

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»**

**БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ
ЭРГАТИЧЕСКОГО ТИПА**

Методические указания к лабораторной работе

САМАРА 2016

УДК: 57.043

Составитель: Федотов А.А.

Биотехнические системы эргатического типа: метод. указания / сост. А.А. Федотов. – Самара: Изд-во Самар. нац. исследов. ун-та, 2016. – 20 с.

В методических указаниях приведены общие сведения о взаимодействии биообъектов со средой в рамках БТС эргатического типа. Рассмотрены вопросы моделирования БТС методом классической теории управления.

Изучается модель афферентного анализа среды на примере обучения оператора распознаванию скрытых закономерностей, а также модель взаимодействия зрительного и двигательного анализаторов с помощью компьютерных тестов. Исследуются динамические характеристики модели БТС с помощью пакета анализа динамических систем. Дано описание методики исследования, приведены порядок выполнения работы и требования к отчету.

Методические указания предназначены для магистрантов, обучающихся по направлениям 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии» и 03.04.01 «Прикладные математика и физика», и выполняющих лабораторные работы по дисциплине «Теория биотехнических систем». Подготовлены на кафедре лазерных и биотехнических систем.

Ил. 6, Библиогр. 4 назв.

Рецензент: доцент Кудрявцев И.А.

Цель работы: изучение модели биотехнической системы (БТС) эргатического типа методами классической теории управления; исследование методов моделирования биологических звеньев БТС с использованием компьютерного тестирования оператора.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

1.1. Особенности БТС эргатического типа

Управление системами с высокой степенью ответственности за принятие решений (скоростные транспортные системы, энергетические установки, системы жизнеобеспечения и т.п.) требует разработки методов и средств, направленных на повышение эффективности операторской деятельности человека. Одним из путей решения этой проблемы является создание систем на основе требований, учитывающих особенности человеческого организма.

Изучение данных вопросов требует биотехнического системного подхода, в соответствии с которым формируется биотехническая система (БТС), состоящая из совокупности биологических и технических элементов (звеньев) объединенных в единую систему целенаправленного действия.

Основной задачей, возникающей при синтезе БТС, является совместное описание процессов, происходящих в технических и биологических звеньях системы. Для решения этой задачи используется метод поэтапного моделирования БТС, позволяющих определить модель системы и на основе ее исследования сформировать требования к человеку-оператору и аппаратным средствам системы.

В исследовании БТС можно выделить ряд этапов.

Содержанием первого, биологического, этапа исследования БТС является изучение физиологических процессов организма в условиях его взаимодействия с техническими звеньями системы. На этой основе выделяется биологическое звено БТС и определяется модель, описывающая связь входных и выходных переменных биологического звена. При моделировании биологических объектов используются методы функциональной и структурной идентификации.

Второй этап исследования БТС, этап согласования, заключается в формировании технического звена БТС и описания модели БТС в целом, удовлетворяющей принципам адекватности взаимодействия звеньев и единства информационной среды БТС.

Принцип адекватности взаимодействия требует согласования основных параметров и характеристик биологических и технических звеньев БТС. Аfferентные потоки информации или управляющие воздействия, формируемые техническими звеньями, должны быть по своей природе свойственными живому организму, а значения их параметров не должны выходить за рамки диапазона физиологической приемлемости.

Принцип *единства информационной среды* требует анализа информационных потоков, циркулирующих в БТС, с целью минимизации аfferентной информации, передаваемой биологическому звену и определения наиболее информативных аfferентных показателей.

Результатом второго этапа исследования БТС является разработка требований к структурному построению и алгоритмам функционирования технических звеньев системы.

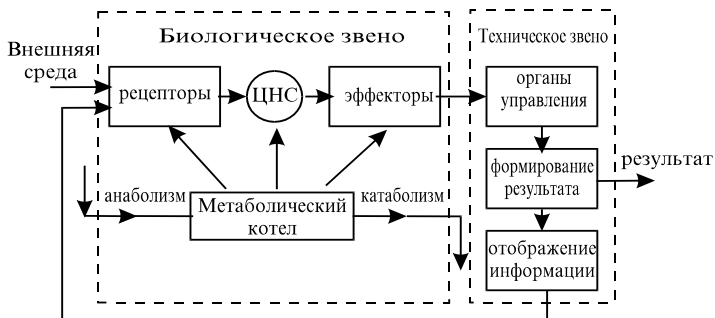


Рисунок 1 - Биотехническая система эргатического типа

Третий, технический этап исследования БТС включает разработку экспериментальных образцов аппаратуры, программных средств, проведение апробации и технических испытаний. На данном этапе определяются частные технические требования к разработке опытных образцов аппаратуры.

