоскости указанных параметров. Сделайте выводы.

2. Если при прохождении через слой кожи толщиной 1 мм поглощается половина первоначального количества света, то какая то часть этого количества дойдет до глубины 0,5 см м? Количество света, поглощенного при прохождении через слой кожи, пропорционально толщине слоя и количеству света, падающего на его поверхность. Получите дифференциальное уравнение и решите его в MathCad.

3. Если первоначально количество фермента равно 1 г, а через 1 ч становятся равным 1,2 г, то чему оно будет равно через 5 ч после начала брожения? Скорость прироста фермента считать пропорциональной его наличному количеству.

4. Скорости ферментативных каталитических реакций в процессе терапевтических процедур иногда подсчитываются следующему уравнению:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{k(a-x)}{1+k'(a-x)}$$

где x - концентрация продукта в момент времени t ; a - начальная концентрация реагента. Найдите закон зависимости изменения концентрации продукта от времени. В MathCad получите виды решения уравнения в зависимости от начальной концентрации реагента полного укорочения мышц и постоянной K . Постройте решения в плоскости указанных параметров. Сделайте выводы.

5. По приведенным в приложении 1 пульсограммам до и после нагрузки методом численного дифференцирования оцените параметры дифференциального уравнения первого порядка и исследуйте его на устойчивость (возможно применения инструментария средств MathLab). Сделайте сравнительные выводы.

Примечание: для каждого варианта формируется выборка объемом 64 измерений, начиная с индекса равному удвоенному значению порядкового номера студента в группе.

6. Постройте спектр Фурье по данным фотоплетизмограммы (до и после нагрузки) – приложение 2. Условно считая ведущими две частоты, восстановите по ним соответствующие дифференциальные уравнения, передаточные функции. По первым

получите решение и сравните с исходными данными (построив соответствующие графики).

По вторым – исследуйте передаточные функции на устойчивость.

6. Оформите отчет.

Контрольные вопросы

1. Что называется аттрактором?
2. Как решается дифференциальное уравнение первого порядка?
3. Какому передаточному звену управляющей системы соответствует дифференциальное уравнение первого порядка?
4. Как сделать поведение физиологической системы, описываемой в первом приближении дифференциальным уравнением первого порядка устойчивым?
5. Приведите примеры применения дифференциальных уравнений в биологии и медицине.
6. Приведите примеры описания с помощью систем дифференциальных уравнений гемодиализа.
7. Приведите пример применения дифференциальных уравнений в экологической медицине.

Интервалограмма (пульсограмма)

до нагрузки

0,64 0,72 0,74 0,76 0,78 0,76 0,80 0,76 0,74 0,72 0,72 0,72 0,76
 0,78 0,76 0,80 0,74 0,78 0,76 0,74 0,74 0,84 0,80 0,80 0,82 0,74
 0,76 0,80 0,78 0,80 0,78 0,74 0,74 0,72 0,70 0,64 0,62 0,64 0,66
 0,74 0,76 0,72 0,78 0,76 0,72 0,74 0,70 0,70 0,74 0,76 0,74 0,80
 0,84 0,76 0,78 0,72 0,72 0,70 0,72 0,72 0,76 0,80 0,74 0,80 0,80
 0,74 0,76 0,74 0,74 0,74 0,76 0,76 0,80 0,82 0,78 0,80 0,80 0,78

после нагрузки

0,76 0,78 0,82 0,80 0,80 0,82 0,80 0,78 0,72 0,74 0,76 0,78 0,78
 0,84 0,86 0,82 0,84 0,76 0,72 0,68 0,72 0,74 0,76 0,78 0,76 0,80
 0,82 0,78 0,82 0,82 0,78 0,82 0,76 0,87 0,80 0,76 0,78 0,78 0,74
 0,80 0,78 0,78 0,76 0,78 0,74 0,80 0,78 0,76 0,80 0,78 0,78 0,80
 0,76 0,82 0,78 0,76 0,80 0,78 0,74 0,81 0,86 0,80 0,80 0,82 0,80
 0,82 0,80 0,78 0,82 0,82 0,80 0,82 0,84 0,74 0,68 0,66 0,74 0,84

