

**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

В. И. Рожков

Эргономика в АСУ ТП

**Учебно-практическое пособие
Часть 2**



**Санкт-Петербург
2019**

УДК 331.101.1(075)
ББК 30.606
Э748

Эргономика в АСУ ТП: учебно-практическое пособие. / сост. В.И. Рожков; ВШТЭ СПбГУПТД, 2019, ч.2 - 34 с.

В учебно-практическом пособии дано краткое описание формализации деятельности человека-оператора в человеко-машинных системах, приведен перечень контрольных работ и практических заданий по эргономике, по разработке алгоритмов деятельности операторов, обслуживающих аппаратуру АСУ ТП, проведению расчетов по показателям качества и эффективности деятельности человека-оператора и эргономической оценке информационных моделей средств отображения информации АСУ ТП. Предназначено для студентов очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» и 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Рецензенты:

профессор кафедры информационных систем СПбГЭТУ «ЛЭТИ», д-р техн. наук П.И. Падерно, заслуженный деятель науки РФ;

профессор, зав. кафедрой информационно-измерительных технологий и систем управления ВШТЭ, канд. техн. наук В.И. Сидельников.

Подготовлено и рекомендовано к печати кафедрой автоматизации технологических процессов и производств Института энергетики и автоматизации Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД (протокол № 3 от 07 марта 2019 г.)

Утверждено к изданию методической комиссией Высшей школы технологии и энергетики СПб ГУПТД (протокол № 7 от 04 апреля 2019 г.)

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД в качестве учебно-практического пособия.

© Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, 2019

© Рожков В.И., 2019

Редактор и корректор Т.Я. Смирнова

Техн. редактор Л.Л. Титова

Тем. план 2019 г., поз.42

Подп. к печати 27.06.19. Формат 60х84/16. Бумага тип. № 1,

Печать офсетная. Объем 2,0 печ.л. 2,0 уч. изд. л.

Тираж 150 экз. Изд.№ 42. Цена «С». Заказ.

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

Введение

Для совершенствования практических навыков в процессе изучения дисциплин эргономического направления студентам очной и заочной форм обучения предлагается выполнить контрольные работы и ряд практических заданий. Время для ознакомления с материалами по данным работам, подготовкой к их выполнения, проведение необходимых построений алгоритмов деятельности (АД) и расчета итоговых параметров в соответствии с рабочей программой дисциплины составляет 10 часов. В это время входит и консультации.

В рамках рабочей программы дисциплины студентам читается курс лекций, направленных на изучение научных основ эргономики, изучение деятельности операторов АСУ ТП в различных областях промышленности и энергетики, показаны направления исследований и работ, направленных на улучшение качества деятельности человека-оператора в системах «человек-машина» (СЧМ), пути улучшения производственной среды, в которой работает человек.

Все эргономические разработки и исследования направлены на повышение качества функционирования техники и улучшение качества и работы человека в конкретных условиях окружающей среды при обслуживании и управления им работающей техники.

Формализация деятельности человека-оператора в системах человек-машина

Формализация деятельности любого специалиста, являющегося элементом СЧМ, предполагает моделирование трудового процесса. В общем случае полная модель любой деятельности как одного, так и группы специалистов может быть представлена в виде взаимосвязанных между собой частных моделей, описывающих процессы информационного поиска, восприятия информации, принятия решений и их практической реализации (слежения за изменениями технологических параметров АСУ ТП, контролем за работой оборудования, перемещения органов управления и исполнительных органов и т.д.).

При моделировании нужно учитывать специфику трудового процесса, состоящего из различных блоков операций, их взаимосвязь, точность и время выполнения операций, учитывать эмоциональное состояние операторов и функциональное состояние обслуживаемой техники.

Математические модели, используемые в настоящее время для формализации деятельности операторов СЧМ, можно классифицировать по функциональному назначению и по принципу построения. *При классификации по функциональному назначению* модели можно разделить следующим образом:

- Информационного поиска и восприятия информации
- Принятия решений
- Наблюдения за процессом
- Оценки качества и эффективности деятельности
- Групповой операторской деятельности
- Контроля работоспособности и технического диагностирования и др.

При классификации по принципу построения модели можно разделить на следующие:

- Регрессионные
- Теоретико-вероятностные
- Структурные
- Функционально-системные
- Структурно-алгоритмические и др. [2, с.89].

В данном учебном пособии будут рассматриваться структурные модели с целью оценки качества и эффективности деятельности операторов СЧМ.

Надежность деятельности человека в СЧМ определяется надежностью организма человека и надежностью выполнения человеком функций по управлению техническими средствами в СЧМ и их обслуживанию. При этом надежность деятельности человека обычно представляется в виде структурной и функциональной надежности. Под **структурной надежностью** понимается свойство человека сохранять работоспособность в течение заданного времени в определенных условиях. **Функциональная надежность** определяется как свойство человека выполнять предписанные функции в соответствии с заданными требованиями в течение того же времени и в тех же условиях. Эта надежность позволяет оценить качество деятельности человека в конкретных системах СЧМ.

При анализе процесса выполнения человеком своих функций в СЧМ одним из показателей качества деятельности является число безошибочно выполненных операций или программность. Поскольку ошибки обусловлены вариабельностью характеристик человека, показатель программности должен носить вероятностный характер. При наложении ограничений на количество ошибок показатель программности приобретает надежностный смысл. Составляющую функциональной надежности,

характеризующую свойство человека выполнять предписанные функции в соответствии с заданной программой, принято называть функционально-программной надежностью [3].

Так как время выполнения отдельных операций – величина случайная, то другим показателем качества выполнения функций будет **быстродействие**. При наложении ограничений на время выполнения человеком операций показатель своевременности приобретает надежность смысл. Составляющую функциональной надежности, характеризующую свойство человека выполнять предписанные функции в заданные интервалы времени, называют **функционально-временной надежностью**.

Показателем качества деятельности человека является точность выполнения им предписанных функций. Составляющую функциональной надежности, характеризующей свойство человека выполнять предписанные функции с заданной точностью, называют **функционально-параметрической надежностью**.

При оценке упомянутых выше составляющих функциональной надежности следует исходить из того, что любая деятельность человека в СЧМ может быть описана трехуровневой системой:

- Нижний уровень представлен операционными единицами
- Средний уровень – функциональными единицами
- Верхний уровень – программными единицами.

Под операционной единицей понимают отдельный психофизиологический акт или комбинацию, до которой расчленяются действия или деятельность.

Совокупность операционных единиц, представляющая собой в структуре деятельности человека функционально-самостоятельный блок операций, составляет функциональную единицу, а группа или комбинация функциональных единиц, объединенных в технологическом или смысловом соотношении в законченную программу, составляет программную единицу.

Показателями функционально-программной надежности операционных единиц является вероятность безошибочного (β^1) и ошибочного ($\beta^0=1-\beta^1$) выполнения операций, а показателями функционально-временной надежности операционных единиц – вероятность своевременного выполнения операций, т.е. выполнения ее за время t , не превышающее предельно допустимое время τ :

$$\beta^1(\tau)=P\{t\leq\tau\}$$

и вероятность несвоевременного выполнения операций $\beta^0(\tau)= [1- \beta^1(\tau)]$.