В БТС эргатического типа (рисунок 1) биологическое звено представлено человеком-оператором, выполняющим функции управления

техническими звеньями системы. Основной особенностью живого организма, рассматриваемого в качестве звена эргатической БТС, является использование его кибернетических функций, таких как рецепция внешней среды, переработка информации, деятельность мозга (принятие решений, управление активностью), реализация форм поведения с помощью эффекторных систем организма (движение, речь).

Исследование эргатических БТС требует формирования моделей человека-оператора и технических звеньев БТС.

При анализе эргатических систем моделирование биологических звеньев БТС может быть проведено на четырех уровнях:

- тканевом (например, с целью определения энергозатрат в процессе деятельности);
- органном (для исследования сенсорных и эффекторных систем);
- организменном (для исследования поведения оператора в процессе управления);
- популяционном (для проведения отбора операторов, формирования профориентации, определения критериев значимости).

Наиболее важным для моделирования биологических звеньев эргатических БТС является исследование сенсорных систем, систем переработки информации и принятия решений.

Единообразное описание функционирования технических звеньев и систем живого организма, реализуемое в модели, позволяет согласовать характеристики управления технического звена с соответствующими характеристиками организма человека.

Для создания условий нормальной работы оператора а также снижения его затрат во время деятельности проводят согласование потоков информации, поступающих к оператору от технических звеньев, и его «пропускной» способности, а также согласование объема управляющих воздействий и возможностей его эффекторных систем.

В процессе данного согласования вырабатываются требования к способам представления информации (использование различных сенсорных модальностей, сжатия данных, интегральных показателей и т.д.), а так же к способам реализации управляющих воздействий (речь, движения и т.п.).

В результате исследования сенсорных и эффекторных систем, их взаимодействия с техническими элементами, изучения психологических особенностей деятельности оператора, его способности к обучению определяется модель биологического звена БТС - психофизиологический портрет оператора для выполнения данной целевой функции.

1.2. Модель эргатической БТС управления движущимся объектом

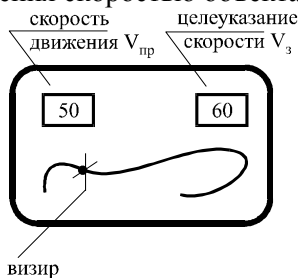
В качестве примера исследования эргатической БТС рассмотрим решение задачи повышения эффективности управления движением объекта в условиях целеуказания параметров движения.

Ограничимся анализом случая движения, при котором оператор управляет скоростью объекта в зависимости от целеуказания скорости.

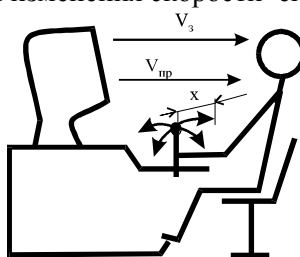
В данной задаче управляемый объект рассматривается как техническое средство, содержащее двигатель с управляемой оператором силой тяги, обуславливающей движение, а также прибор измерения и индикация скорости движения.

В рассматриваемых условиях задачи оператор осуществляет следующие функции:

- рецепцию зрительной информации о целеуказании скорости и скорости движения объекта по показаниям прибора;
- восприятие зрительной информации, афферентный синтез и принятие решения;
- формирование управляющего действия - перемещения ручки управления скоростью объекта для изменения скорости его движения.



Экран дисплея



Рабочее место оператора

Рисунок 2 – Тренажер оператора

Решение поставленной задачи может быть рассмотрено в рамках эргатической БТС, объединяющей техническое звено – движущийся объект и биологическое звено - оператора.

Целевой функцией системы является поддержание оператором скорости движения объекта равной величине, заданной целеуказанием.

Исследование рассматриваемой системы предполагает установление зависимости показателей эффективности системы от изменения параметров и характеристик основных ее звеньев и на этой основе формирование требований по повышению эффективности.

