

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

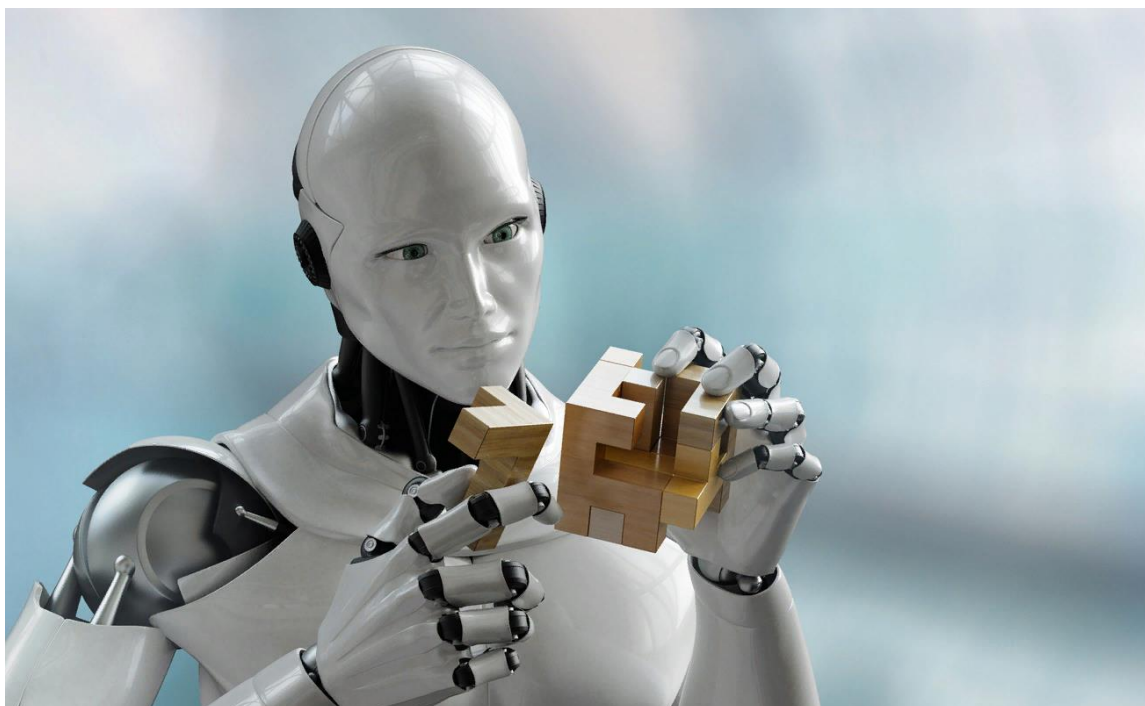
---

**ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ**

**В. И. Рожков**

**ЭРГОНОМИКА В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ  
СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ  
ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Учебно-методическое пособие**



**Санкт-Петербург  
2018**

УДК 676:52(075)  
ББК 30.17я7  
Э748

Эргономика в автоматизированных системах управления технологическими процессами целлюлозно-бумажной промышленности: / учебно-методическое пособие для практических занятий по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»/сост. В.И. Рожков; ВШТЭ СПбГУПТД, 2018, - 34 с.

В учебно-методическом пособии по проведению практических занятий приведен перечень заданий по эргономике, построению алгоритмов деятельности операторов, обслуживающих аппаратуру и оборудование АСУ ТП ЦБП, и проведению расчетов по показателям качества, надежности и эффективности деятельности человека-оператора в системах «человек-машина».

Предназначено для студентов по направлению подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

Рецензенты:

Профессор кафедры информационных технологий СПб ГЭТУ «ЛЭТИ»  
П.И. Падерно, д-р техн. наук, заслуженный деятель науки РФ;  
профессор, зав. кафедры информационно-измерительных технологий и систем управления ВШТЭ, В.И. Сидельников, канд. техн. наук

Подготовлено и рекомендовано к печати кафедрой автоматизации технологических процессов и производств Института автоматизации и энергетики Высшей школы технологии и энергетики СПб ГУПТД (протокол № 2 от 22.11.2018 г.)

Утверждено к изданию методической комиссией Института автоматизации и энергетики Высшей школы энергетики и технологии СПб ГУПТД (протокол № 4 от 18.12.2018 г.)

© Высшая школа энергетики и технологии Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, 2018  
© Рожков В.И., 2018

## **Введение**

В связи с внедрением на кафедре «Автоматизация технологических процессов и производств» Высшей школы технологии и энергетики новых рабочих программ подготовки по эргономике появилась необходимость разработки комплекса лабораторных и практических работ.

Необходимость введения данной дисциплины в условиях совершенствования систем автоматизации и промышленного оборудования назрела давно. Если в 60-80 гг. XX века вопросам развития эргономики в СССР придавалось огромное значение, то начиная с 90-х годов вопросам эргономического обеспечения проектирования и эксплуатации технических комплексов, к которым относятся автоматизированные системы управления технологическими процессами, не придавалось должного внимания.

Классическое понимание эргономики включает в себя широкий спектр вопросов: обоснование эргономических требований к промышленным изделиям и техническим комплексам на этапах их проектирования и разработки опытных образцов, проведение эргономической экспертизы как на начальной стадии проектирования техники, так и в процессе всего жизненного цикла изделия (АСУ ТП) с последующей корректировкой его составных частей и ряд других вопросов.

В рамках рабочей дисциплины студенты ознакомлены с основными направлениями эргономики, в процессе проведения производственной практики на предприятиях города изучалась деятельность операторов АСУ ТП в различных областях промышленности и энергетики, показаны направления практических исследований для улучшения качества деятельности человека-оператора в сложных человеко-машинных системах, изучены нормативные требования к качеству производственной среды.

Все эргономические разработки и исследования направлены на повышение качества функционирования техники и улучшение качества работы человека-оператора (группы операторов) в производственных условиях (окружающей среды) при обслуживании и управления им (ими) работающего оборудования.

Широкое внедрение компьютерной и микропроцессорной техники в автоматизацию технологических процессов не уменьшило, а увеличило потребность применения эргономических разработок. Это вызвано

интенсификацией процессов, протекающих в АСУ ТП, необходимостью четкого осознания и понимания оператором процессов, протекающих в системах управления, необходимостью своевременного принятия им ответственных управленческих решений не только в процессе контроля за протеканием штатного технологического процесса, но и во время обнаружения нештатных и аварийных ситуаций.

Эффективность функционирования любой АСУ ТП в значительной степени зависит от надежности самой техники. Однако немаловажную роль играет надежность человеческого звена, так называемый «человеческий фактор». От действий человека-оператора, действующего в условиях воздействия на него стресса, от правильности распределения функций между человеком и машиной, от грамотного распределения обязанностей и нагрузки между членами рабочих групп зависит конечный результат функционирования системы «человек-машина» (СЧМ).

Для оценки качества деятельности операторов АСУ ТП студентам потребуются навыки правильного построения и формализации алгоритмов деятельности (АД) операторов, умение использовать существующие или полученные опытным путем количественные характеристики типовых функциональных единиц, которые являются одной из целей для количественной оценки качества функционирования СЧМ и деятельности оператора. Для этого студентам предлагается на основе полученных теоретических знаний в соответствии с обобщенным структурным методом профессора А.И. Губинского выполнить ряд практических заданий.

Качество работы человека в современных системах «человек-машина» (СЧМ) в первую очередь определяется эффективностью проводимого им информационного поиска, своевременностью и правильностью принятия решений, а также адекватностью концептуальной модели деятельности реальным условиям эксплуатации системы.

Большое значение в этом случае приобретают эргономически грамотно разработанные интерфейсы АСУ, учитывающие не только психофизиологические особенности человека, но и уровни его знаний, навыков и умений по управлению АСУ ТП, особенности его реакции на появление отклонений от штатной работы техники.

Для студентов, включающихся в процесс подготовки и изучения дисциплины «Эргономика в АСУ ТП ЦБП», важным условием их освоения

является необходимость изучения основной специальности по профилю подготовки. При этом особенностью изучения дисциплины является то, что студент должен обращать внимание на **деятельность оператора АСУ ТП**, выполнение им своих функциональных задач.