В качестве предельного закона распределения случайной величины – времени, затрачиваемого на выполнение единицы деятельности, может быть

принято гамма-распределение, где параметры распределения выражаются через моменты:

$$\alpha = \frac{M(T)}{D(T)}; \quad \beta = \frac{M(T)}{D(T)}.$$

где α – параметр, определяющий форму кривой распределения; β – масштабный коэффициент.

При больших параметрах α ($\alpha > 10...12$) в качестве предельного закона распределения времени, затрачиваемого на выполнение единицы деятельности, можно использовать нормальный закон. Таким образом, для определения показателей функционально-временной надежности необходимо знать математическое ожидание и дисперсию времени выполнения единиц деятельности.

Количественные показатели надежности человека на уровнях функциональных и программных единиц могут быть получены на основании анализа структуры его деятельности. Такой анализ реализуется в следующем порядке [3]:

- Деятельность человека декомпозируется на программные, функциональные и операционные единицы
- Экспериментальным путем определяют надежность показатели операционных единиц (безошибочность и время выполнения операций)
- Через известные характеристики декомпозированных элементов вычисляют надежность показатели деятельности на уровне программ.

При декомпозиции деятельности вначале выделяют основные блоки операций, при невыполнении или ошибочном выполнении хотя бы одного из которых цель не будет достигнута. Затем выделяют вспомогательные функциональные единицы, т.е. блоки операций, введение которых в структуру деятельности обусловлено требованием увеличения вероятности безошибочного выполнения операций и необходимости в которых не было бы при идеально надежной работе человека и технических средств.

Основные функциональные единицы деятельности и их характеристики безошибочности и быстродействия приведены в Приложении 2, а формулы, по которым производится расчет количественных значений функциональных блоков, в Приложении 3.

В соответствии с Приложением 2 к основным функциональным единицам относятся рабочие блоки операций, логические или альтернативные блоки и блоки операций задержки, а к вспомогательным – блоки операций, обеспечивающих диагностический и функциональный контроль.

Под **сенсорной единицей деятельности** понимают блок операций, описывающий функционирование человека по восприятию (считыванию) информации с помощью зрительного, слухового и других сенсорных входов.

Моторная единица – это блок операций, предусматривающий реализацию механических и речевых воздействий на органы управления, регулировки и т.д.

Логическая (альтернативная) единица представляет собой блок операций, описывающий процесс выбора человеком одной из двух или нескольких альтернатив на основании анализа информации, отображаемой различными средствами.

Блок операций задержки является функциональной единицей, предусматривающей предписанной инструкцией ожидание человеком момента, с которого он должен начать или продолжить выполнение своего алгоритма. Эта функциональная единица включает операции выдержки, необходимой для «переключения» человека на новый вид деятельности или выполнения новых операций, а также время ожидания, пока произойдет отработка необходимых функций используемыми техническими средствами.

Функциональный контроль включает реализуемые человеком операции по установлению правильности выполнения определенной основной единицы или нескольких основных единиц. В СЧМ с одним оператором эта функциональная единица означает контроль оператором своей собственной деятельности, а в системах с несколькими взаимосвязанными операторами – либо самоконтроль, либо контроль другого, чаще всего подчиненного оператора.

При производстве расчетов показателей качества функционирования алгоритма деятельности оператора при проведении функционального контроля следует помнить следующее правило (см. Приложение 2):

$$\Pi^{11} + \Pi^{01} = 1 \quad \text{и} \quad \Pi^{00} + \Pi^{10} = 1$$

Диагностический контроль представляет собой выполняемую специалистом последовательность операций по установлению работоспособности технических средств, с которыми этот специалист взаимодействует в данной СЧМ.

При производстве расчетов показателей качества функционирования алгоритма деятельности оператора при проведении диагностического контроля следует помнить следующее правило:

$$K^{11} + K^{01} = 1 \quad \text{и} \quad K^{00} + K^{10} = 1$$

Декомпозиции деятельности на функциональные и операционные единицы должно предшествовать составление алгоритма деятельности (АД) оператора в описательной форме с изложением всех действий специалиста и указанием порядка их выполнения в зависимости от тех или иных условий. Для функционирующей СЧМ такой алгоритм составляется на основании инструкции и руководства по эксплуатации, а для проектируемой - на основе предыдущего опыта проектирования образца или аналога с соответствующими изменениями и дополнениями, связанными с особенностями новой проектируемой СЧМ.

При декомпозиции дробление деятельности выполняется «сверху вниз», т.е. начинается с выделения программных единиц, которые впоследствии декомпозируются на функциональные единицы, и, наконец, для определения показателей надежности функционирования единиц каждая из них представляется в виде совокупности операционных единиц.

Переход от словесного описания программы или АД к формализованной записи заканчивается составлением структуры деятельности на уровне операционных единиц, для которых могут быть заданы количественные характеристики надежности их выполнения. Если деятельность человека в данной СЧМ неясна до уровня операционных единиц, то структура составляется до уровня функциональных единиц в виде совокупности типовых блоков, для которых известны аналитические выражения по определению характеристик функционально-программной и функционально-временной надежности.

Указанные типовые блоки и расчетные зависимости для определения их характеристик приведены в Приложении 3, где приняты следующие обозначения:

β_{s1} , β_{s0} соответственно вероятность безошибочного и ошибочного выполнения эквивалентного блока

β_{r1} , β_{r0} соответственно вероятность безошибочного и ошибочного перехода на ремонт

T_p , T_f , T_d – соответственно время выполнения основных (рабочих) единиц, функционального и диагностического контроля

T_L – время выполнения L циклов повторения

T_R - время выполнения ремонта техники

$T_{дор}$ - время выполнения доработки в процессе функционального контроля

T_w - время выполнения одного из блоков ДРК, РДК и РКД

где ДРК - выполнение диагностической операции с рабочей операцией с последующим функциональным контролем;

РДК – выполнение рабочей операции с последующим диагностическим и функциональным контролем;

РКД - выполнение рабочей операции с последующим функциональным и диагностическим контролем.

По результатам расчетов АД операторов СЧМ с учетом полученных опытным путем количественных значений показателей надежности выполнения программы деятельности в СЧМ можно сделать вывод о ее соответствии заданным требованиям по надежности человеческого звена.

Общие требования к оформлению отчета

1. На титульном листе должны быть указаны название вуза, кафедры, название работы, фамилия студента и номер группы, год (Приложение 1).
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 типовых функциональных единиц (ТФЕ). Перечень ТФЕ и их характеристики приведен в Приложениях 2 и 3 [2] .
3. Расчеты выполняются ручным способом с применением формул или с помощью программы Excel с помощью формул, представленных в Приложении 3, 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. Сформулировать выводы по проделанной работе.
6. Оформить отчет.