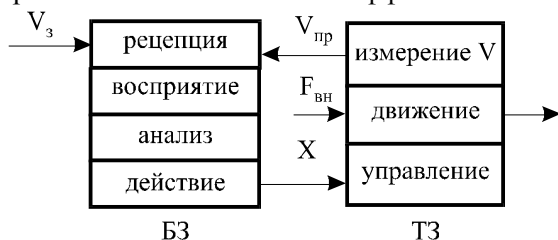


Рисунок 3 - Взаимосвязь функций технического и биологического звена БТС

Эффективность БТС эргатического типа определяется в терминах технического звена. В данном случае эффективность системы можно оценить по качеству переходного процесса установления скорости движения объекта, например, по длительности установления скорости движения и ошибке управления. Чем меньше длительность установления скорости и чем меньше ошибка управления, тем более эффективно решается поставленная задача управления скоростью движения.

Предположим, что рассматриваемая система является линейной и стационарной. В этом случае для определения динамики системы достаточно найти ее описание в виде передаточной функции, позволяющей определить поведение системы для заданных внешних воздействий. С точки зрения классической теории управления данная БТС может рассматриваться как следящая система с отрицательной обратной связью.

Действительно, управление скоростью движения объекта осуществляется всякий раз, когда оператор решает установить скорость

движения V_3 , заданную целеуказанием. Требуемая скорость движения V_3 , определяется в результате зрительного восприятия значения скорости, предъявляемого оператору целеуказанием, а фактическое значение скорости движения - в результате восприятия показаний прибора $V_{пр}$.

В результате сравнения значений V_3 и $V_{пр}$ в центральной нервной системе вырабатывается решение об определенном управляющем действии, которое через эффекторную систему передается соответствующим мышцам руки, расположенной на ручке управления. При сокращении мышц происходит движение ручки и изменение ее положения x . Изменение положения ручки управления приводит к изменению скорости движения объекта.

В самом общем виде структура БТС может быть представлена в виде системы с отрицательной обратной связью (рисунок 4).

Биологическое звено БТС выполняет функции рецепции, восприятия, афферентного синтеза, зрительно-моторного взаимодействия и, наконец, действия в виде мышечного сокращения, изменяющего положение ручки управления.

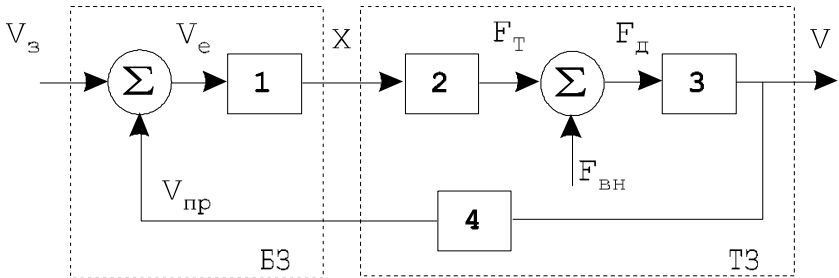


Рисунок 4 - Структурно - функциональная схема исследуемой БТС

Техническое звено осуществляет движение, измерение и индикацию скорости, управление скоростью движения в зависимости от положения ручки управления.

Для исследования системы необходимо определить описание блоков, входящих в звенья системы.

Биологическое звено может быть представлено с помощью сумматора, формирующего сигнал “ошибки” V_e и блока 1, входной пе-

ременной которого служит сигнал “ошибки” V_e , выходной - положение ручки управления x .

Режим управления, с точки зрения биологического звена, может быть представлен как процесс афферентного анализа Среды и процесс взаимодействия зрительного и двигательного анализаторов.

Функциональная идентификация данных процессов показывает, что для их описания можно воспользоваться типовыми звеньями - звеном с чистым запаздыванием и инерционным аperiodическим звеном:

$$H_1(p) = \frac{K_1}{1 + T_1 p} e^{-pT_{12}} \quad (1)$$

Техническое звено системы включает блок двигателя 2 с передаточной функцией, описывающей преобразование положения ручки управления x в величину силы тяги двигателя F_1 . Для учета внешних сил, действующих на объект при движении используется сумматор, формирующий действующую величину силы тяги F_d .

Передаточная функция блока 3 описывает преобразование действующей на объект силы тяги в скорость движения. Решение первого приближения уравнения движения приводит к передаточной функции, имеющей вид описания инерционного аperiodического звена:

$$H_3(p) = \frac{K_3}{1 + pT_3} \quad (2)$$

Преобразование скорости движения V в показание значения скорости на дисплее $V_{пр}$ описывает передаточная функция блока 4.