В качестве способа построения алгоритмов деятельности операторов и получения количественных значений качества функционирования СЧМ применяется обобщенный структурный метод, ориентированный на формализацию процесса функционирования СЧМ в целом, т.е. как действий человека, так и функционирования технической части (машины). При вычислении показателей используется функциональная структура на уровне системы (структура задач) и на уровне задачи (структурные операции). Функциональные структуры приводятся к единому виду за счет универсального аппарата функциональных сетей (ФСС). Аппарат функциональных сетей является достаточно мощным и универсальным средством моделирования и оценки для класса СЧМ, позволяющий учитывать специфические особенности поведения человека-оператора и используемые им машинные средства (технику, программы, информацию). Функциональные сети объединяют процедурную компоненту (собственно функциональную сеть) и декларативную компоненту (семантическую сеть).

Для производства расчетов по составленным алгоритмам деятельности предлагается использовать 2 варианта:

1. Ручной расчет качества функционирования АД.
2. Программу расчета на основании программы Excel.

Ниже приведен перечень типовых практических заданий для решения поставленных учебных задач и пример их решения.

### **Общие требования к оформлению отчета**

1. На титульном листе должны быть указаны наименование университета, кафедры, название работы, фамилия студента и номер группы, год (Приложение 3).
2. Текстовая часть отчета выполняется на одной стороне белой бумаги формата А4 машинописным способом через 1,5 межстрочных интервала. Допускается выполнение отчетов рукописным способом, аккуратным разборчивым почерком.
3. Описание АД производится с применением обобщенного структурного метода и ТФЕ. Перечень ТФЕ и их характеристики приведены в Приложениях 2 и 3.

3. Расчеты выполняются ручным способом с применением формул или с помощью программы Excel (Приложение 5), результаты расчетов сводятся в таблицы.
4. При заполнении отчета указать исходные данные по выполнению практического задания, представить схему лабораторной установки, органы управления и индикации, применяемые при ее выполнении.
5. Результаты замеров временных параметров прилагаются к отчету в виде Контрольного листа (Приложение 1), а результаты расчетов прикладываются в приложении к отчету в виде заполненных таблиц Excel. В итоговой таблице приводятся окончательные результаты расчетов.
6. Формулы для расчетов можно привести в Приложении к отчету.
7. Сформулировать выводы по проделанной работе.
8. Оформить отчет.

## **ПРОВЕДЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

**Целями** проведения практических занятий являются:

1. Научить студентов практическому использованию теоретических знаний по эргономике по темам 3,4 рабочей программы дисциплины.
2. Научить студентов использовать принципы алгоритмизации при изучении деятельности человека-оператора в АСУ ТП ЦБП, правилам построения алгоритмов деятельности с использованием типовых функциональных единиц обобщенного структурного метода.
3. Научить навыкам хронометража и сбора исходных данных по рабочим и контрольным операциям при выполнении оператором своих задач, методам последующей обработки результатов.

### **Организация проведения практических занятий**

Перед выполнением работы преподаватель производит инструктаж.

Учебная группа делится на подгруппы по 2-3 человека, получают учебные материалы по практическим занятиям. Выделяется время для ознакомления с лабораторной установкой, ее устройством, расположением органов управления и индикации. Один из студентов выступает в роли контролера, остальные студенты в роли испытуемых. Контролер заполняет Контрольный лист на испытуемого – оператора установки (Приложение 1). В процессе выполнения задания контролер и испытуемые меняются местами.

## **Инструмент и принадлежности**

1. При проведении работ в качестве объекта исследования используются существующие лабораторные установки кафедры АТП и П.
2. Для проведения хронометража использовать секундомеры с функцией фиксирования промежуточных значений.

## **Хронометраж времени выполнения задания**

При выполнении испытуемым (оператором) задания контролер выполняет хронометраж по каждой операции, отмечает ошибки оператора, все данные о проведении лабораторной работы заносятся в бланк «Контрольного листа» (Приложение 1), который после завершения задания предъявляется для проверки преподавателю, подписывается им и впоследствии прикладывается к отчету о выполнении практического задания.

## **Результаты практических занятий**

В результате проведения работы студенты подгруппы должны предоставить Отчет о выполнении задания, в который должны быть включены следующие разделы:

1. Описание деятельности оператора при выполнении им данного задания.
2. Алгоритм деятельности (АД) оператора в типовых функциональных единицах (ТФЕ) обобщенного структурного метода (ОСМ) (см. Приложение 2)
3. Исходные данные для расчета, полученные в результате хронометража, или выбранные данные из справочной литературы. При использовании литературы указать первоисточник (автор, название, год издания и страницы книги). Причем расчет производит каждый студент по результатам своего Контрольного листа.
4. Результаты расчета промежуточных и итоговых количественных характеристик АД в виде таблицы с использованием программы Excel. Если был использован ручной метод расчета по формулам (Приложение 3), то прикладываются черновики расчетов. Если использовался программный комплекс (Приложение 5 учебно-практического пособия «Эргономика в АСУ ТП»), то прикладываются результаты расчетов и «свертки» типовых функциональных структур (ТФС).

## **5. Выводы и рекомендации по работе.**

Отчет выполняется на бумаге формата А4 в печатном виде, расчеты должны производиться в программе Excel.

Для получения зачета по выполненной работе производится защита у преподавателя путем опроса по проделанной работе по темам 3,4 рабочей программы дисциплины.

## **ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ**

### **Исследование деятельности оператора при выполнении лабораторной работы «Пропорционально-регулирующий блок ПР2.5»**

#### **1. Описание устройства ПРБ ПР 2.5 и его назначение**

Регулирующий блок ПР2.5 входит в систему «Старт» и предназначен для непрерывного регулирующего воздействия на исполнительный механизм или другой элемент системы регулирования с целью поддержания параметров (уровня, давления и т.д.) в заданных пределах (рис. 1).

#### **2. Органы управления и контроля**

Органами управления в данной установке являются редукторы давления 1а с помощью которого задаются необходимые параметры в пределах от 20 кПа до 140 кПа. При выполнении задания оператор подает управляющее воздействие на установку путем задания редукторами давления 2а, 4а необходимого давления в пределах от 20 до 100 кПа.

Органами контроля являются технические манометры МТ 1б, 2б, 4б, имеющие пределы измерения 0 – 160 кПа, класс точности 1 и образцовый манометр 3, имеющий пределы измерения 0 – 100 кПа. При осуществлении контроля за выходными параметрами их значения должны находиться в пределах 0 – 5 кПа – по нижней границе и 100-140 кПа – по верхней. Источником воздушного питания установки является компрессор с пределом верхнего давления 160 кПа.

#### **3. Описание деятельности оператора при выполнении им задачи**

В процессе выполнения задания оператор установки должен подавать с помощью редукторов 1а, 2а и 4а заданное значение параметров воздуха, контролировать их величины по техническим манометрам МТ 1б, 2б, 4б и об-

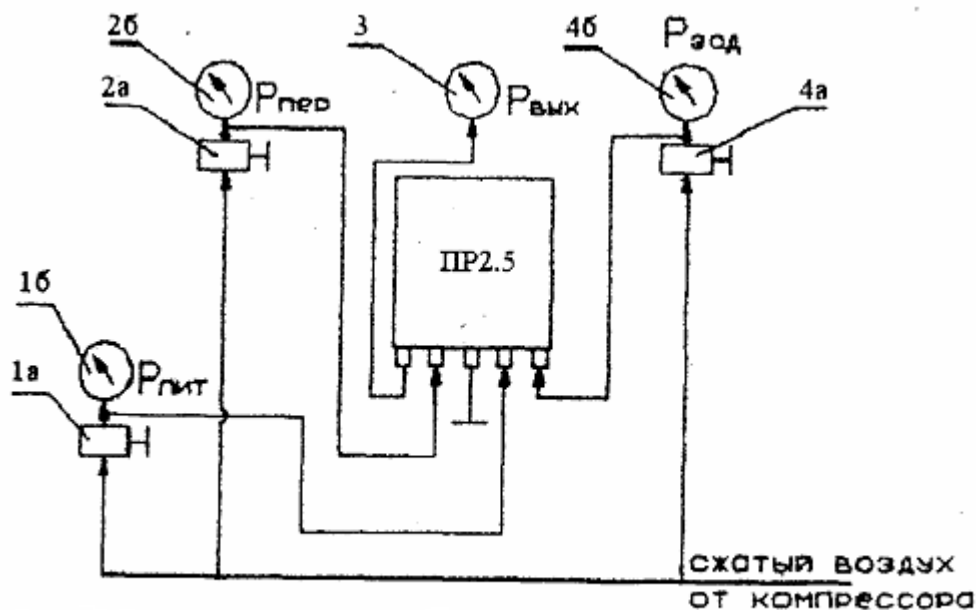


Рис 1. Схема лабораторной установки для проверки регулирующего блока ПР2.5

разцовому манометру 3. Очередность выполнения операций представлена в п. 4.