Целями проведения контрольных работ и практических занятий являются:

1. Научить студентов практическому использованию теоретических знаний по темам 3,4 рабочей программы дисциплины «Эргономика в АСУ ТП».
2. Научить студентов использовать принципы алгоритмизации при изучении деятельности человека-оператора в АСУ ТП, правилам построения алгоритмов деятельности с использованием типовых функциональных единиц обобщенного структурного метода.

3. Научить студентов методу расчета АД оператора при выполнении им своих рабочих функций.

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Построение и расчет алгоритма деятельности оператора с использованием информационной модели «Химический реактор»

На рис. 1 представлен химический реактор. В нем реагенты перемешиваются с помощью смесителя. Входные потоки реагентов и выход продукта регулируются входными клапанами А и Б и выходным клапаном В. Соответственно давление в баке контролируется датчиком Д, а температура - датчиком Т. Температура регулируется горячей или холодной водой, подаваемой в окружающий бак - кожух; потоки воды регулируются клапанами Г (горячо) и Х (холодно). Открытие-закрытие клапанов осуществляется дистанционно с панели управления химическим реактором. Контроль состояния датчиков температуры и уровня осуществляется по показаниям мнемосхемы.

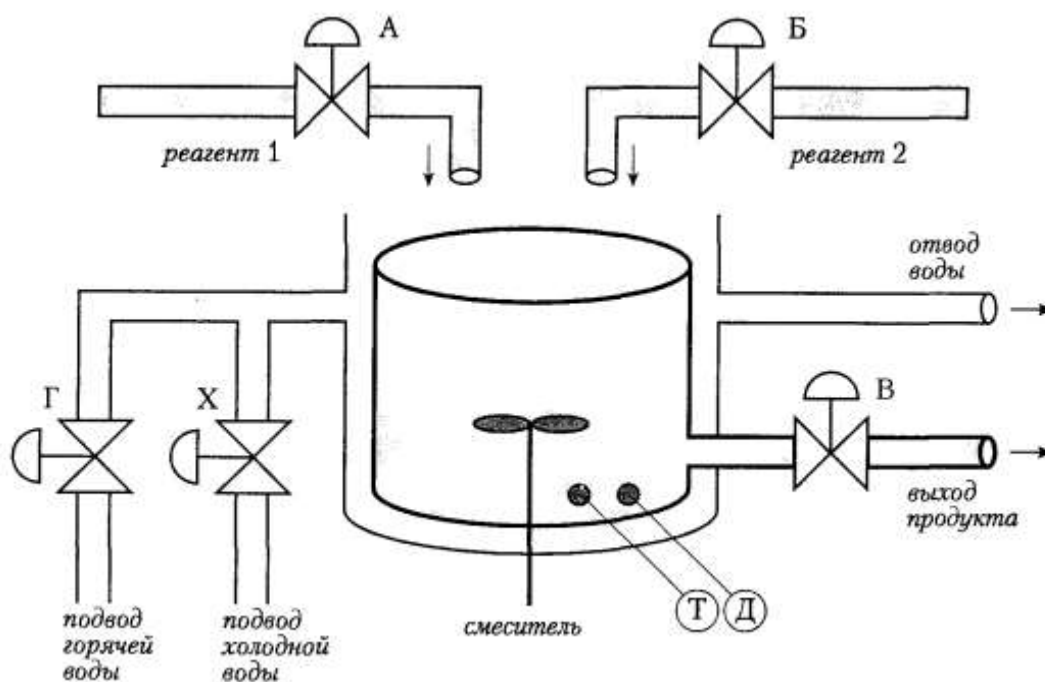


Рис. 1. Схема управления химическим реактором

При работе реактора оператор выполняют следующие операции:

1. Открывает клапан А и заливает в бак реагент 1.
2. Если датчик давления Д показывает, что достигнут требуемый уровень - закрывает клапан А.

3. Запускает смеситель.
4. Открывает клапан Б и заливает в бак реагент 2.
5. Если датчик давления Д показывает, что достигнут новый требуемый уровень, то закрывает клапан Б.
6. Открывает клапан Г для нагрева бака.
7. Если датчик Т показывает, что достигнута требуемая температура, то надо закрыть клапан Г.
8. Установить таймер на время протекания химической реакции.
9. При срабатывании таймера «Время реакции истекло» — останавливает смеситель.
10. Открывает клапан Х для охлаждения бака.
11. Проверяет температуру в баке. Если температура упала ниже заданного предела, то закрывает клапан Х и открывает клапан В для опорожнения бака.

Выполнить контрольную работу в соответствии со следующим заданием:

1. Построить алгоритм деятельности оператора в виде функциональной сети с использованием типовых функциональных единиц (ТФЕ) обобщенного структурного метода в соответствии с приведенным выше описанием.
2. Выбрать из предложенной таблицы 1 количественные значения ТФЕ с применением следующих правил:
 - 2.1. При выборе количественных значений вероятности своевременного и безошибочного выполнения операций β_{11} , показателей K_{11} и K_{01} необходимо произвести следующую процедуру: указанные значения величин **разделить** на величину $1,0pp$, где pp – две последние цифры в номере студенческого билета. (Например: Последние 2 цифры в номере зачетной книжки студента «55». Рассмотрим ТФЕ № 2. Первый параметр в ячейке $B=0,996$. При применении коэффициента 1,055 величина данного параметра для этого студента составит 0,944). Полученные значения записать в соответствующую ячейку для использования в последующем расчете. По остальным параметрам других ТФЕ пересчет производится аналогично.
 - 2.2. При выборе количественных значений параметров времени $M(T)$ и $D(T)$ необходимо выполнить следующую процедуру: указанные значения величин **умножить** на величину $1,0pp$, где pp – две последние цифры в номере студенческого билета. (Например, если характеристика времени выполнения операций по таблице составит 5,0 секунд, при применении данного правила коэффициент пересчета для ТФЕ № 2 будет равен 1,055, то при пересчете время выполнения операций составит 5,28 секунд. Дисперсия

времени выполнения операции в таблице составляет 1,6 секунд, при пересчете она будет иметь величину 1,69 секунд). Полученные новые значения записать в соответствующую ячейку для использования в последующем расчете. По остальным параметрам других ТФЕ пересчет производится аналогично.

3. Произвести расчет итоговых количественных характеристик с применением формул, представленных в Приложении 3 [1,2] в соответствии с предложенной ниже табл. 1.

4. Составить отчет о проделанной работе в следующем виде:

4.1. Заполнить титульный лист (Приложение 1).

4.2. Продублировать описательную часть действий оператора химического реактора.

4.3. Продублировать схему химического реактора.

4.4. Представить перечень ТФЕ с указанием полученных количественных значений параметров ТФЕ в табличном виде (табл. 2).

4.5. Представить в виде распечатки в формате Excel промежуточные и итоговые характеристики полученного АД с указанием последовательности свертки АД. Итоговые значения показателей качества деятельности по полученному алгоритму представлены в табл. 3.

4.6. Сформулировать выводы по расчетам.

4.7. Подготовить отчет о проделанной работе.