Передаточная функция системы может быть записана через передаточные функции блоков:

$$H(p) = H_1(p)H_2(p)H_3(p)/[1 + H_1(p)H_2(p)H_3(p)H_4(p)] \quad (3)$$

Динамика изменения скорости движения объекта в рассматриваемой задаче описывается решением уравнения:

$$V(p) = H(p)V_3(p)$$

где $V_3(p)$ – изображение по Лапласу входного воздействия.

Если $V_3(t) = V_3 1(t)$,

то $V_3(p) = \frac{V_3}{p}$, тогда

$$V(p) = \frac{V_3}{P} H(p), \text{ а } V(t) = L^{-1} \left\{ \frac{V_3}{P} H(p) \right\}. \quad (4)$$

Идентификацию модели человека-оператора как биологического звена БТС можно провести по результатам тестирования оператора с использованием компьютерного теста.

Передаточные функции блоков технического звена БТС могут быть заданы на основе известных результатов физического моделирования.

В частности, в качестве первого приближения можно считать, что изменения скорости мгновенно (т.е. значительно быстрее, чем постоянные времени всех остальных процессов) регистрируются прибором и так же мгновенно отображаются на дисплее:

$$H_4(p) = K_4. \quad (5)$$

Исполнительное устройство управления силой тяги двигателя объекта позволяет замкнуть контур обратной связи системы. Входным сигналом здесь служит положение органа управления x . Под действием исполнительного устройства двигатель вырабатывает силу тяги, рассматриваемую в качестве выходной величины блока 2. Будем считать, что тяга двигателя практически мгновенно реагирует на изменение положения органа управления и что его характеристики линейны:

$$H_2(p) = K_2. \quad (6)$$

Запись передаточной функции системы в целом и определение ее параметров позволяет исследовать характеристики БТС как системы управления. Для этой цели может быть использован пакет моделирования динамических систем («MARS»; «MATLAB»; «SIAM»).

Исследование БТС с изучением характеристик реальных операторов позволяет отработать структуру и характеристики элементов, входящих в техническое звено БТС, получить рекомендации по отбору,

обучению и тренировке операторов с точки зрения повышения эффективности рассматриваемой системы.

Исследование параметров отдельных блоков системы позволяет определить их влияние на показатели эффективности системы.

Таким образом, модель БТС полученная методами классической теории управления позволяет исследовать основные закономерности функционирования БТС, а также пути повышения эффективности управления движением объекта.

1.3. Идентификация биологического звена БТС

Взаимодействие организма со средой, происходящее в рамках БТС эргатического типа, может быть рассмотрено с позиции теории функциональных систем П.К.Анохина.

Любая функциональная система (ФС) имеет принципиально однотипную организацию и включает общие и притом универсальные для различных ФС периферические и центральные узловы механизмы:

- полезный приспособительный результат, как ведущее звено ФС;
- рецепторы результата;
- обратную афферентацию, идущую от рецепторов результата в центральные отделы ФС;
- центральную архитектуру, представляющую собой избирательное объединение нервных элементов различного уровня;
- эффекторные компоненты, вегетативного, эндокринного, нейромышечного действия, включая организованное целенаправленное поведение.

Системная организация целенаправленного поведенческого акта позволяет определить не только реакции организма на внешние стимулы, но и их зависимость от окружающей обстановки и индивидуального опыта.

Центральная архитектура поведенческого акта по П.К.Анохину (рисунок 5) включает в себя блоки афферентного синтеза, акцептора результата действия связанного с блоком действия афферентными возбуждениями и обратной афферентацией. Первичным актом аффе-

рентного синтеза в данной функциональной системе является анализ многочисленной афферентной информации. На основе такого анализа возможно формирование акцептора действия, в соответствии с общей целью и конкретными целями поведенческих актов.

Большое значение при изучении афферентного анализа имеют исследования сенсорных систем, т.е. тех каналов, по которым идет обмен информацией между организмом и внешней средой. Для человека-оператора это, в первую очередь, зрительная и слуховая системы, имеющие определенные особенности функционирования, в частности, обладающие, присущим всем живым организмам, свойством адаптации.