#### 4. Хронометраж времени выполнения задания

При выполнении испытуемым (оператором) задания контролер выполняет хронометраж по каждой операции, отмечает ошибки оператора, все данные о проведении лабораторной работы заносятся в бланк «Контрольного листа» (Приложение 1), который после завершения задания предъявляется для проверки преподавателю, подписывается им и впоследствии прикладывается к отчету о выполнении практического задания.

#### 5. Описание алгоритма деятельности оператора установки в ТФЕ ОСМ

В соответствии с правилами построения АД операторов построим такой алгоритм (рис.2). На основании полученных данных хронометража и АД оператора установки составляется таблица (табл. 1) и в нее заносятся полученные значения количественных характеристик.

#### 6. Производство расчетов

В результате проведенных исследований по действиям оператора при проведении практического задания были получены следующие результаты (таблица 1). Для проведения расчета необходимо внести в программу Excel

перечень исходных данных для расчета, используя формулы Приложения 3 и 4 или использовать программу количественной оценки деятельности оператора, приведенного в Приложении 5. Исходные данные для расчета представить в форме, изложенной в табл. 2.

## 7. Выводы и рекомендации

По итогам проведенной работы получены следующие результаты: (перечисляются все результаты работы, причины отклонений от заданных параметров, делаются выводы по проделанной работе, рекомендации по улучшению структуры деятельности оператора, его алгоритму, рекомендации по проведению практического задания).

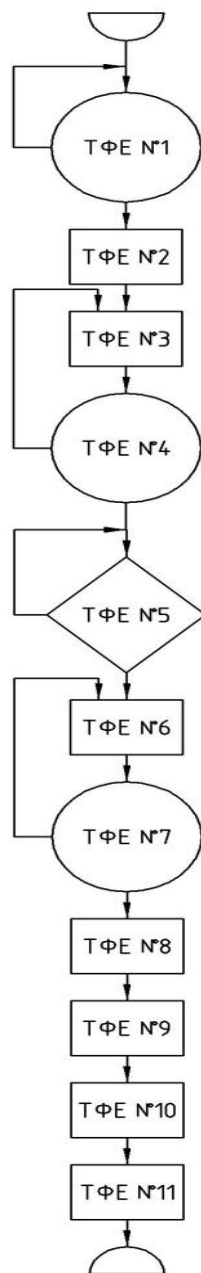


Рис.2. Алгоритм деятельности оператора установки (фрагмент)

Таблица 1

## Исходная таблица АД с количественными характеристиками

| № ТФЕ | Действия оператора в соответствии с алгоритмом деятельности                     | Параметры для расчета количественных характеристик деятельности оператора |                                      |                                                |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|
|       |                                                                                 | вероятность безошибочного и своевременного выполнения операции, $\beta_i$ | время выполнения операции, $M_i$ , с | дисперсия времени выполнения операции, $D_i$ с |
| 1     | Вывернуть до нуля ручные редукторы 1а, 2а и 4а                                  | 0,995                                                                     | 5,0                                  | 0,6                                            |
| 2     | Редуктором давления 1а подать на установку давление питания равное 140 кПа      | 0,995                                                                     | 2,0                                  | 0,3                                            |
| 3     | Проконтролировать заданное давление по манометру 1б                             | 0,998                                                                     | 2,0                                  | 0,3                                            |
| 4     | Установить переключ. «Режимов» на регулир. блоке в положение «Прямо»            | 0,996                                                                     | 3,0                                  | 0,5                                            |
| 5     | Установить диск настройки диапазонов дросселирования в положение «10%»          | 0,993                                                                     | 2,5                                  | 0,4                                            |
| 6     | Контроль установки диска настройки диапазонов дросселирования в положение «10%» | 0,998                                                                     | 2,1                                  | 0,3                                            |
| ...   |                                                                                 |                                                                           |                                      |                                                |
| п     | Выключить установку                                                             | 0,999                                                                     | 2,4                                  | 0,6                                            |
|       | Итоговые значения АД                                                            | 0,803                                                                     | 628,5                                | 136,1                                          |

Расчет алгоритма деятельности оператора по лабораторной работе  
«Пропорционально-регулирующий блок ПР2.5» в программе Excel

| № ТФЕ | Параметры для расчета                                             |                                         |                                                        |
|-------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|       | вероятность<br>безошибочного<br>выполнения<br>операции, $\beta_i$ | время выполнения<br>операции, $M_i$ , с | дисперсия времени<br>выполнения операции,<br>$D_i$ , с |
| 1     | 0.995                                                             | 3,0                                     | 0,5                                                    |
| 2     | 0.995                                                             | 2                                       | 0,5                                                    |
| 3     | 0.995                                                             | 2,50                                    | 0,7                                                    |
| 4     | 0.995                                                             | 5                                       | 1,5                                                    |
| 5     | 6                                                                 | 30                                      | -                                                      |
| 6     | 0.995                                                             | 2                                       | 0,5                                                    |
| 7     | 0.995                                                             | 2,50                                    | 0,7                                                    |
| 8     | 0.995                                                             | 3                                       | 0,6                                                    |
| 9     | 0.995                                                             | 60                                      | 10,0                                                   |
| 10    | 0.995                                                             | 2,5                                     | 0,7                                                    |
| 11    | 1,0                                                               | 2,5                                     | 0,7                                                    |
| 12    | 0.995                                                             | 20,0                                    | 3,5                                                    |
| 13    | 0.995                                                             | 2                                       | 0,5                                                    |
| 14    | 0.995                                                             | 2                                       | 0,5                                                    |
| 15    | 0.995                                                             | 2,5                                     | 0,7                                                    |
| 16    | 0.995                                                             | 180                                     | 30,0                                                   |
| 17    | 0.998                                                             | 120                                     | 20,0                                                   |
| 18    | 0.998                                                             | 120                                     | 20,0                                                   |
| 19    | 0.998                                                             | 90                                      | 15,0                                                   |
| ...   |                                                                   |                                         |                                                        |
| n     | 0.995                                                             | 180                                     | 30,0                                                   |
| Итого | 0,903                                                             | 828,5                                   | 136,1                                                  |

## ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ

### Задание 1

#### Исследование действий оператора при работе с прибором алгебраического суммирования ПФ1.1

**Цель работы** заключается в изучении работы обучаемого при выполнении практического задания по использованию прибора алгебраического суммирования ПФ 1.1.

Прибор алгебраического суммирования ПФ1.1 входит в систему приборов «СТАРТ» (система автоматических регуляторов и приборов завода «Тизприбор»). Он построен на элементах УСЭПА (унифицированная система элементов промышленной пневмоавтоматики). Схема лабораторной установки «Прибор алгебраического суммирования ПФ1.1» представлена на рис. 3.

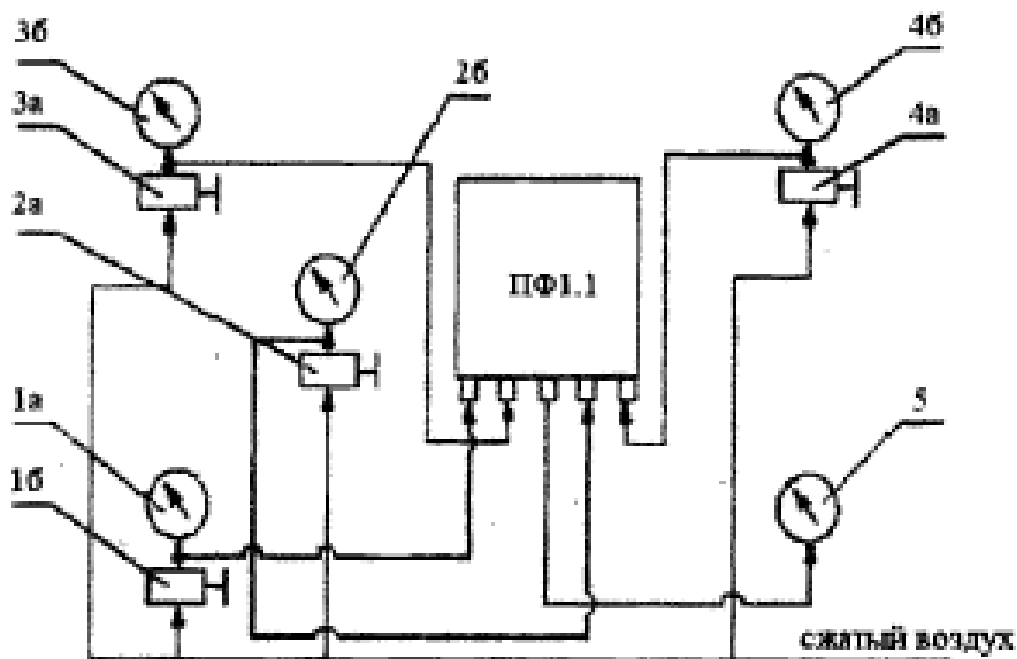


Рис. 3. Схема лабораторной установки «Прибор алгебраического суммирования ПФ1.1»