Таблица 1. Таблица исходных данных для расчета типовой функциональной структуры (ТФС)

№ ТФЕ	Количественные характеристики ТФЕ				
	Вероятность своевременного и безошибочного выполнения ТФЕ, B^{11}	Время выполнения операции $M(t)$, с	Дисперсия времени выполнения операции $D(t)$, с	Вероятность признания выполнения единиц правильным при фактически правильном их выполнении, $K11$	Вероятность признания выполнения единиц неправильным при фактически неправильном их выполнении, $K00$
1	2	3	4	5	6
1	0,998	3,0	1,2		
2	0,996	5,0	1,6		
3		10,0	2,3	0,999	0,995
4	0,999	1,5	0,3		
5	0,997	3,5	0,9		
6	1	600	50,0		

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6
7	0,998	4,0	1,3		
8		12,0	2,5	0,996	0,994
9	1	800,0	65,0		
10	0,998	2,8	0,7		
11	0,999	3,6	0,18		
12	0,994	1,6	0,1		
13		6,0	1,0	0,994	0,997
14	1	750,0	60,0		
15		18,0	3,1	0,999	0,996
16	0,997	2,6	0,3		
17	1	880,0	72,0		
18	0,995	3,6	0,9		
19	0,996	4,2	0,7		
20		21,0	3,4	0,996	0,995
21		28,0	4,9	0,992	0,991
22	0,998	5,8	1,1		

Таблица 2

Таблица данных с количественными характеристиками для расчета ТФС

№ ТФЕ	Название ТФЕ в соответствии с алгоритмом деятельности	Количественные характеристики ТФЕ				
		В ¹¹	М, с	Д, с	К11	К00

Таблица 3

Итоговая таблица расчетов

Итоговые значения АД	Значение вероятности своевременного и безошибочного выполнения АД, В ¹¹	Суммарное математическое ожидание времени выполнения АД, М, с	Суммарная дисперсия времени выполнения АД, Д, с

ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Контрольная работа 1

Построение и расчет алгоритма деятельности оператора с использованием информационной модели «Нагрев горячей воды»

На рис. 2 и 3 представлены информационные модели интерфейса «Нагрев горячей воды». Управление процессом производится с помощью панели управления (ПУ) (рис. 3), а контроль параметров – по информационной панели (ИП) (рис. 2). В процессе выполнения работы оператор в соответствии с должностной инструкцией обязан выполнить следующие операции:

1. Проверить исходное состояние органов управления и сигнализации оборудования.
2. Проверить наличие давления в газовом трубопроводе.
3. Проверить уровень воды в резервуаре. При недостаточном уровне воды включить насос Н1 (РР1) с местного поста управления. Проверить загорание сигнала «Насос вкл.».
4. При достижении верхнего уровня воды ВУ («Мах») отключить насос Н1 с местного поста или нажатием кнопки «Стоп» с помощью «мыши» на информационной панели (ИП).
5. Включить подачу газа на подогрев воды с помощью «мыши» путем нажатия на клапан W2.
6. Проконтролировать зажигание горелки.
7. Через 20 мин. включить устройство перемешивания воды в резервуаре.
8. Контролировать температуру воды в резервуаре.
9. При достижении температуры $T=75^{\circ}\text{C}$ открыть клапан подачи горячей воды ГВС на потребителя.
10. Отключить горелку и устройство перемешивания воды.
11. При достижении нижнего уровня воды («Min») закрыть клапан W1 подачи воды потребителю.
12. Включить насос Н1.
13. Контролировать заполнение воды до ВУ.
14. Повторить операции для нагрева второй порции воды для ГВС.

Выполнить контрольную работу в соответствии с методическими указаниями, указанными на с. 11 -13:

- а) построить функциональную структуру с использованием ТФЕ обобщенного структурного метода;
- б) присвоить каждой ТФЕ количественные значения с использованием следующих параметров: своевременное и безошибочное выполнение ТФЕ,

времени выполнения и дисперсии времени выполнения ТФЕ и занести данные в таблицы по образцу табл. 2.

в) рассчитать итоговые значения параметров выполнения данного алгоритма в соответствии с формулами Приложение 3 и заполнить табл. 2 и 3.

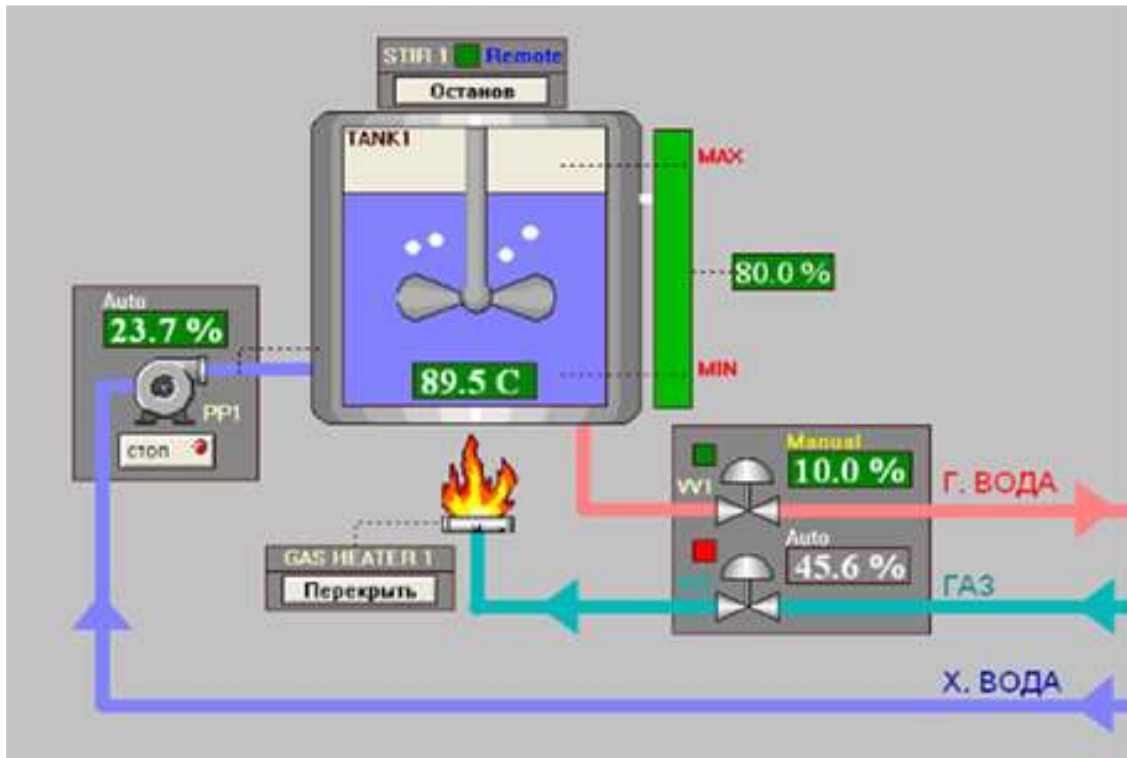


Рис. 2. Информационная панель «Нагрев горячей воды»