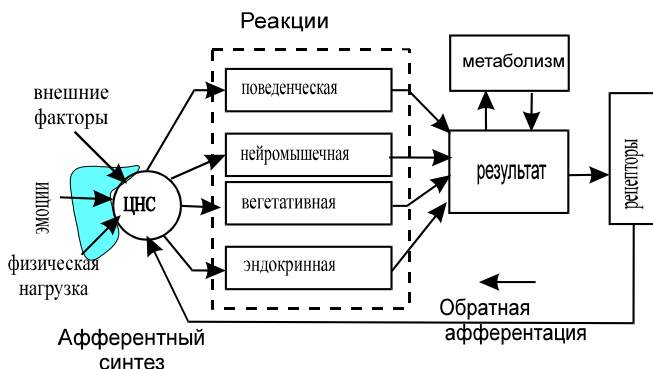


Рисунок 5 - Функциональная система целенаправленного поведенческого акта по П.К.Анохину

Модель афферентного анализа можно рассматривать как один из основных элементов модели биологического звена БТС эргатического типа, так как афферентный анализ характеризует важнейшее свойство человека-оператора - его способность к обучению. Именно поэтому большинство методик отбора операторов, определения работоспособности, способности к саморегуляции и адаптации в той или иной степени связаны с изучением характеристики обучения.

Для идентификации параметров модели афферентного анализа часто используют методику тестирования оператора с помощью предъявления теста, содержащего стимулы «единичной» интенсивности. Ответная реакция оператора на стимул может быть записана в виде зависимости параметров результата, получаемого при решении

теста, от времени. Полученная таким образом зависимость может быть истолкована как переходная функция и может быть использована для получения передаточной функции оператора путем применения одного из известных методов функциональной идентификации систем.

1.3.1. Методика тестирования оператора в режиме афферентного анализа среды

Характеристики режима афферентного анализа могут быть определены при обучении человека распознаванию скрытых закономерностей среды. Простейшим случаем обучения является, например, формирование рефлексов.

Для исследования системы афферентного анализа человеку предъявляется тест в виде «слова» - детерминированной комбинации последовательности состояний, длина которого не превышает возможности его анализа. В качестве слова используются, например, комбинации из трех состояний среды с длиной, не превышающей семи состояний в последовательности.

В настоящей лабораторной работе используется тест оператора, формируемый с помощью персонального компьютера (ПК).

Аналогом среды, в которой производится обучение оператора, служит последовательность предъявления оператору на экране ПК слова в виде закономерной последовательности изображений квадратов, которые могут иметь три цвета: красный, зеленый и синий.

Инструкция теста требует, чтобы оператор как можно быстрее «гасил» на экране ПК предъявляемый квадрат с помощью нажатия на одну из трех клавиш ПК, имеющих соответствующую цветовую маркировку. Оценка действия оператора производится по времени его реакции, отсчитываемой от момента предъявления изображения квадрата на экране до момента нажатия на соответствующую по цвету клавишу ПК. Эксперимент проводится в режиме авторитма, когда нажатие на соответствующую клавишу «гасит» предъявляемый квадрат и включает предъявление следующего.

Предъявляемые друг за другом слова не тактируются, т.е. после окончания предъявления последнего цвета первого слова предъявляется первый цвет второго и т.д. У оператора только в результате многократной подачи слов, в большинстве случаев подсознательно, формируется модель предъявляемой последовательности слов.

Обучение оператора проявляется в организации его реакции, в результате которой скорость реакции на предъявление изображений увеличивается. После завершения процесса афферентного синтеза скорости реакции определяется только временем моторной реакции (нажатие на клавишу), т.к. оператор понимает, что ему предъявляется повторяющиеся слова в виде детерминированной последовательности чередующихся цветов.

Компьютерный тест «STOP», используемый в лабораторной работе, обеспечивает случайный выбор цветов (состояний) в слове в начале каждого акта тестирования, обработку данных времени реакции оператора, установку трех уровней сложности теста.

Выходным параметром, характеризующим обучение оператора, считается среднее время реакции на один квадрат в каждом предъявляемом слове:

$$T = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n T_i \quad (7)$$

где m - число состояний в слове, T_i - время реакции на i -тый квадрат предъявляемого слова

1.3.2. Вероятностная модель афферентного анализа среды

Для построения модели афферентного анализа используется уравнение динамики вероятности события, заключающегося в том, что в системе афферентного анализа человека сформирована модель внешней среды. Данная вероятность является функцией шага анализа закономерности среды (шага обучения).