ФПГ (до и после нагрузки)

№ п.п.	До нагрузки	После нагрузки
1	0,395	0,00
2	0,37	0,03
3	0,32	0,04
4	0,30	0,17
5	0,30	0,46
6	0,34	0,84
7	0,43	1,25
8	0,53	1,62
9	0,71	1,93
10	0,96	2,23
11	1,21	2,45
12	1,47	2,65
13	1,75	2,80
14	2,02	2,92
15	2,23	2,98
16	2,49	3,02
17	2,68	3,02
18	2,83	2,99
19	2,98	2,96
20	3,07	2,89
21	3,14	2,80
22	3,19	2,72
23	3,20	2,57
24	3,23	2,45
25	3,22	2,31
26	3,19	2,15
27	3,16	2,02
28	3,10	1,92
29	3,06	1,78
30	2,99	1,69
31	2,89	1,62
32	2,82	1,58
33	2,75	1,54
34	2,67	1,55
35	2,59	1,53
36	2,51	1,55
37	2,44	1,56
38	2,39	1,58
39	2,31	1,54

40	2,25	1,52
41	2,24	1,52
42	2,19	1,50
43	2,15	1,44
44	2,13	1,42
45	2,08	1,35
46	2,04	1,28
47	2,01	1,22
48	1,98	1,15
49	1,92	1,05
50	1,87	0,97
51	1,82	0,88
52	1,74	0,77
53	1,69	0,68
54	1,63	0,58
55	1,54	0,47
56	1,46	0,39
57	1,39	0,28
58	1,30	0,17
59	1,21	0,07
60	1,16	0,02
61	1,15	0,02
62	1,01	0,01
63	0,6	0,004
64	0,3	0,003

9. КИБЕРНЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕГУЛЯЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ И ПОТООТДЕЛЕНИЯ

Цель работы: овладеть навыками организации, проведения и обработки экспериментов по исследованию с кибернетической точки зрения реакции систем терморегуляции и теплообмена (на основе анализа потоотделения) на внешние раздражители.

Краткие теоретические сведения

1. Исследование потоотделения у человека.

Кожа человека содержит порядка 2-3 миллионов акриновых потовых желез. Они распределяются по всей поверхности тела, за исключением губ, головки полового члена, внутренней поверхности крайней плоти и клитора. Распределение потовых желез на поверхности тела неравномерно. Наибольшее их количество находится на ладонях и подошвах, где на 1 см² приходится, соответственно, 424 и 416 потовых желез. Функция потовых желез стимулируется при повышении температуры окружающей среды и увеличения теплопродукции организма.

Эксперимент осуществляется следующим образом:

В течении 15-30 минут исследуется потоотделение у человека при комнатной температуре. Для этого определяют массу тела, затем смазывают различные участки тела спиртовым раствором ийода и после его высыхания на этих местах фиксируют кусочки хлопчатобумажной ткани, пропитанной раствором крахмала. Через 15-30 минут вновь определяют массу тела и судят об интенсивности потоотделения по изменению кусочков ткани.

Затем испытуемый «нагревается» тепловентилятором и повторяется исследование.

Затем испытуемый совершает определенную работу и повторяется исследование.

По цветам кусочков ткани делается вывод о влиянии внешней температуры и работы на интенсивность потоотделения.

Примечание: используйте секундомер и видеозапись (с помощью смартфона) для измерения скорости изменения цвета ткани.

2. Исследование влияния кровообращения в поддержке температуры участков тела.

В поддержке температуры различных участков тела большую роль играет кровообращение. Циркулирующая кровь нагревается в органах и переносит теплоту к другим отделам тела, где количество образующейся теплоты невелико или происходит усиленная теплоотдача.

Для выяснения процесса влияния кровообращения на температуру тела (сопротивление БАТ, формы и спектра ФПГ) проводится следующий опыт.