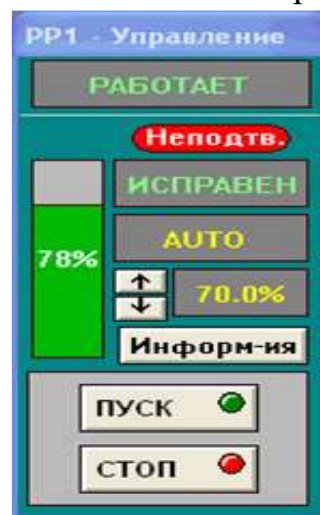


Рис. 3. Панель управления оборудованием

Контрольная работа 2

Построение и расчет алгоритма деятельности оператора с использованием ИМ «Нагрев горячей воды» при автоматической работе оборудования

На рис. 2 и 3 представлены информационные модели интерфейса «Нагрев горячей воды». Управление процессом производится с помощью панели управления (ПУ) (рис. 3), а контроль параметров – по информационной панели (ИП) (рис. 2). В процессе выполнения работы в автоматической работе оборудования оператор в соответствии с должностной инструкцией обязан выполнить следующие операции:

1. Проверить исходное состояние оборудования перед запуском системы в автоматическом режиме. Проверить наличие сигнализации «Исправен» (информирует оператора, что все системы, участвующие в работе при автоматическом управлении, исправны)

2. Нажать кнопку «ПУСК». Проконтролировать загорание сигнализации «АВТО» и зеленого сигнала на кнопке «ПУСК».

3. В процессе автоматической работы системы контролировать следующие параметры: уровень воды в резервуаре, включение-отключение насоса подачи воды в резервуар, величину температуры воды в резервуаре, открытие-закрытие клапана подачи горячей воды на потребителя, процесс горения по сигнализатору, включение-отключение устройства перемешивания воды в резервуаре, другие параметры.

4. Выполнить контрольную работу в соответствии с методическими указаниями, представленными на с. 11-13:

а) построить функциональную структуру с использованием ТФЕ обобщенного структурного метода.

б) присвоить каждой ТФЕ количественные значения с использованием следующих параметров - своевременное и безошибочное выполнение ТФЕ, времени выполнения и дисперсии времени выполнения ТФЕ в соответствии с табл. 1 и изменениями, указанными в п. п 2.1 и 2.2, занести данные в табл. 2. Произвести расчеты по формулам, изложенным в Приложении 3.

в) рассчитать итоговые значения параметров выполнения данного алгоритма и представить их в форме таблицы. При проведении расчета использовать программу MS Excel.

5. Подготовить отчет о проделанной работе в соответствии с методическими указаниями.

ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ

Задание 1

Построение и расчет АД оператора химического реактора с учетом улучшения качества информационной модели (ИМ)

На рис. 1 представлена принципиальная схема химического реактора. Прочитайте описание работы оператора при выполнении своих обязанностей по контролю и управлению реактором. Ответьте на следующие вопросы:

1. Укажите на схеме, какими органами управления и сигнализации необходимо дополнить схему, чтобы оператор мог в полном объеме контролировать работу реактора?
2. Какие дополнительные органы управления необходимо ввести в схему управления для более качественного процесса управления реактором?
3. Как изменится АД оператора при появлении дополнительной индикации и органов управления?
4. Как улучшатся параметры ТФЕ при применении новой ИМ?

Для оценки качества предлагаемых решений студентам в рамках выполнения практического задания предлагается:

1. Составить алгоритм деятельности оператора в виде функциональной сети с использованием типовых функциональных единиц (ТФЕ) обобщенного структурного метода в соответствии с предлагаемыми Вами изменениями.
2. Выбрать из предложенной таблицы 1 (стр. 12) количественные значения ТФЕ с учетом новых органов управления и индикации с применением следующих правил:
 - 2.1. При выборе количественных значений вероятности своевременного и безошибочного выполнения операций β_{11} , показателей K_{11} и K_{01} необходимо произвести следующую процедуру: указанные значения величин разделить на величину $1,0nn$, где nn – две последние цифры в номере студенческого билета, как отмечалось ранее. Полученные значения записать в соответствующую ячейку для использования в последующем расчете.
 - 2.2. При выборе количественных значений параметров времени $M(T)$ и $D(T)$ необходимо выполнить следующую процедуру: указанные значения величин умножить на величину $1,0nn$. Полученные значения

записать в соответствующую ячейку для использования в последующем расчете.

3. Произвести расчет итоговых количественных характеристик с применением формул Приложения 3 в соответствии с обновленной таблицей исходных данных.

4. Сравнить полученные итоговые характеристики с ранее существующими АД и сделать выводы.

5. Подготовить и сдать отчет о проведенной контрольной работе.

Задание 2

Проведение эргономической оценки качества ИМ системы мониторинга котельной

На рис. 4 представлена ИМ котельной для мониторинга ее работы. В соответствии с представленной схемой оператор котельной осуществляет контроль за работой оборудования. В схеме представлено следующее оборудование:

Два котла нагрева воды, трубопровод с насосным оборудованием и трехходовым краном подачи холодной воды с датчиком давления, трубопровод с трехходовым краном подачи горячей воды к потребителю с датчиками температуры и давления, трубопровод подачи газа на газовые горелки с датчиками температуры и давления, оборудование дымососов на каждом котле.

Работа оборудования осуществляется в автоматическом режиме.

Дайте эргономическую оценку представленного фрагмента ИМ АСУ котельной и ответьте на следующие вопросы:

1. Каких средств отображения информации (СОИ) недостает в представленной ИМ для принятия решения оператором?
2. Укажите на схеме, какими органами управления и сигнализации состояния оборудования необходимо дополнить сданную ИМ, чтобы оператор мог в полном объеме контролировать работу котельной?
3. Как изменится АД оператора при появлении дополнительной индикации и органов управления?
4. Как улучшатся параметры типовой функциональной структуры (ТФС) при применении новой информационной модели?

Выполните следующие задания:

1. Постройте АД фрагмента деятельности оператора котельной, применив исходные данные из таблицы 1 при условии использования правил, указанных в п.п.2.1 и 2.2 (с.11).
2. Произведите расчет качества функционирования с применением формул из Приложения 3. При проведении расчета использовать программу MS Excel.
3. Подготовьте и сдайте отчет в соответствии с требованием п.4.4-4.6 (с.11-12).