### Порядок выполнения работы

**При проведении практического занятия произвести хронометраж времени в соответствии с общими требованиями и заполнить контрольный лист (Приложение 1).**

При проведении подготовки к проверке исправности задатчиков (редукторов) 1 и 2 необходимо:

1. Вывернуть до нуля ручные задатчики (редуктора) 1б, 2а, 3а, 4а.
2. Включить компрессор.
3. С помощью редуктора 2а подать давление питания  $P_{\text{пит}}$  на прибор, равное 140 кПа (1,4 кгс/см<sup>2</sup>). Давление проконтролировать по техническому манометру 2б.

4. Установить с помощью ручных задатчиков (редукторов) 1б, 3а, 4а по манометрам 1а, 3б, 4б давление  $P_1 = P_2 = P_3 = 20$  кПа. В этом случае  $P_{\text{вых}}$  будет равно 20 кПа, так как  $P_{C1} - P_{C2} = 0$ .

5. Вворачивая винт задатчика (редуктора) 2а, установить по манометру 5 давление на выходе  $P_{\text{вых}} = 0$ .

6. Вворачивая винт задатчика (редуктора) 1б, установить по манометру 5 давление  $P_{\text{вых}} = 20$  кПа.

7. Таким образом после всех этих операций прибор устанавливается в начальное нулевое положение, когда все входные давления и давления, получаемые от задатчиков 1,2, равны 20 кПа.

8. С помощью ручных задатчиков (редукторов) 1б, 3а, 4а по манометрам 1а, 3б и 4б установить последовательно давления в соответствии с таблицами 3 и 4 и записать по манометру 5  $P_{\text{вых}}$ .

9. Оформить отчет о проделанной работе в соответствии с общими требованиями.

Таблица 3

Результаты испытаний и вычислений для функции сложения

| № п/п            | $P_1$ , кПа | $P_3$ , кПа | $P_{\text{вых}}$ , кПа | $P^*_{\text{вых}}$ , кПа | $\Delta$ , кПа | $\varepsilon$ пр., % |
|------------------|-------------|-------------|------------------------|--------------------------|----------------|----------------------|
| 1                | 20          | 20          |                        | 40                       |                |                      |
| 2                | 20          | 30          |                        | 50                       |                |                      |
| 3                | 20          | 40          |                        | 60                       |                |                      |
| 4                | 20          | 50          |                        | 70                       |                |                      |
| 5                | 20          | 60          |                        | 80                       |                |                      |
| 6                | 20          | 70          |                        | 90                       |                |                      |
| 7                | 20          | 80          |                        | 100                      |                |                      |
| Среднее значение |             |             |                        |                          |                |                      |

Таблица 4

Результаты испытаний и вычислений для функции вычитания

| № п.п. | $P_1$ , кПа | $P_3$ , кПа | $P_{\text{вых}}$ , кПа | $P^*_{\text{вых}}$ , кПа | $\Delta$ , кПа | $\varepsilon$ пр., % |
|--------|-------------|-------------|------------------------|--------------------------|----------------|----------------------|
| 1      | 2           | 3           | 4                      | 5                        | 6              | 7                    |
| 1      | 20          | 20          |                        | 40                       |                |                      |
| 2      | 20          | 30          |                        | 50                       |                |                      |

| 1                | 2  | 3  | 4 | 5   | 6 | 7 |
|------------------|----|----|---|-----|---|---|
| 3                | 20 | 40 |   | 60  |   |   |
| 4                | 20 | 50 |   | 70  |   |   |
| 5                | 20 | 60 |   | 80  |   |   |
| 6                | 20 | 70 |   | 90  |   |   |
| 7                | 20 | 80 |   | 100 |   |   |
| Среднее значение |    |    |   |     |   |   |

## Задание 2

### Исследование действий оператора при работе с пневмоэлектрическим преобразователем ППЭ-2 и электропневматическим преобразователем ЭПП-63

**Цель работы** заключается в изучении деятельности обучаемого при выполнении практического задания при работе с пневмоэлектрическим ППЭ-2 и электропневматическим ЭПП-63 преобразователями и проверке их основных погрешностей. Схема лабораторной установки для проверки преобразователей ППЭ-2 и ЭПП-63 представлена на рис. 4.

#### Принцип действия и конструкция преобразователя ППЭ-2

Преобразователь пневмоэлектрический аналоговый ППЭ-2 предназначен для пропорционального преобразования унифицированного пневматического сигнала 20 – 100 кПа в унифицированный электрический сигнал  $0 - 5,0 - 20$  или  $4 - 20$  мА постоянного тока.

#### Принцип действия и конструкция преобразователя ЭПП-63

Преобразователь электропневматический ЭПП-63 служит для преобразования электрического сигнала постоянного тока в пневматический. Входной сигнал прибора – электрический унифицированный токовый в диапазоне  $0 + 5$  мА, выходной – давление сжатого воздуха в диапазоне 20 - 100 кПа.

## **Описание лабораторной установки для проверки работы преобразователей ППЭ-2 и ЭПП-63**

Сжатый воздух от компрессора через соответствующие редуктор давления воздуха РДВ-5 и задатчик давления воздуха П23Д4 подводится к преобразователям (рис. 4). К преобразователю ППЭ-2 подводится переменное напряжение питания 220 В.

Органами управления и индикации установки служат:

- 1а, 1б – соответственно редуктор давления воздуха и технический манометр для подвода и контроля давления питания  $R_{пит}$ .
- 2, 4 – образцовые манометры соответственно для контроля входного давления преобразователя ППЭ-2  $R_{вх}$  и выходного давления преобразователя ЭПП-63  $R_{вых}$ .
- 3 – микроамперметр М266М с шунтом для контроля выходного сигнала преобразователя ППЭ-2.
- 5 – ручной задатчик (редуктор) для подвода давления  $R_{вх}$  на преобразователь ППЭ-2.

### **Порядок выполнения задания**

**При проведении практического занятия произвести хронометраж времени в соответствии с общими требованиями и заполнить контрольный лист (Приложение 1)**

1. Вывернуть до нуля редуктор давления воздуха 1а и ручной задатчик 5.
2. Включить компрессор и подать напряжение питания на преобразователь ППЭ-2.
3. С помощью редуктора давления воздуха 1а по манометру 1б установить давление Питания  $R_{пит}$ . Равное 0,14 Мпа (140 кПа).
4. Плавное вращая ручку задатчика (редуктора) 5, установить поочередно по манометру 2 давление  $R_{вх}$  в соответствии с табл. 6 и соответственно зафиксировать для каждого значения  $R_{вх}$  значение тока  $I$  по микроамперметру с шунтом 3 и значение давления  $R_{вых}$  по манометру 4.
5. Все результаты испытаний и вычислений записать в табл. 5.
6. Составить отчет о выполнении задания.