Испытуемый кладет руку на стол и держит ее в спокойном состоянии, не напрягая мышц. На плечо накладывается манжетка от манометра и с помощью электротермометра измеряется исходная температура пальца. Затем в манжетку накачивается давление. В течении 10 минут (с интервалом в 1 минуту) регистрируют электротемпературу конца пальца. Затем выпускается воздух и осуществляется аналогичное измерение.

Опыт повторяется для кисти и предплечья (через 15-20 минутный перерыв)

Порядок выполнения.

1. Провести эксперимент исследования потоотделения у человека. Результаты оформите в виде таблицы.
2. Провести эксперимент по исследованию влияния кровообращения в поддержке температуры участков тела. Результаты занести в таблицу и построить графики. Получите математическую модель, отражающую реакцию во времени температуры различных участков тела на передавление сосудов во времени. Подберите наиболее близкие передаточные функции.
3. Повторите эксперимент п.2, используя в качестве функции отклика сопротивление БАТ (с одновременной фиксацией температуры) на соответствующих участках тела.
4. Повторите эксперимент п.2, используя в качестве функции отклика результаты ФПГ (с одновременной фиксацией

температуры ФПГ и БАТ), фиксируемые в течении 5 секунд. Сравните изменения формы и спектров ФПГ.

5. Повторите эксперимент, используя в качестве функций отклика давление, сопротивление БАТ и температуру, а в качестве аргумента – кровенаполняемость. Для этого в покое снимите ФПГ с мизинца руки (измерьте давление, пульс, температуру, сопротивление БАТ). Сдавите фалангу мизинца на 15-20 секунд и быстро измерьте давление, температуру и сопротивление БАТ.

6. Оформите отчет.

Контрольные вопросы

1. Как влияет кровоснабжение на регулирование температуры тела у млекопитающих?
2. Как влияет кровоснабжение на регулирование температуры тела у хладнокровных?
3. Обеспечивается ли стабильность температуры у растений (если - да, то как)
4. Обеспечивается ли стабильность температуры у растений-хищников (если – да, то как)?
5. Поясните роль потоотделения в терморегуляции тела у человека?
6. Каким образом повышение температуры связано с хавратеристиками ФПГ?
7. Каким образом сопротивление БАТ связано с характеристиками давления?
8. Возможно ли изменение давления при изменении кровоснабжения в конечности принудительным способом?

10. КИБЕРНЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПРОБЫ «ЗАДЕРЖКА ДЫХАНИЯ»

Цель работы: овладение навыками исследования с позиций физиологической кибернетики реакции человеческого организма на краткосрочное кислородное голодание в результате проведения функциональной пробы «задержка дыхания».

Краткие теоретические сведения

В тех случаях, когда проба с физической нагрузкой для получения проходящей гипоксемии не может быть выполнена (например в силу физического состояния испытуемого) нередко проводят пробу с задержкой дыхания на высоте вдоха. Эта проба получила большое распространение в силу простоты ее организации и применяется исключительно при обследовании здоровых людей.

Проба проводится как на вдохе, так и на выдохе.

В ходе проведения фиксируются показатели ЭКГ, давление, пульс, концентрации углекислого газа и кислорода во вдыхаемом и выдыхаемом воздухе и-или другие показатели, характеризующие изменения функционального состояния человека.

В начале у испытуемого фиксируются значения исследуемых параметров.

Затем, испытуемому предлагают глубоко вдохнуть (выдохнуть) и насколько возможно задержать дыхание. Время фиксируется на секундомере и делается видеозапись с помощью смартфона (**по окончании опыта – все сделанные видеозаписи уничтожаются в присутствии испытуемого и под контролем преподавателя-инструктора**).

По окончании пробы фиксируются значения измеряемых показателей – функции отклика.

Порядок выполнения работы

1. Выполните функциональную пробу задержку дыхания на вдохе. Зафиксируйте изменения характеристик ФПГ пальцев верхней конечности (форма сигнала, спектр), температуру, цвет лица, давление и пульс, сопротивление любой БАТ (предпочтительно –

характеризующих работу дыхательной и-или сердечно-сосудистых систем). Сделайте выводы.