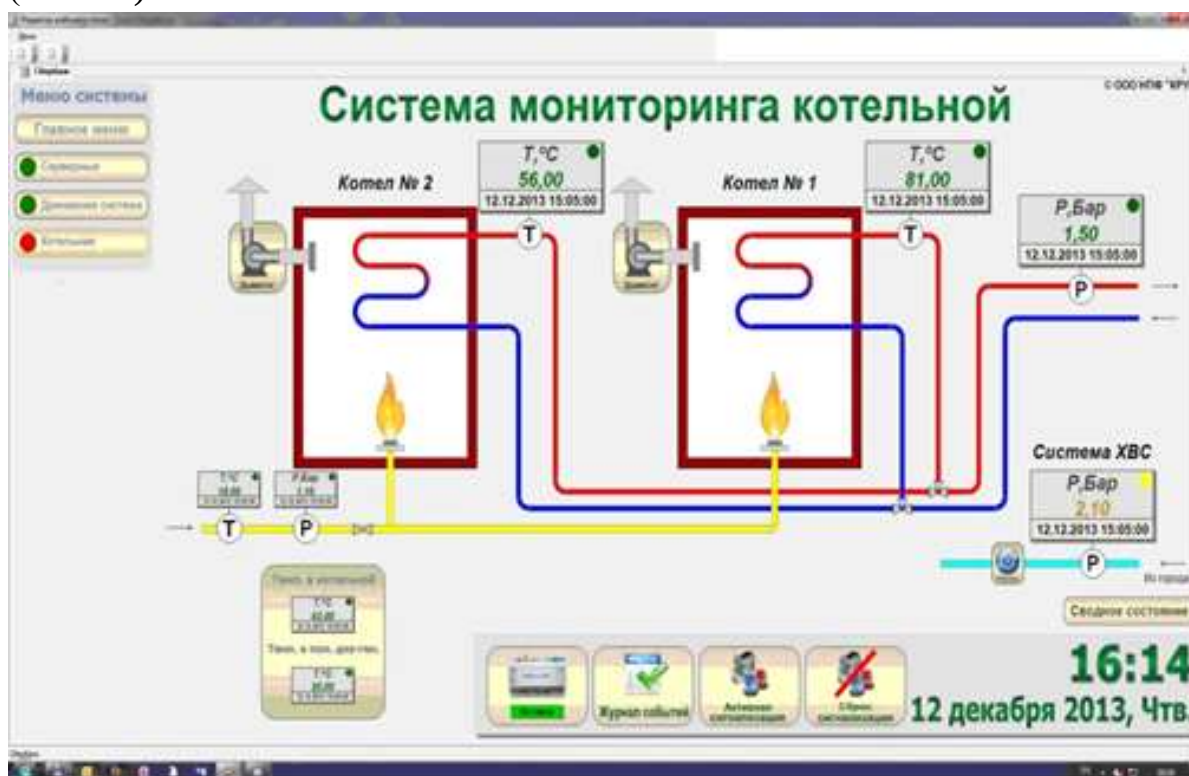


Рис.4. Информационная модель системы мониторинга котельной.

Задание 3

Проведение эргономической оценки качества ИМ системы мониторинга водогрейных котлов котельной

На рис. 5 представлена ИМ водогрейных котлов котельной для монито-ринга ее работы. В соответствии с представленной схемой оператор осуществляет контроль за работой оборудования. В схеме представлено следующее оборудование:

Два котла нагрева воды, трубопровод сетевой воды Т1 с насосным оборудованием (сетевые насосы К6 и К7) с датчиками температуры, трехходовым краном подмеса охлажденного теплоносителя из системы сетевой воды Т2, теплообменником К4, трубопроводом Т1.1 подачи тепло-

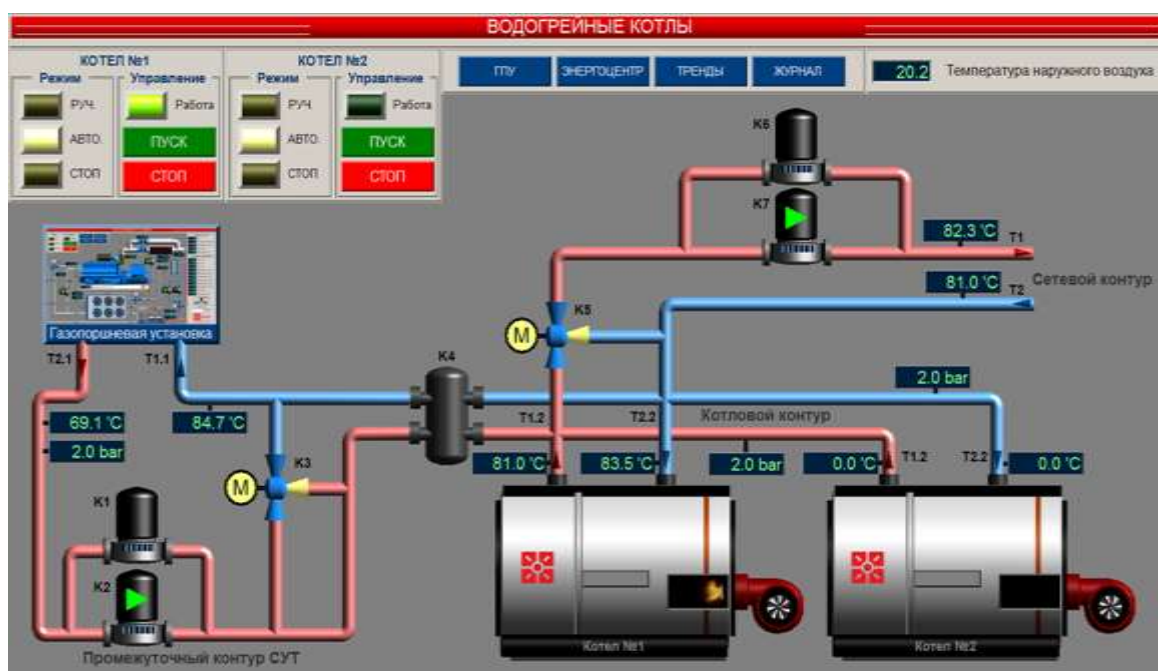


Рис.5. Информационная модель системы мониторинга водогрейных котлов.

носителя к газопоршневой установке с трехходовым краном К3 подмеса горячего теплоносителя с датчиками температуры и давления, насосной станции с насосами К1 и К2.

Дайте эргономическую оценку представленного фрагмента ИМ АСУ котельной и ответьте на следующие вопросы:

1. Каких СОИ и ОУ недостает в представленной информационной модели для управления процессом и принятия решения оператором?
2. Какие ошибки в создании представленной ИМ Вы можете привести?
3. Укажите на схеме, какими органами управления и сигнализации состояния оборудования необходимо дополнить сданную ИМ, чтобы оператор мог в полном объеме контролировать работу котельной?
4. Как изменится АД оператора при появлении дополнительной индикации и органов управления?
4. Как улучшатся параметры ТФЕ при применении новой информационной модели?
5. Представьте в отчете исправленную Вами ИМ с учетом Ваших предложений по совершенствованию ИМ системы мониторинга водогрейных котлов.
6. Постройте два АД фрагмента деятельности оператора водогрейных котлов – по первоначальному варианту и улучшенному варианту, применив

исходные данные из табл. 1 (при необходимости можете добавить новые ТФЕ с присвоением им своих количественных характеристик).

7. Произведите два расчета качества функционирования АД с применением формул из Приложения 3. При проведении расчета использовать программу MS Excel. Сравните результаты расчетов, укажите причины повышения качества функционирования СЧМ.

8. Подготовьте и сдайте отчет преподавателю в соответствии с требованием п.4.4-4.6 (с. 12).