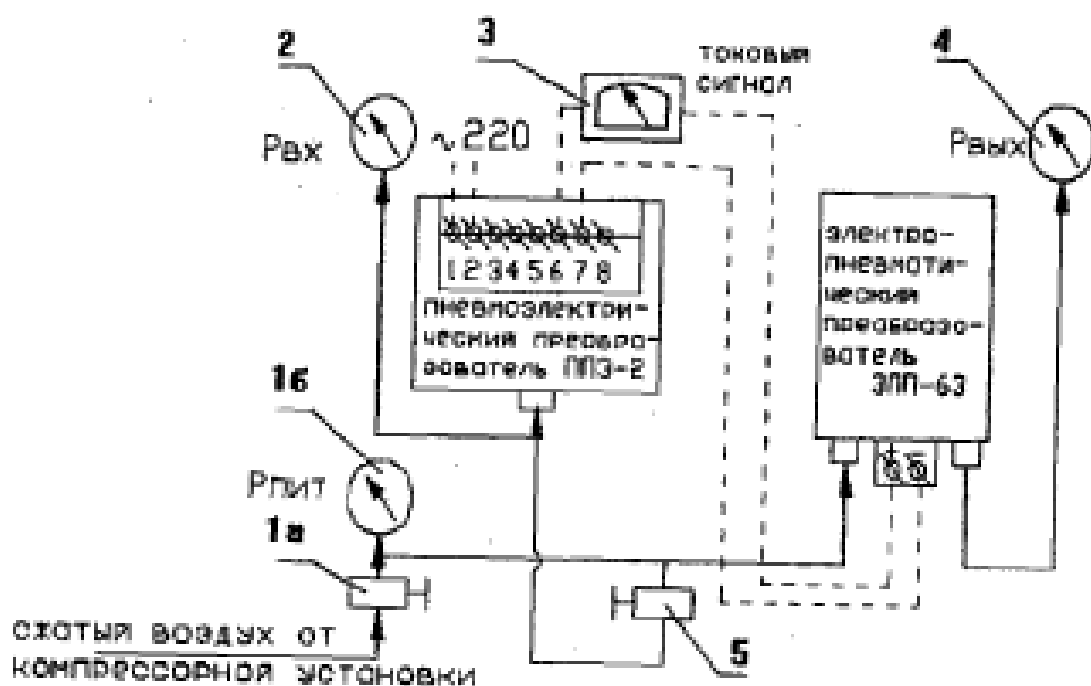


Рис. 4. Схема лабораторной установки для проверки преобразователей ППЭ-2 и ЭПП-63

Таблица 5

Результаты испытаний и вычислений

| № п/п | Р <sub>вх</sub> ,<br>кПа | I, мА | Р <sub>вых</sub> ,<br>кПа | I теор.,<br>мА | Р <sub>вых</sub> ,<br>кПа | ΔI, мА | ΔР <sub>вых</sub> ,<br>кПа | ε 1<br>пр, % | ε 2 пр,<br>% |
|-------|--------------------------|-------|---------------------------|----------------|---------------------------|--------|----------------------------|--------------|--------------|
| 1     | 20                       |       |                           | 0,000          | 20                        |        |                            |              |              |
| 2     | 30                       |       |                           | 0,625          | 30                        |        |                            |              |              |
| 3     | 40                       |       |                           | 1,250          | 40                        |        |                            |              |              |
| 4     | 50                       |       |                           | 1,875          | 50                        |        |                            |              |              |
| 5     | 60                       |       |                           | 2,500          | 60                        |        |                            |              |              |
| 6     | 70                       |       |                           | 3,125          | 70                        |        |                            |              |              |
| 7     | 80                       |       |                           | 3,750          | 80                        |        |                            |              |              |
| 8     | 90                       |       |                           | 4,375          | 90                        |        |                            |              |              |
| 9     | 100                      |       |                           | 5,000          | 100                       |        |                            |              |              |

### Задание 3

#### Исследование действий оператора при работе с нормирующим преобразователем ПТ-ТС-68

**Цель работы** заключается в изучении последовательности выполнения операций при исследовании нормирующего преобразователя ПТ-ТС-68 с целью построения алгоритма деятельности обучаемого, проведении хронометража и последующих расчетов.

Нормирующие преобразователи предназначены для преобразования выходных сигналов датчиков температуры термопреобразователя сопротивления и термоэлектрического преобразователя в унифицированные электрические сигналы постоянного тока 0-5 мА и 4-20 мА.

Полное описание устройства представлено в [1]. Блок-схема лабораторной установки приведена на рис. 5.

**Органами управления** устройством являются ручки-регуляторы магазина сопротивления.

**Органами индикации** является вторичный прибор – миллиамперметр.

При проведении практического задания выполнить следующие операции:

1. С помощью регуляторов магазина сопротивления установить значения сопротивлений всех разрядов магазина сопротивления на «0».
2. Подключить электрическое напряжение 220 В на лабораторную установку.

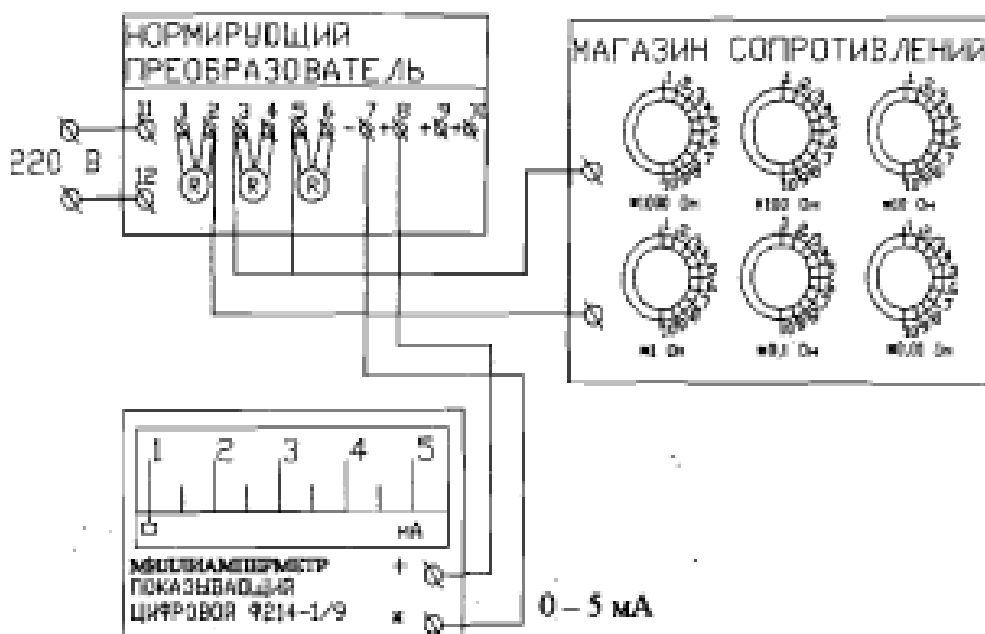


Рис. 5. Блок-схема лабораторной установки

3. Поочередно согласно табл. 6 устанавливать активное сопротивление  $R_{вх}$  на входе преобразователя с помощью магазина сопротивлений и фиксировать значение постоянного тока  $I_{вых}$  на его выходе с помощью миллиамперметра и записать полученные значения выходного сигнала.
4. Произвести пооперационный хронометраж времени выполнения операций и занести полученные значения в контрольный лист (см. Приложение 1).
5. Подготовить отчет в соответствии с общими требованиями по оформлению практического задания.

Таблица 6

Результаты испытаний и вычислений

| $R_{вх}, \text{Ом}$ | $I_{вых.}, \text{мА}$ | $I_{вых. \text{ теор.}}, \text{мА}$ | $\Delta I, \text{мА}$ | $\varepsilon 1 \text{ пр.}, \%$ | $\varepsilon 2 \text{ пр.}, \%$ |
|---------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 100                 |                       | 0                                   |                       |                                 |                                 |
| 107,3               |                       | 0,33                                |                       |                                 |                                 |
| 114,8               |                       | 0,66                                |                       |                                 |                                 |
| 121,7               |                       | 0,96                                |                       |                                 |                                 |
| 128,5               |                       | 1,26                                |                       |                                 |                                 |
| 135,1               |                       | 1,55                                |                       |                                 |                                 |
| 142,9               |                       | 1,89                                |                       |                                 |                                 |
| 149,3               |                       | 2,17                                |                       |                                 |                                 |
| 156,4               |                       | 2,48                                |                       |                                 |                                 |
| 163,2               |                       | 2,78                                |                       |                                 |                                 |
| 170,8               |                       | 3,12                                |                       |                                 |                                 |
| 177,4               |                       | 3,41                                |                       |                                 |                                 |
| 184,2               |                       | 3,70                                |                       |                                 |                                 |
| 191,8               |                       | 4,04                                |                       |                                 |                                 |
| 198,3               |                       | 4,32                                |                       |                                 |                                 |
| 204,2               |                       | 4,58                                |                       |                                 |                                 |
| 211,8               |                       | 4,91                                |                       |                                 |                                 |
| 213,7               |                       | 5,00                                |                       |                                 |                                 |

## Задание 4

### Исследование действий оператора при работе с мембранным пневматическим приводом МПП-16

**Цель работы** заключается в изучении последовательности выполнения операций при исследовании и проверке мембранного пневматического привода типа МПП-16.