2. Повторите п.1 на выдохе.

3. Сравните результатов п.1 и п.2

4. Сведите результаты выполнения п.1 и п.2 студентами Вашей группы в единые таблицы, синтезируйте модели (в том числе, передаточных функций) реакции регистрируемых показателей в зависимости от времени задержки дыхания. Проведите имитационное моделирование и оцените устойчивость работы гомеостатической системы организма на кратковременное кислородное голодание.

5. По анализу изменений лица и регистрируемых показателей сделайте заключение о переносимости функциональной пробы «задержка дыхания» на вдохе и выдохе. Анализируется степень отклонения (и его логарифм) функционального состояния от первоначального и качественного определения самочувствия («хорошее», «плохое», «удовлетворительное»). В качестве отклонения в первом приближении можно считать среднее отклонение (при логарифмировании используется модуль).

5. Оформите отчет.

Контрольные вопросы.

1. Для чего проводятся функциональные пробы?

2. Каким образом (с точки зрения обеспечения безопасности и медицинской этики) следует планировать проведение функциональных проб?

3. В каких случаях применяется функциональная проба «задержка дыхания»?

4. В чем заключается кибернетический подход к анализу результатов функциональных проб?

11. Управление экологической ситуацией

Цель работы: Изучение на основе реальных данных протокола мониторинга экологической ситуации города возможности применения аппарата математического моделирования для выработки управляющих решений коррекции экологической ситуации, направленной на снижении уровней заболеваемости.

Краткие теоретические сведения.

Ухудшение экологической обстановки и социальной среды существенно отражается на состоянии здоровья человека. Здоровье человека и биосферы неразделимо связаны и определяются множеством компонент. Взаимодействуя с миром в ходе своей деятельности, человек ощущает на себе ответную реакцию окружающей среды.

Кроме неизбежных природных явлений (таких как изменение солнечной активности), на здоровье человека могут влиять экологические факторы, вызываемые им самим в ходе своей деятельности. Указанное обуславливает необходимость управления деятельностью основных загрязнителей окружающей среды на основе математических методов (моделей), позволяющих достаточно адекватно оценить влияние различных факторов на рассматриваемый класс заболеваний с целью прогноза и (или) управления динамикой последнего.

Региональные экологические проблемы, сформировавшиеся в результате загрязнения окружающей среды из-за деятельности человека, требуют для своего решения использования региональных информационных систем (РИС). Одна из задач таких систем должна состоять в своевременном определении воздействия загрязняющих веществ на здоровье человека на основании анализа накопленной информации о состоянии окружающей среды и медико-биологической информации и прогнозирования уровня региональной заболеваемости. Исследование и прогноз выполняются на основе имитационного моделирования.

Для характеристики уровня экологической напряженности региона используют понятие экологической нормы, которое отражает определенные параметры сохранения приспособительных

структур и функций экосистемы определенного иерархического уровня. Такое определение нормы может указывать на степень максимально допустимого воздействия человека и общества на окружающую среду, которое обеспечивает функционирование и сохранение структуры и динамических качеств экосистемы в целом.

Поражение городского населения возможно главным образом через атмосферу, экологических природных систем - через все природные среды.

Таким образом, выделяются два аспекта проблемы для изучения влияния антропогенной деятельности человека на заболеваемость:

а) воздействие на импактном уровне (на относительно небольшой территории);

б) массовое воздействие на природу, природные экосистемы на фоновом (как правило, невысоком) уровне, но на обширных территориях, практически по всей территории земного шара.

В концептуальном моделировании принято рассматривать три этапа:

- сбор и анализ априорной информации о предметной области и проблемной среде;
- концептуальный анализ предметной области с учетом требований пользователей;
- концептуальный синтез или собственно построение концептуальной модели предметной области.

Общая технология экологического управления в регионе состоит из трех этапов.