Задание 4

Проведение эргономической оценки качества ИМ технологического процесса приготовления осажденного силиката

На рис. 6 представлена ИМ технологического процесса приготовления осажденного силиката. Процесс приготовления представляет собой технологическую цепочку оборудования, состоящих из резервуаров, насосов, отстойников готовой продукции.

Для приготовления исходной смеси производится смешение силикатного стекла и воды. Для осуществления процесса подготовки в варочный блок подается пар с заданными параметрами. Для контроля уровня смеси в блоке существует датчик уровня. После первичного процесса подготовки первичной смеси в варочном блоке смесь перекачивается с помощью насоса в резервуар кипения, снабженном датчиком уровня. В течение 30-60 мин. Производится кипение смеси после чего с помощью насоса готовая смесь перекачивается в резервуары загрузки № 1,2 и 3. По мере заполнения резервуаров загрузки происходит отстой готового продукта. Осажденный осадок в последствии сливается в канализацию, а готовый раствор силиката сливается в резервуар готовой продукции силиката. По мере наполнения из резервуара готовый силикат с помощью насоса перекачивается в реактор для последующего использования в технологическом процессе.

Дайте оценку качества ИМ процесса приготовления осажденного силиката с точки зрения полноты применения средств автоматизации и контроля параметров технологического процесса для целей управления технологическим процессом со стороны оператора ТП.

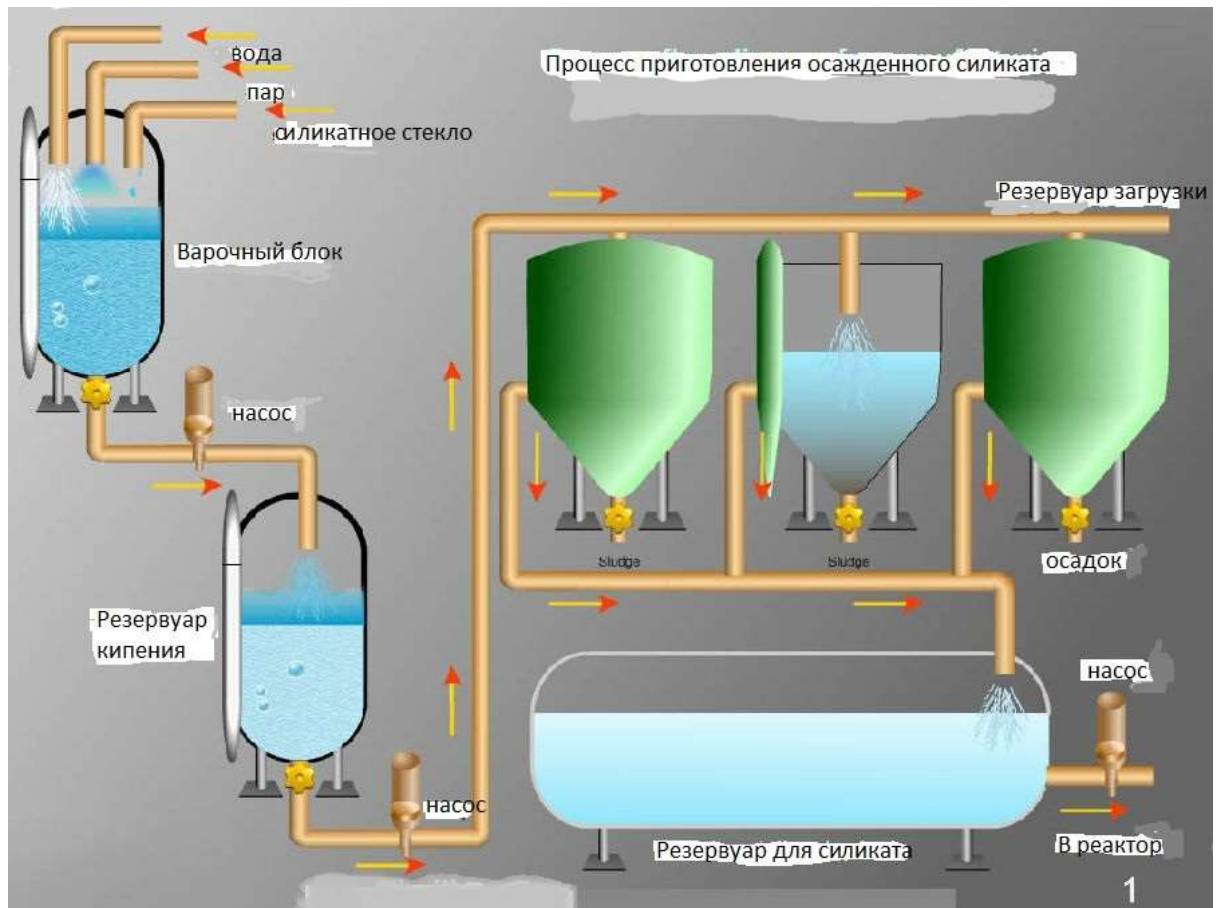


Рис. 6. Информационная модель процесса приготовления осажденного силиката

ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

1. Как классифицируются математические модели, используемые для формализации деятельности операторов СЧМ?
2. Что понимается под надежностью деятельности человека в СЧМ ?
3. Дайте определение структурной надежности работы оператора СЧМ.
4. Дайте определение функциональной надежности работы оператора СЧМ.
5. Дайте определение функционально-временной надежности оператора.
6. Дайте определение функционально-параметрической надежности оператора.
7. Что понимается в эргономике под сенсорной единицей деятельности?
8. Что означает моторная единица деятельности?
9. Что означает логическая (альтернативная) единица и когда она применяется?
10. Что означает блок операций задержки и когда он применяется?

11. Дайте определение операционной единице «Функциональный контроль» и назовите область ее применения
12. Дайте определение операционной единице «Диагностический контроль» и назовите область ее применения
13. Что означает понятие «декомпозиция деятельности»? Порядок ее выполнения.
14. Дайте определение понятия «свертка» при проведении расчетов АД операторов СЧМ.

Библиографический список

1. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания: справочник/ А.Н. Адаменко, А.Т. Ашерев, И.Л. Бердников и др.; под общ. ред. А.И. Губинского и В.Г. Евграфова. – М: Машиностроение, 1993.- 528 с.
2. Шибанов Г.П. Количественная оценка деятельности человека в системах человек-техника.- М.: Машиностроение, 1983.- 263 с.
3. Губинский А.И. Евграфов В.Г. Эргономическое проектирование судовых систем управления. -Л.: Судостроение, 1977. - 224 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Формализация деятельности человека-оператора в системах человек-машина.....	3
Пример выполнения контрольной работы. Построение и расчет алгоритма деятельности оператора по информационной модели «Химический реактор.....	10
Перечень контрольных работ.....	14
Перечень практических заданий	17
Библиографический список	23
Оглавление.....	23
Приложения.....	24

П Р И Л О Ж Е Н И Я

Приложение 1

*Форма титульного листа отчета по выполнению контрольной работы
(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

Отчет по выполнению контрольной работы
Тема: Построение и расчет алгоритма деятельности оператора
по информационной модели интерфейса
«Химического реактора»

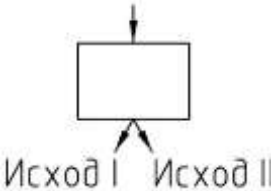
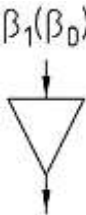
Выполнил (а): студент (ка) гр. № _____ / _____ /

Проверил: преподаватель _____ / _____ /

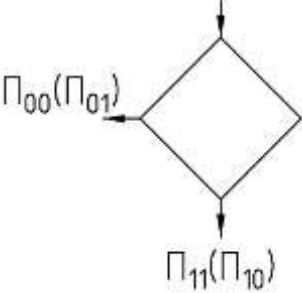
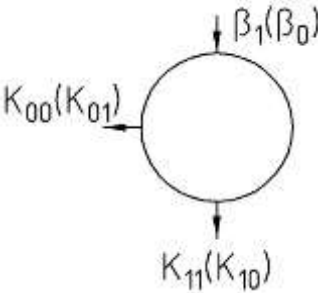
Санкт-Петербург

202__г.