Пневматические исполнительные механизмы предназначены для преобразования входного сигнала давления, поступающего от регулирующего или командного прибора в перемещение регулирующего органа, который изменяет приток или сток вещества энергии в объект управления. Пневматический исполнительный механизм (ПИМ) состоит из привода, воспринимающего командный сигнал давления, и регулирующего органа. В лабораторном стенде для наглядности и осуществления контроля за работой ИМ установлен указатель, показывающий отклонение привода МПП-16 при его работе. Указатель является сигнализатором положения привода МПП-16. Схема лабораторной установки мембранного пневмопривода МПП-16 представлена на рис. 6, где орган управления – редуктор подачи воздуха на установку 1; органы сигнализации – показывающий манометр 2 и указатель положения привода с нанесенной шкалой 4.

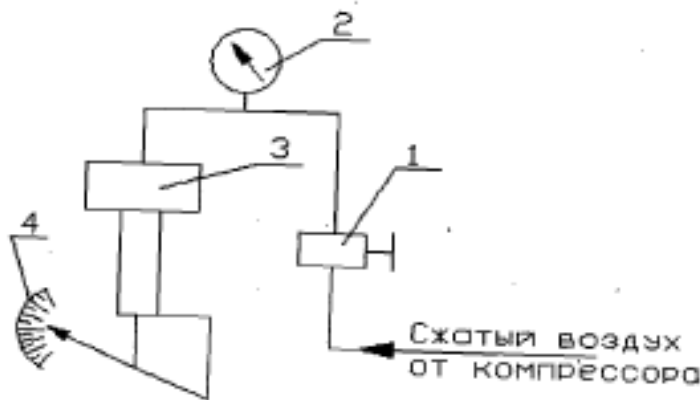


Рис. 6. Схема лабораторной установки мембранного пневмопривода МПП-16

### Порядок выполнения практического задания

При проведении практического занятия произвести хронометраж времени в соответствии с общими требованиями и заполнить контрольный лист (Приложение 1).

1. Включить компрессор.
2. С помощью ручного редуктора 1 установить давление  $P = 20$  кПа. Контроль по манометру 2.

3. Для каждого значения  $P_{вх}$ , начиная с 20 кПа до 100 кПа через интервал, равный 5 кПа, фиксировать угол поворота указателя по угловой шкале 4.
4. Данные прямого хода МПП занести в табл. 7.
5. Плавно снижая давление воздуха редуктором 1, фиксировать для тех же значений давления  $P_{вх}$  углы поворота указателя при обратном ходе.
6. Все результаты испытаний для обратного хода МПП занести в табл. 7.
7. Подготовить отчет в соответствии с общими требованиями по оформлению практического задания.

Таблица 7

Результаты испытаний и вычислений

| № п/п | $P_{вх}$ , кПа | $\varphi$ п.х.,<br>град | $\varphi$ обр.х.,<br>град | $\Delta \varphi$ , град | $\beta$ , % | $\beta$ , % |
|-------|----------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------|-------------|
| 1     | 20             |                         |                           |                         |             |             |
| 2     | 25             |                         |                           |                         |             |             |
| 3     | 30             |                         |                           |                         |             |             |
| 4     | 35             |                         |                           |                         |             |             |
| 5     | 40             |                         |                           |                         |             |             |
| 6     | 45             |                         |                           |                         |             |             |
| 7     | 50             |                         |                           |                         |             |             |
| 8     | 55             |                         |                           |                         |             |             |
| 9     | 60             |                         |                           |                         |             |             |
| 10    | 65             |                         |                           |                         |             |             |
| 11    | 70             |                         |                           |                         |             |             |
| 12    | 75             |                         |                           |                         |             |             |
| 13    | 80             |                         |                           |                         |             |             |
| 14    | 85             |                         |                           |                         |             |             |
| 15    | 90             |                         |                           |                         |             |             |
| 16    | 95             |                         |                           |                         |             |             |
| 17    | 100            |                         |                           |                         |             |             |

### Библиографический список

1. Пневматические и преобразующие устройства автоматических систем контроля и управления: лабораторный практикум/ Г.П. Буйлов, В.Н. Остроумов, М.И. Щагина; СПб ГТУРП. – СПб., 2007.- 58 с.
2. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания: справочник / А.Н. Адаменко, А.Т. Ашеро́в, и др.; под общ. ред. А.И. Губинского и В.Г. Евграфова. – М.: Машиностроение, 1993.- 528 с.
3. Рожков В.И., Лахай А.А. Особенности проектирования интерфейса АСУ газораспределительной сети мегаполиса с учетом эргономических требований: материалы международной научно-технической конференции молодых ученых, специалистов в области целлюлозно-бумажной промышленности.- СПб.: ВШТЭ СПб ГУПТД. – СПб, 2018.- С. 26-31.
4. Шибанов Г.П. Количественная оценка деятельности человека в системах «человек-техника».- М.: Машиностроение, 1983.- 263 с.
5. Лавров Е. Компьютерная технология моделирования дискретного человеко-машинного взаимодействия: инструкция пользователя. - Сумы, Сумский ГУ, 2018.- 34 с.

# Приложения

Приложение 1

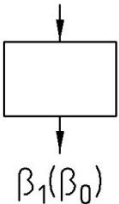
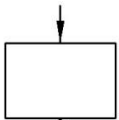
## Контрольный лист

По практическому заданию \_\_\_\_\_  
Студент \_\_\_\_\_ группа \_\_\_\_\_

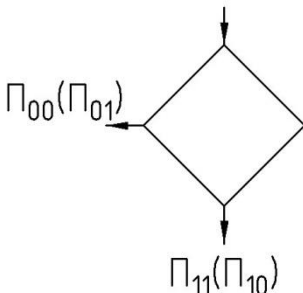
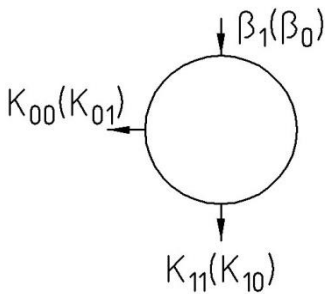
| Номер операции | Действия оператора | Время выполнения операции | Количество ошибок |
|----------------|--------------------|---------------------------|-------------------|
| 1              |                    |                           |                   |
| 2              |                    |                           |                   |
| 3              |                    |                           |                   |
| 4              |                    |                           |                   |
| 5              |                    |                           |                   |
| 6              |                    |                           |                   |
| 7              |                    |                           |                   |
| 8              |                    |                           |                   |
| 9              |                    |                           |                   |
| 10             |                    |                           |                   |
| 11             |                    |                           |                   |
| 12             |                    |                           |                   |
| 13             |                    |                           |                   |
| 14             |                    |                           |                   |
| 15             |                    |                           |                   |
| 16             |                    |                           |                   |
| 17             |                    |                           |                   |
| 18             |                    |                           |                   |
| 19             |                    |                           |                   |

Контролер \_\_\_\_\_ дата \_\_\_\_\_

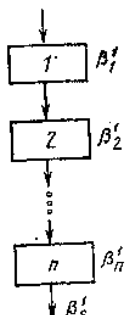
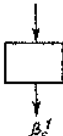
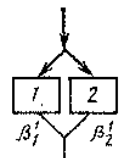
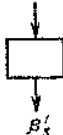
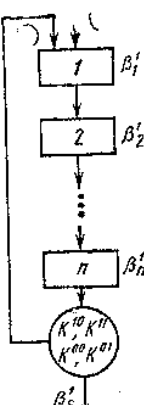
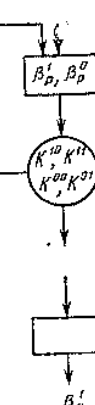
Основные типовые функциональные единицы ОСМ