Целью первого этапа является получение информации о фактическом загрязнении сред региона. Учитывается как анализ источников антропогенного загрязнения региона, так и анализ естественных процессов, приводящих к фоновым концентрациям загрязняющих веществ в средах региона.

На втором этапе оценивается влияние состояния среды на заболеваемость населения.

На третьем этапе строится прогноз заболеваемости населения в зависимости от состояния среды и изменение самой среды, с

последующей выдачей рекомендаций планирующим, природоохранным и хозяйственным органам.

Разработка пути возможного оздоровления и профилактика уровня заболеваемости в регионе в автоматизированной системе основывается на оценке влияния выбросов отдельных предприятий на ту или иную заболеваемость с последующей выдачей рекомендаций планирующим, природоохранным и хозяйственным органам о проведении мероприятий, призванных скорректировать выбросы соответствующих предприятий. Таблица связей, полученная при помощи автоматизированной системой моделирования, призвана ставить в соответствие предприятиям региона мероприятия по снижению выбросов.

В общем виде методика анализа вклада выбросов отдельного предприятия на уровень заболеваемости населения выглядит следующим образом:

- 1) Определяется список экологических факторов, обусловленных выбросами $V_I - V_p$ в окружающую среду, влияющих на уровень заболеваемости по нозологии N_k .
- 2) Используя полученную математическую модель влияния факторов окружающей среды на уровень заболеваемости осуществляется прогноз о показателях заболеваемости в конкретном регионе.
- 3) На основании полученных показателей заболеваемости оценивается вклад каждого выброса в рост уровня заболеваемости населения по определенной нозологии в регионе.
- 4) Определяется вклад каждого выброса конкретного предприятия административного района в рост уровня заболеваемости путем нахождения доли выброса этого предприятия к общим выбросам по району.
- 5) Определяется общий вклад предприятия в рост уровня заболеваемости по данной нозологии.
- 6) Определяется экономический ущерб U_k , вызванный влиянием деятельности предприятия на рост данной заболеваемости.
- 7) Шаги 1-6 повторяются для других нозологии, тем самым определяется общий экономический ущерб, вызванный влиянием деятельности предприятия на рост всей заболеваемости населения и

определяется размер штрафа R_m для этого предприятия (т), эквивалентный сумме ущерба.

Далее из списка мероприятий для уменьшения показателей выбросов автоматически выбираются конкретные мероприятия, которые необходимо провести на данных предприятиях для уменьшения показателей выбросов, что в свою очередь должно привести к уменьшению заболеваемости системы кровоснабжения у населения.

Методика определения снижения значений выбросов загрязняющих веществ конкретными предприятиями состоит в следующем.

На первом этапе строится прогноз заболеваемости населения региона на следующий год при помощи автоматизированной системы математического моделирования.

Далее, определяется рост заболеваемости в процентном отношении для каждого района и для каждой нозологии.

На третьем этапе осуществляется коррекция значений выбросов предприятий региона с целью уменьшения уровня заболеваемости по следующему алгоритму. Задается порог роста заболеваемости h_i , при котором считается целесообразным принятие мер. Также определяется шаг снижения выбросов предприятием h .

После определения заболеваемости и района, в котором рост заболеваемости ожидается выше порогового уровня, определяются выбросы, значимо влияющие на эту заболеваемость по заданному критерию. Затем определяются предприятия региона, вносящие наибольший вклад в сброс этих веществ, и моделируется снижение уровня выбросов на заболеваемость.

Далее прогнозные значения уровня заболеваемости пересчитываются с новыми значениями выбросов загрязняющих веществ и проверяется условие роста заболеваемости в этом районе. Операция повторяется до тех пор, пока рост заболеваемости не станет ниже h_i .

Порядок выполнения работы.

1. Определить вариант задания по формуле $N_{вар} = N \bmod (4) + 1$, где N - порядковый номер в группе. Согласно приложению и $N_{вар}$

сформировать протокол мониторинга экологической ситуации города $\{XNвар, Y1, Y2, Y3\}$, где X - показатель уровня заболеваемости населения, Y - показатель загрязненности города определенным веществом.