Под шагом обучения понимается выполнение теста оператора для одного предъявляемого слова.

При изменении номера шага обучения n от 1 до ∞ вероятность p изменяется от 0 до 1. Уравнение динамики вероятности может быть записано в виде:

$$\frac{dp}{dn} + ap = k \quad (8)$$

где a - параметр обучения;

k - фактор, способствующий обучению

Время реакции на предъявляемый тест может быть представлено в следующем виде:

$$T = T_1 q(n) + T_N p(n) \quad (9)$$

где $q(n) = 1 - p(n)$, $q(n)$ - вероятность того, что модель среды не сформирована.

Решая (8) можно получить для (9) следующее выражение:

$$T = T_1 \exp(-a(n-1)) + T_N [1 - \exp(-a(n-1))] \quad (10)$$

Из (10) видно, что влияние начальной реакции, T_1 в общем, времени реакции с каждым шагом обучения уменьшается, а влияние установившейся реакции T_N растет. Единственной неизвестной величиной является параметр обучения a , определяемый по результатам проведения эксперимента.

Для афферентного анализа характерной является точка, в которой вероятность того, что система афферентного анализа сформировала модель среды, и того, что она не сформировала эту модель, равны друг другу. В этом случае $p = q$, а $n = n_{кр}$, из уравнения 10 получаем:

$$n_{кр} = \left(\frac{1}{a}\right) \ln 2 + 1 \quad (11)$$

Величина критического числа шагов $n_{кр}$ может быть использована в качестве диагностического показателя, характеризующего способность оператора к обучению, а так же в качестве меры действия на оператора различных условий среды. Этот показатель определяет «нулевой» уровень общей организации оператора, когда он понимает среду «наполовину».

Нейрокибернетическая трактовка данного показателя заключается в том, что существовавшие до обучения стереотипы анализа среды (нейронные сети) разрушены при $n = n_{кр}$, т.е. величина критического числа шагов обучения может характеризовать функциональную лабильность системы афферентного анализа среды. Поскольку предъявление слов в тесте оператора не тактируется, то по величине $n_{кр}$ можно определить среднее время, необходимое оператору для анализа среды.

Для обработки результатов тестирования оператора в режиме афферентного анализа среды необходимо провести аппроксимацию экспериментальных данных теоретической зависимостью (10).

В результате аппроксимации данных, представляющих собой массив значений времени реакции $T[n]$, необходимо получить значение параметра a , являющегося характеристикой оператора.

Аппроксимация экспериментальных данных включает в качестве первого этапа их сглаживание, направленное на устранение грубых ошибок эксперимента.

Сглаживание может осуществляться путем фильтрации данных медианным фильтром. или по методу. При использовании метода трех пяти ординат сглаживание осуществляется по формулам:

$$\begin{aligned} T_c[1] &= (5T[1] + 2T[2] - T[3]) / 6; \\ T_c[n] &= (T[n-1] + T[n] + T[n+1]) / 3; \\ T_c[N] &= (5T[N] + 2T[N-1] - T[N-2]) / 6, \end{aligned} \quad (12)$$

где $T[n]$ - массив экспериментальных значений;
 $T_c[n]$ - массив сглаженных значений;

Затем производится поиск значения параметра a , при котором сводится к минимуму сумма квадратов отклонений аппроксимированных значений $T_a[n]$ (полученных из (10), где $T_1 = T[1]$, $T_N = T[N]$) от сглаженных $T_c[n]$ (полученных с помощью формул (12)).

$$S(a) = (T[1] - T_c[1])^2 + \dots + (T[n] - T_c[n])^2 + \dots + (T[N] - T_c[N])^2$$

1.3.3 .Методика тестирования оператора в режиме зрительно-моторного взаимодействия

Исследование характеристик зрительно-моторного взаимодействия проводится с помощью компьютерного теста, в котором оператор работает в режиме отслеживания некоторого изменяющегося сигнала.

Тестирование заключается в предъявлении на экране ПК позиционированного зрительного сигнала и слежения за ним путем выполнения управляющих движений манипулятором ПК.