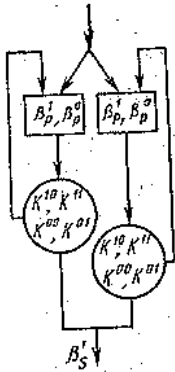
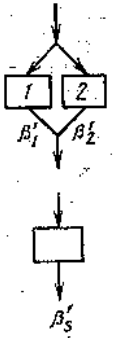
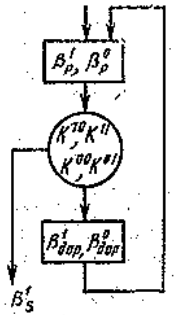
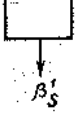
| Функциональная единица деятельности и ее графическое изображение                                     | Характеристики безошибочности                                                         |                      | Характеристики быстродействия              |                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------|----------------------|
|                                                                                                      | название                                                                              | условное обозначение | название                                   | условное обозначение |
| <p>Рабочая</p>      | Вероятность безошибочного выполнения                                                  | $\beta_1$            | Математическое ожидание времени выполнения | $M(T)$               |
|                                                                                                      | Вероятность выполнения с ошибкой                                                      | $\beta_0$            | Дисперсия времени выполнения               | $D(T)$               |
| <p>Логическая</p>  | Вероятность безошибочного выбора исхода I при фактической необходимости его выбора    | $\beta_{11}$         |                                            |                      |
|                                                                                                      | Вероятность ошибочного выбора исхода II при фактической необходимости выбора исхода I | $\beta_{12}$         | Математическое ожидание времени выполнения | $M(T)$               |
|                                                                                                      | Вероятность безошибочного выбора исхода II при фактической необходимости его выбора   | $\beta_{22}$         | Дисперсия времени выполнения               | $D(T)$               |
|                                                                                                      | Вероятность ошибочного выбора исхода I при фактической необходимости выбора исхода II | $\beta_{21}$         |                                            |                      |
| <p>Задержка</p>   | Вероятность безошибочного перехода к задержке                                         | $\beta_1$            | Математическое ожидание времени выполнения | $M(T)$               |
|                                                                                                      | Вероятность ошибочного перехода к задержке                                            | $\beta_0$            | Дисперсия времени выполнения               | $D(T)$               |

## Окончание Приложения 2

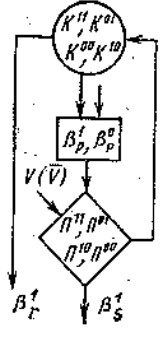
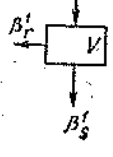
|                                                                                                                   |                                                                                                |          |                                                                      |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <p>Диагностический контроль</p>  | Вероятность признания техники исправной при фактической ее исправности                         | $P_{11}$ | Математическое ожидание времени выполнения                           | $M(T)$    |
|                                                                                                                   | Вероятность признания техники неисправной при фактической ее исправности                       | $P_{10}$ | Дисперсия времени выполнения                                         | $D(T)$    |
|                                                                                                                   | Вероятность признания техники неисправной при фактической ее неисправности                     | $P_{00}$ | Вероятность нахождения техники в исправном состоянии                 | $\beta_1$ |
|                                                                                                                   | Вероятность признания техники исправной при фактической ее неисправности                       | $P_{01}$ | Вероятность нахождения техники в неисправном состоянии               | $\beta_0$ |
| <p>Функциональный контроль</p>  | Вероятность признания выполнения единиц правильным при фактически правильном их выполнении     | $K_{11}$ | Математическое ожидание времени выполнения                           | $M(T)$    |
|                                                                                                                   | Вероятность признания выполнения единиц неправильным при фактически правильном их выполнении   | $K_{10}$ | Дисперсия времени выполнения                                         | $D(T)$    |
|                                                                                                                   | Вероятность признания выполнения единиц неправильным при фактически неправильном их выполнении | $K_{00}$ | Вероятность без ошибочного выполнения единиц, которые контролируются | $\beta_1$ |
|                                                                                                                   | Вероятность при знания выполнения единиц правильным при фактически неправильном их выполнении  | $K_{01}$ | Вероятность ошибочного выполнения единиц, которые контролируются     | $\beta_0$ |

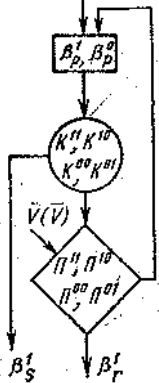
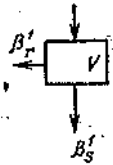
Основные формулы для расчета ТФЕ ОСМ

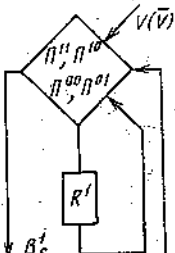
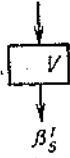
| № по пор. | Название блока                                                                                           | Графическое изображение                                                             | Эквивалентная структура                                                             | Расчетные зависимости                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1         | Блок последовательно выполняемых основных (рабочих) единиц                                               |    |    | $\beta_s^1 = \prod_{i=1}^n \beta_i^1;$ $\beta_s^0 = 1 - \beta_s^1;$ $M(T) = \sum_{i=1}^n M(T_i);$ $D(T) = \sum_{i=1}^n D(T_i)$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 2         | Блок параллельно выполняемых основных (рабочих) единиц с окончанием по выполнению одной из них или обеих |   |   | $\beta_s^1 = \beta_1^1 \beta_2^1;$ $\beta_s^0 = 1 - \beta_s^1;$ $T = \min [T_1, T_2]$ <p>или</p> $T = \max [T_1, T_2].$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 3         | Блок последовательно выполняемых основных (рабочих) единиц с единым функциональным контролем (РК1)       |  |  | $\beta_s^1 =$ $= \frac{\beta_p^1 K^{11}}{1 - (\beta_p^1 K^{10} + \beta_p^0 K^{00})};$ $\beta_s^0 = 1 - \beta_s^1; \quad M(T) =$ $= [M(T_p) + M(T_\Phi)] \times$ $\times M(L),$ <p>где <math>M(L) =</math></p> $= \frac{1}{1 - (\beta_p^1 K^{10} + \beta_p^0 K^{00})};$ <p><math>L</math> — число циклов;</p> $D(T) = D(L) [M(T_p) +$ $+ M(T_\Phi)]^2 + [D(T_p) +$ $+ D(T_\Phi)] M(L),$ <p>где <math>DL =</math></p> $= \frac{\beta_p^1 K^{10} + \beta_p^0 K^{00}}{[1 - (\beta_p^1 K^{10} +$ $+ \beta_p^0 K^{00})]^2}.$ |

| № по пор. | Название блока                                                                                     | Графическое изображение                                                             | Эквивалентная структура                                                             | Расчетные зависимости                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4         | Блок параллельно выполняемых основных (рабочих) единиц с раздельным функциональным контролем (РК2) |    |    | Значения показателей функциональной надежности определяются путем последовательного применения формул п. 3 к блокам типа РК1, а затем формул п. 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 5         | Блок РК1 с доработкой (РК3)                                                                        |  |  | $\beta_s^1 = \frac{\beta_p^1 K^{11} (1 - K^{00} \beta_{дор}^0)}{K^{01} + \beta_p^1 \beta_{дор}^1 \times (K^{11} - K^{01})};$ $\beta_s^0 = 1 - \beta_s^1;$ $M(T) = \{ [(1 - K^{00} \beta_{дор}^0) + \beta_{дор}^0 \times (\beta_p^1 K^{10} + \beta_p^0 K^{00})] \times M(T_p) + [\beta_p^1 (1 - \beta_{дор}^0 K^{00}) + (\beta_p^0 + \beta_p^1 \beta_{дор}^0 K^{10})] \times M(T_\phi) + (\beta_p^1 K^{10} + \beta_p^0 K^{00}) M(T_{дор}) \} \times \frac{1}{K^{01} + \beta_p^1 \beta_{дор}^1 \times (K^{11} - K^{01})}.$ |

| № по пор. | Название блока                                                                      | Графическое изображение | Эквивалентная структура | Расчетные зависимости                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6         | Блок с предварительным диагностическим и последующим функциональным контролем (ДРК) |                         |                         | $\beta_s^1 = \frac{V \Pi^{11} \beta_p^1 K^{11}}{1 - \Pi^{11} (\beta_p^1 K^{10} + \beta_p^0 K^{00})};$ $\beta_r^1 = \frac{\bar{V} \Pi^{00}}{1 - \Pi^{11} (\beta_p^1 K^{10} + \beta_p^0 K^{00})};$ $M(T) = [M(T_p) + M(T_\Phi)] + [M(T_p) + M(T_\Phi) + M(T_d)] \times M(L), \text{ где } M(L) = \frac{1}{1 - \Pi^{11} (\beta_p^1 K^{10} + \beta_p^0 K^{00})};$ $D(T) = D(T_p) + D(T_\Phi) + [M(T_p) + M(T_\Phi) + M(T_d)]^2 \times D(L) + [D(T_p) + D(T_\Phi)] M(L);$ <p>где <math>D(L) = \frac{\Pi^{11} (\beta_p^1 K^{10} + \beta_p^0 K^{00})}{[1 - \Pi^{11} (\beta_p^1 K^{10} + \beta_p^0 K^{00})]^2}.</math></p> |