2. Построить линейные и-или нелинейные регрессионные модели вида (отобрать лучшие по критерию детерминированности):

2.1. $X=f(Y_1)$; $X=f(Y_2)$; $X=f(Y_3)$; $X=f(Y_1, Y_2)$; $X=f(Y_1, Y_3)$; $X=f(Y_2, Y_3)$; $X=f(Y_1, Y_2, Y_3)$;

2.2 Повторить пункт 2.1, используя в качестве Y_i , $i=1..3$ значения $Y_{i,j}$ с нарастающим шагом, т.е.

$$Y'_{ij} = \sum_{k=1}^{j-1} Y_{ik}$$

3. На основе информационных источников изучить, что влияет на уменьшение Y_i .

4. На основании анализа математических моделей, идентифицированных в пункте 2 и результатов «экспертного» анализа пункта 3, сформулировать предложения управляющего воздействия на факторы Y с целью улучшения показателя отклика X . Оцените доминантность влияния уровня определенного загрязнения на параметр здоровья. Сделайте вывод о структуре наиболее адекватной модели по критериям корреляции и СКО. Сравните частоты ритмической модели (если она адекватна) с внешними космогеологическими частотами (см. Приложение) и сделайте выводы. Ритмическую модель в данной работе предлагается получить путем анализа автокорреляционной функции или визуального анализа динамики заболеваемости во времени или визуального анализа поведения первой производной, вычисленной численными методами.

5. Оформите отчет, включающий в себя результаты работы (возможны скриншоты), выводы, краткие ответы на контрольные вопросы, аннотацию одного из информационных источников, указанных в библиографии или иных (или найденного самостоятельно).

Контрольные вопросы:

1. С какими природными циклами наиболее коррелирует динамика определенных заболеваний?

2. Каким образом связаны между собой уровни заболеваемости населения и уровни антропогенного воздействия на окружающую среду (на примере уровней загрязнителей)?
3. Почему антропогенное воздействие следует учитывать с нарастающим эффектом?
4. Каким образом используются регрессионные и авторегрессионные математические модели для прогнозирования заболеваний?
5. Как осуществляется прогнозирование в Excel с помощью линии тренда?
6. Каким образом можно прогнозировать ритмические тенденции региональной заболеваемости?
7. Каким образом можно использовать логические функции (модели) для прогнозирования заболеваний?
8. Можно ли использовать искусственные нейронные сети для прогнозирования заболеваемости?
9. Каким образом можно использовать прогностические модели для удаления артефактов и восстановления пропущенных значений в мониторинге заболеваемости или состояния пациента в процессе терапевтического воздействия?

Уровни показателей здоровья городского населения

Годы	Смертность	рождаемость	Прививки от дифтерии	Прививки от столбняка	Прививки от кори	Прививки от гепатита
1979	13,2	14,99	10,2	24,6	8,9	15,8
1980	11,9	13,36	11,0	30,5	7,7	34,3
1981	12,8	11,4	9,5	29,3	9,6	24,9
1982	13,5	12,23	10,3	27,7	10,6	28,5
1983	13,4	12,92	11,3	43	11,7	18,9
1984	13,0	11,67	11,2	44,7	11,5	18,2
1985	13,7	11,55	12,4	47,5	10,7	13,0
1986	13,0	13,3	12,6	44,1	11,0	19,1
1987	14,2	14,7	11,7	44,4	11,9	24,2
1988	14,6	14,1	12,1	46,6	18,2	28,2
1989	13,0	14,6	13,2	39,5	16,6	12,3
1990	13,3	14,8	13,0	40,0	16,3	19,51
1991	13,6	13,8	13,5	38,7	17,4	10,12