Основные типовые функциональные единицы ОСМ [2].

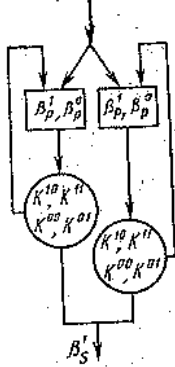
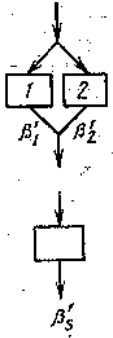
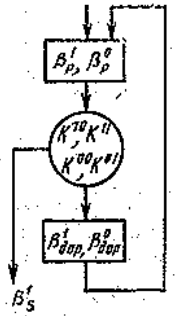
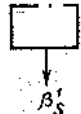
Функциональная единица деятельности и ее графическое изображение	Характеристики безошибочности		Характеристики быстродействия	
	Название	Условное обозначение	Название	Условное обозначение
1	2	3	4	5
Рабочая 	Вероятность безошибочного выполнения	β_1	Математическое ожидание времени выполнения	$M(T)$
	Вероятность выполнения с ошибкой	β_0	Дисперсия времени выполнения	$D(T)$
Логическая 	Вероятность безошибочного выбора исхода I при фактической необходимости его выбора	β_{11}		
	Вероятность ошибочного выбора исхода II при фактической необходимости выбора исхода I	β_{12}	Математическое ожидание времени выполнения	$M(T)$
	Вероятность безошибочного выбора исхода II при фактической необходимости его выбора	β_{22}	Дисперсия времени выполнения	$D(T)$
	Вероятность ошибочного выбора исхода I при фактической необходимости выбора исхода II	β_{21}		
Задержка 	Вероятность безошибочного перехода к задержке	β_1	Математическое ожидание времени выполнения	$M(T)$
	Вероятность ошибочного перехода к задержке	β_0	Дисперсия времени выполнения	$D(T)$

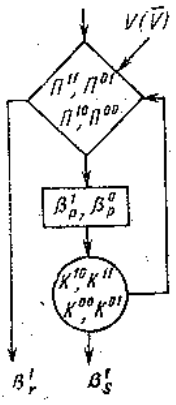
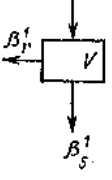
Продолжение Приложения 2

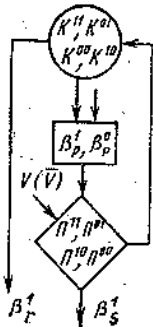
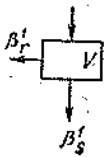
1	2	3	4	5
Диагностический контроль 	Вероятность признания техники исправной при фактической ее исправности	Π_{11}	Математическое ожидание времени выполнения	$M(T)$
	Вероятность признания техники неисправной при фактической ее исправности	Π_{10}	Дисперсия времени выполнения	$D(T)$
	Вероятность признания техники неисправной при фактической ее неисправности	Π_{00}	Вероятность нахождения техники в исправном состоянии	β_1
	Вероятность признания техники исправной при фактической ее неисправности	Π_{01}	Вероятность нахождения техники в неисправном состоянии	β_0
Функциональный контроль 	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	β_1
	Вероятность признания выполнения единиц правильным при фактически неправильном их выполнении	K_{01}	Вероятность ошибочного выполнения единиц, которые контролируются	β_0

Основные формулы для расчета типовых функциональных единиц ОСМ [2].

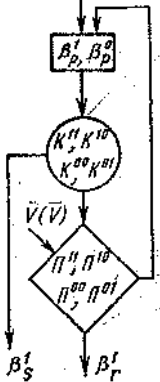
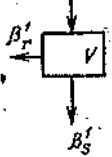
№ по пор.	Название блока	Графическое изображение	Эквивалентная структура	Расчетные зависимости
1	Блок последовательно выполняемых основных (рабочих) единиц			$\beta_s^1 = \prod_{i=1}^n \beta_i^1;$ $\beta_s^0 = 1 - \beta_s^1;$ $M(T) = \sum_{i=1}^n M(T_i);$ $D(T) = \sum_{i=1}^n D(T_i)$
2	Блок параллельно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

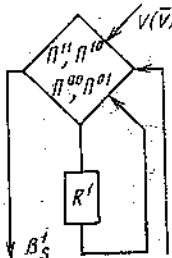
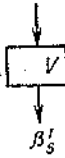
№ по пор.	Название блока	Графическое изображение	Эквивалентная структура	Расчетные зависимости
4	Блок параллельно выполняемых основных (рабочих) единиц с раздельным функциональным контролем (РК2)			Значения показателей функциональной надежности определяются путем последовательного применения формул п.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

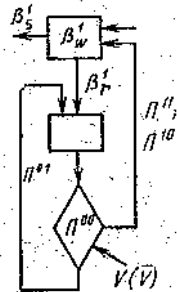
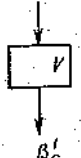
№ по пор.	Название блока	Графическое изображение	Эквивалентная структура	Расчетные зависимости
6	Блок с предварительным диагностическим и последующим функциональным контролем (ДРК)			$\beta_s^1 = \frac{V \Pi^{11} \beta_p^1 K^{11}}{1 - \Pi^{11} (\beta_p^1 K^{10} + \beta_p^0 K^{00})};$ $\beta_r^1 = \frac{\bar{V}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

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

Продолжение Приложения 3

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

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

№ 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			$\beta_s^1 = \beta_w^1 + \frac{\beta_r^1 + \beta_r^0}{1 - R^1 \Pi^{10} - R^0 \Pi^{00}} \times R^1 \Pi^{11};$ $M(T) = \frac{\beta_w^1}{\beta_s^1} M(T_w) + \frac{\beta_s^1 - \beta_w^1}{\beta_s^1} M(T_L);$ $D(T) = \frac{\beta_w^1}{\beta_s^1} D(T_w) + \frac{\beta_s^1 - \beta_w^1}{\beta_s^1} D(T_L);$ $M(T_L) \text{ и } D(T_L)$ определяются по формулам п. 9