В тесте «**MOVE**» зрительный сигнал представляет собой контрастную точку, возникающую в различных точках экрана ПК. Оператор располагается перед экраном ПК, на котором предъявляется тест. Управление позицией курсора на экране производится оператором с помощью движений манипулятора «мышь». В начале теста курсор автоматически устанавливается в центре экрана. Решение задания теста заключается в совмещении курсора, путем его движения с помощью «мыши», с появляющейся на экране контрастной точкой. В момент совмещения фиксируется время, затраченное оператором на тест. Тест предъявляется 10 раз подряд для получения среднего времени зрительно-моторного взаимодействия.

В тесте «**MOONMOVE**» исследуются динамические характеристики показателей слежения оператора. Зрительный сигнал представляет собой линию, предъявляемую на экране ПК с различной скоростью. Выходной параметр теста - усредненная ошибка слежения для каждой «скорости» предъявляемой линии.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

2.1. Исследование характеристик оператора

2.1.1. Исследование оператора в режиме афферентного анализа среды

1. Запустить на ПК тест «**STOP**».
2. Выбрать уровень сложности 1 и провести самотестирование.
3. Построить зависимость времени реакции от номера шага обучения.

4. Провести идентификацию параметров вероятностной модели методом наименьших квадратов с помощью программы APPROX. Рассчитать величину параметра обучения \mathbf{a} и критического числа шагов обучения $\mathbf{n}_{кр}$ для различной точности аппроксимации.
5. Провести самотестирование при различных условиях среды:
 - а) Уровень сложности 2
 - б) Уровень сложности 3
6. Выполнить требования п. 3, 4.
7. Определить зависимость диагностических параметров от изменения параметров среды п. 5.

2.1.2. Исследование оператора в режиме зрительно-моторного взаимодействия

1. Запустить на ПК тест «MOVE».
2. Провести самотестирование для различных условий теста.
3. Определить время зрительно-моторного взаимодействия для различных условий теста.

2.1.3. Содержание отчета по первой части работы.

1. Цель работы.
2. Структурная схема теста оператора.
3. Таблицы данных тестирования.
4. Расчет параметров модели афферентного анализа.
5. Графики кривых обучения оператора.
6. Зависимости диагностических параметров от изменения условий среды.
7. Частотная характеристика модели взаимодействия, ее аппроксимация, передаточная функция.
8. Структурная схема модели БЗ БТС, передаточная функция.
9. Выводы о полученных результатах, сопоставление с теорией.

2.2. Вторая часть работы. Исследование модели эргатической БТС

1. В соответствии с выражениями (1) - (6) записать передаточные функции всех звеньев БТС. Определить по результатам

эксперимента п. 2.1 параметры передаточной функции БЗ. В качестве первого приближения выбрать значения параметров передаточных функций блоков:

$$K_1 = 2; \quad K_3 = 3,6; \quad T_3 = 10 \text{ с} \quad K_{СП} = 1; \quad K_y = 1,25;$$

2. Ознакомиться с инструкцией по работе с пакетом моделирования динамических систем Simulink.
3. Ввести для моделирования структурную схему БТС в соответствии с данными п. 1.
4. Определить параметры процесса установления скорости при входном единичном воздействии $V_{\zeta} = V_0 I(t)$.
5. Определить влияние параметров модели оператора на ошибку управления и время установления скорости.
6. Ввести корректирующее звено (перейти к пропорционально-интегральному управлению) с целью улучшения параметров системы.

3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Структурная схема БТС.
3. Аналитическое решение первого приближения задачи для скорости движения автомобиля ($T_1 \ll T_3, T_2 \ll T_3$).
4. Графики переходных процессов системы.
5. Зависимость параметров системы от параметров модели оператора.
6. График переходного процесса системы с корректирующим звеном.
7. Выводы о полученных результатах, сопоставление с теорией.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахутин, В.М. Биотехнические системы. Теория и проектирование / [Текст] Под ред. В.М. Ахутина.- Л.:ЛГУ, 1981. - 220с.
2. Антимонов Ю.Г. Моделирование биологических систем. / Антимонов, Ю.Г. [Текст] - Киев: Наукова думка, 1977.- 160с.
3. Судаков К.В. Общая теория функциональных систем. /Судаков К.В. [Текст] – М.: Мир, 1979. – 224с.

4. Новосельцев В.Н. Теория управления и биосистемы. / Новосельцев В.Н. [Текст] – М.: Наука, 1978. – 320 с