1992	13,6	11,8	14,5	40,9	26,8	19,91
1993	14,6	10,8	13,8	34,2	25,1	12,54
1994	14,7	9,7	11,6	28,3	12,1	4,2
1995	16,5	9,0	11,0	31,1	11,0	85,7
1996	18,0	9,3	7,3	16,6	5,6	72,2
1997	16,7	8,6	11,5	38,7	3,7	2,02
1998	17,0	8,3	11,1	52,5	11,4	22,6
1999	16,5	7,9	10,4	27,6	8,9	19,7

Уровни загрязнения города (условные единицы)

годы	Пыль	Оксид углерода	Диоксид азота	фенол	формальдегид	марганец
1979	6	1,5	2,667	8	3,5	0,8
1980	4	0,667	2,222	8	2,75	0,16
1981	6	1,45	1,333	6	2,25	1,7
1982	2	1,067	4,444	6	2,75	1,7
1983	4	1,833	0,889	6	3,25	2,5
1984	4	1,833	0,889	4	3,25	1,1
1985	6	1,667	1,333	6	3,75	2,0
1986	6	1,667	1,333	10	3,0	0,7
1987	8	2	1,156	8	2,75	0,6
1988	4	1,667	0,889	7,4	2,0	1,2
1989	4	1,667	1,333	8	3,0	3,5
1990	2	1,667	1,33	8	3,75	1,4
1991	2	1,667	1,778	10	3,5	3,2
1992	2	1,667	1,333	6	3,25	1,4
1993	2	1,663	2,222	4	3,0	0,2
1994	2	1,667	1,333	4	3,0	0,6
1995	4	1,667	1,333	2	2,5	0,4
1996	5	2,333	1,333	8	2,25	0,5
1997	1,8	2,5	1,333	4	3,0	0,6
1998	1,8	2,67	1,3	4	3,25	0,1
1999	2	2,5	1,778	6	3,75	0,3
Годы	Свинец	БПК5	Нефтепродукты (вода)	Азот аммонийный (вода)	Азот нитритный (вода)	Медь
1979	1,2	1,147	0,12	3,282	0,911	0,8
1980	0,333	2,247	2,6	2,487	0,933	5,2
1981	0,4	1,563	4,6	2,256	0,389	4,4
1982	1,267	1,397	6,6	1,59	0,733	2,08
1983	1,267	1,58	3,4	2,359	0,633	4
1984	1,133	1,063	0,8	2,154	0,411	1,6
1985	1,533	0,973	1,2	2,667	0,611	1,6
1986	1,133	1,163	0,6	1,667	0,367	1,6
1987	1,2	0,523	0,6	0,846	0,2	1,2
1988	0,467	0,69	2,6	1,231	0,289	0,8
1989	1,2	0,68	0,6	2,026	0,411	0,8

1990	0,467	0,807	0,6	4,359	0,511	0,8
1991	0,8	1,363	2,2	3,974	0,7	1,2
1992	1,2	0,563	0,8	1,897	0,278	1,2
1993	1,667	1,103	0,6	1,872	0,5	0,8
1994	0,867	1,033	1,8	1,308	0,378	2,0
1995	2,667	1,163	0,8	3,821	0,789	1,2
1996	2,667	1,52	0,8	3,538	0,511	2,0
1997	1,067	0,897	0,12	2,872	0,056	1,6
1998	0,08	1,553	3	3,385	0,411	0,8
1999	0,2	0,867	0,6	4,359	0,511	0,8

Основные природные ритмы

29.5 суток	Синодический месяц Луны
206 суток	Сейсмическая активность Луны
27.2 суток	Драконический месяц Луны
8.85лет=3232 суток	Вращение линии апсид Луны
78 месяцев	Геомагнитная активность
26 месяцев	Стратосферная циркуляция + космические лучи
2.5 - 4 года	Напряженность геомагнитного поля
3.4 года	Гориз. составл. напряжен. геомагнитного поля
2.2, 3.5, 4.8, 6.1, 12.2 лет	Спектр скорости суточного вращения Земли
26 месяцев	Изменение Ag на Солнце
4.6 года	Метеополе
11±4 (для 20 века 10±1)лет	Солнечная активность
36 месяцев, 55 лет	M вариации числа Вольфа