| № по. пор. | Название блока                                          | Графическое изображение                                                             | Эквивалентная структура                                                             | Расчетные зависимости                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7          | Блок с диагностическим и функциональным контролем (РДК) |  |  | $\beta_s^1 = \frac{V \beta_p^1 \Pi^{11}}{1 - (\beta_p^1 \Pi^{10} K^{10} + \beta_p^0 \Pi^{00} K^{00})}$ $\beta_r^1 = \frac{\bar{V} (\beta_p^1 \Pi^{00} K^{11} + \beta_p^0 \Pi^{00} K^{01})}{1 - (\beta_p^1 \Pi^{10} K^{10} + \beta_p^0 \Pi^{00} K^{00})}$ $M(T) = M(T_p) + M(T_d) + [M(T_p) + M(T_\Phi)] M(L),$ <p>где <math>M(L) =</math></p> $= \frac{1}{1 - (\beta_p^1 \Pi^{10} K^{10} + \beta_p^0 \Pi^{00} K^{00})}$ $D(T) = D(T_p) + D(T_d) + [M(T_p) + M(T_\Phi) + M(T_d)]^2 D(L) + [D(T_p) + D(T_d)] \times M(L),$ <p>где <math>D(L) =</math></p> $= \frac{\beta_p^1 \Pi^{10} K^{10} + \beta_p^0 \Pi^{00} K^{00}}{[1 - (\beta_p^1 \Pi^{10} K^{10} + \beta_p^0 \Pi^{00} K^{00})]^2}$ |

| № по пор. | Название блока                                          | Графическое изображение                                                             | Эквивалентная структура                                                             | Расчетные зависимости                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8         | Блок с функциональным и диагностическим контролем (РКД) |  |  | $\beta_s^1 = \frac{V \beta_p^1 K^{11}}{1 - \Pi^{11} (\beta_p^1 K^{10} + \beta_p^0 K^{00})};$ $\beta_r^1 = \frac{\bar{V} \Pi^{00} (\beta_p^1 K^{10} + \beta_p^0 K^{00})}{1 - \Pi^{01} (\beta_p^1 K^{10} + \beta_p^0 K^{00})};$ $M(T) = [M(T_p) + M(T_\Phi) + M(T_d)] M(L), \text{ где}$ $M(L) = \frac{1}{1 - \Pi^{11} (\beta_p^1 K^{10} + \beta_p^0 K^{00})};$ $D(T) = D(T_p) + D(T_\Phi) + [M(T_\Phi) + M(T_p) + M(T_d)]^2 \times$ $\times D(L) + [D(T_p) + D(T_\Phi)] M(L),$ <p>где <math>D(L) =</math></p> $= \frac{\Pi^{11} (\beta_p^1 K^{10} + \beta_p^0 K^{00})}{[1 - \Pi^{11} (\beta_p^1 K^{10} + \beta_p^0 K^{00})]^2}$ |

| № по пор. | Название блока                                                                                | Графическое изображение                                                             | Эквивалентная структура                                                             | Расчетные зависимости                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 9         | Блок диагностического контроля с восстановлением и повторением диагностического контроля (ДР) |  |  | $\beta_s^1 = V\Pi^{11} + R^1\Pi^{11} \times$ $\times \frac{(V\Pi^{10} - \bar{V}\Pi^{00})}{1 - R^1\Pi^{10} - R^0\Pi^{00}},$ <p>где <math>R^1</math> — вероятность восстановления работоспособности за один восстановительный цикл;</p> $\beta_s^0 = 1 - \beta_s^1; R^0 =$ $= 1 - R^1;$ $M(T) = \frac{V\Pi^{11}}{\beta_s^1} M(T_d) +$ $+ \frac{\beta_s^1 + V\Pi^{11}}{\beta_s^1} M(T_L);$ $M(T_L) = [M(T_R) +$ $+ M(T_d)] M(L),$ <p>где <math>M(L) =</math></p> $= \frac{1}{1 - R^1\Pi^{10} - R^0\Pi^{00}};$ $D(T) = \frac{V\Pi^{11}}{\beta_s^1} D(T_d) +$ $+ D(T_L) \frac{\beta_s^1 - V\Pi^{11}}{\beta_s^1} \times$ $\times D(T_L), \text{ где } D(T_L) =$ $= D(L) [M(T_R) +$ $+ M(T_d)]^2 + [D(T_R) +$ $+ D(T_d)] M(L);$ $D(L) =$ $= \frac{R^1\Pi^{10} + R^0\Pi^{00}}{(1 - R^1\Pi^{10} - R^0\Pi^{00})^2}$ |

| № по пор. | Название блока                                                                             | Графическое изображение | Эквивалентная структура | Расчетные зависимости                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10        | Блок, состоящий из блока $W$ (под которым понимается или ДРК, или РДК, или РКД) и блока ДР |                         |                         | $\beta_s^1 = \beta_w^1 +$ $+ \frac{\beta_r^1 + \beta_r^0}{1 - R^1 \Pi^{10} - R^0 \Pi^{00}} \times$ $\times R^1 \Pi^{11};$ $M(T) = \frac{\beta_w^1}{\beta_s^1} M(T_w) +$ $+ \frac{\beta_s^1 - \beta_w^1}{\beta_s^1} M(T_L);$ $D(T) = \frac{\beta_w^1}{\beta_s^1} D(T_w) +$ $+ \frac{\beta_s^1 - \beta_w^1}{\beta_s^1} D(T_L);$ <p><math>M(T_L)</math> и <math>D(T_L)</math><br/>определяются по формулам п. 9</p> |

*Форма титульного листа отчета по выполнению практического задания*

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна»**

---

**Высшая школа технологии и энергетики**

**Кафедра автоматизации технологических процессов и производств**

**Тема: *Указывается тема работы***

Выполнил (а): студент (ка) гр. № \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

Проверил: преподаватель \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

Санкт-Петербург

20\_\_г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                                                                                                            | 3  |
| Общие требования к оформлению отчета.....                                                                                                                | 5  |
| Проведение практических занятий .....                                                                                                                    | 6  |
| Пример выполнения практического задания.....                                                                                                             | 8  |
| Перечень практических заданий .....                                                                                                                      | 12 |
| Задание 1. Исследование действий оператора при работе с прибором алгебраического суммирования ПФ1.1.....                                                 | 12 |
| Задание 2. Исследование действий оператора при работе с пневмо-электрическим преобразователем ППЭ-2 и электропневматическим преобразователем ЭПП-63..... | 15 |
| Задание 3. Исследование действий оператора при работе с нормирующим преобразователем ПТ-ТС-68.....                                                       | 18 |
| Задание 4. Исследование действий оператора при работе с мембранным пневматическим приводом МПП-16.....                                                   | 20 |
| Библиографический список.....                                                                                                                            | 22 |
| Приложения.....                                                                                                                                          | 23 |
| Приложение 1. Контрольный лист.....                                                                                                                      | 23 |
| Приложение 2. Основные типовые функциональные единицы ОСМ..                                                                                              | 24 |
| Приложение 3. Основные формулы для расчета ТФЕ ОСМ.....                                                                                                  | 26 |
| Приложение 4. Форма титульного листа отчета по выполнению практического задания.....                                                                     | 33 |

Учебное издание

**Владимир Иванович Рожков**

**Эргономика в автоматизированных системах управления  
технологическими процессами  
целлюлозно-бумажной промышленности**  
Учебно-методическое пособие

Редактор и корректор Т.А. Смирнова

Техн. редактор Л.Я. Титова

Тем. план 2018 г., поз.111

Подп. к печати 21.01.2019

Формат 60х84/16.

Бумага тип.№ 1. Печать офсетная.

Объем 2,25 печ.л.

2,25 уч. - изд. л.

Тираж 150 экз. Изд.№ 111. Цена «С». Заказ

Ризограф Высшей школы энергетики и технологии Санкт-Петербургского  
государственного университета промышленных технологий и дизайна, СПб.,  
198095, ул. Ивана Черных. д. 4