

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

ТАШКЕНТСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

**Кафедра: “Информатика, автома-
тизация и управление”**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

выпускной квалификационной работы на тему:

Расчет показателей надежности восстанавливаемых систем

Зав. кафедрой «ИА и У»:

к.т.н. Хасанов Ж.Х.

Руководитель выпускной
квалификационной работы

доц. Бобоёров Р.А.

Выпускную квалификационную
работу выполнил:

Жангиров Алишер

ТАШКЕНТ – 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	1
----------------------	----------

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ:

Теоретические основы надежности автоматических систем	
Показатели надежности восстанавливаемых систем	
Структурно-логический анализ автоматических систем	
Расчеты структурной надежности систем	
Повышение надежности автоматических систем	
Методика расчета показателей надежности	
Расчет надежности элементов системы	
Определение показателей безотказности для восстанавливаемых систем	
Определение параметров безотказной работы системы.....	
Технико-экономическая часть.....	
Охрана труда.....	
Экология	
Гражданская оборона.....	
Заключение.....	
Список использованной литературы.....	

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы надежности технических изделий (в том числе, автоматизированных систем) относятся к числу наиболее актуальных инженерных проблем. Недостаточная надежность означает по существу невозможность внедрения новых или модернизированных изделий, какими бы положительными свойствами и характеристиками они ни отличались.

В тесной связи с вопросами надежности находятся и проблемы технического диагностирования, т.е. обнаружения отказов и неисправностей, их локализация и выяснение причин.

В настоящее время требования по надежности обязательно включают в технические задания (ТЗ) на разработку, в технические условия (ТУ) на изготовление опытной и серийной продукции, в стандарты общих технических требований (ОТТ) и общих технических условий (ОТУ).

В паспортах, формулярах, инструкциях и других эксплуатационных документах сведения о надежности приводятся в качестве справочных.

Первые теоретические работы по вопросам надежности относятся к 40-ым годам XX века. В 50-годы была осознана необходимость внедрения в практику методов исследования и расчета надежности в связи с развитием сложных электронных систем (связь, радиолокация, навигация, системы управления артиллерийскими и ракетными установками и т.п.).

В это же время, а особенно в 70-е годы развивается как наука техническая диагностика.

Развитие теории надежности и технической диагностики продолжается и в настоящее время.

Вопросам надёжности систем управления (САУ), особенно на стадии проектирования АСУ ТП с каждым годом уделяется всё большее внимание. Важность проблемы надежности САУ обусловлена их повсеместным распространением фактически во всех отраслях промышленности.

Основными задачами надежности автоматизированных систем являются:

- Установление видов показателей надежности технических систем;
- Выработка аналитических методов оценки надежности;
- Упрощение оценки надежности САУ;
- Оптимизация надежности на стадии эксплуатации системы.

Целью моей выпускной квалификационной работы являются изучение теоретических основ надежности автоматизированных систем, определение надежности автоматической системы с учетом возможных ее состояний, ознакомление с методами определения надежности восстанавливаемой системы и расчет основных показателей (интенсивность отказов, плотность распределения отказов, среднее время безотказной работы системы, частота отказов, вероятность отказа, вероятность безотказной работы и т.п.) надежности восстанавливаемых систем.

Структура и объем квалификационной выпускной работы. Выпускная работа состоит из введения, 3 глав, заключения и списка _____использованной литературы. Работа включает _____ рисунков, _____ таблиц _____ листов машинописного текста.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Для оценки поведения автоматической системы в эксплуатационных условиях используется понятие надежности системы. При эксплуатации автоматическая система может подвергаться воздействию: механических нагрузок (вибраций, ударов, постоянного ускорения); электрических нагрузок (напряжения, электрического тока, мощности); окружающих условий (температура, влажность, давление).

Влияние указанных факторов проявляется в виде отклонений параметров системы от номинальных (расчетных) значений. Эти отклонения могут быть настолько значительными, что система становится непригодной к использованию, так как возникновение больших отклонений параметров от расчетных значений при эксплуатации системы приводит к аварии или к появлению брака в выпускаемой продукции.

Когда система перестает удовлетворять предъявляемым к ней требованиям, систему считают отказавшей. Следовательно, надежность является одной из характеристик качества системы, поэтому она, как и другие характеристики системы (точность, быстродействие), должна оцениваться количественно на основе анализа технических параметров системы в эксплуатационных условиях.

Так как на отдельные технические параметры системы оказывают влияние различные факторы (схемные, конструктивные, производственные и эксплуатационные) и учесть их аналитически при детерминированном подходе к анализу системы невозможно, то количественная оценка надежности системы возможна только на основе теории вероятностей или ее специальных разделов (теории случайных процессов и математической статистики).

Надежность – свойство системы сохранять во времени и в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих

способность системы выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях эксплуатации.

Функции системы определяются целевым ее назначением. Автоматизированная система управления – это многофункциональная система. Вследствие воздействия возмущающих воздействий система может находиться в разных состояниях, обеспечивающих выполнение заданных ей функций. Однако, в каждом таком состоянии качество выполнения системой функций не будет одинаковым. Например, чем больше отклонение выходных параметров, характеризующих выполняемую функцию от заданных, тем менее качественно работает система, т.е. система менее эффективна. Под эффективностью системы понимают вероятность выполнения системой заданных функций при определенном значении параметра.

Таким образом, надежность автоматической системы с учетом возможных ее состояний должна определяться по формуле полной вероятности.

Если система может находиться в счетном множестве состояний, то надежность определяется формулой:

$$R(tf) = \sum_{i=1}^K E(H_i) H_i(tf); \quad (1.1)$$

где: $H_i(tf)$ — вероятность i -го состояния системы при условиях эксплуатации f ;

$E(H_i)$ — эффективность i -го состояния;

t — требуемый интервал времени выполнения задачи;

K — число состояний.

В некоторых работах оценка качества автоматической системы разделяется на две задачи — исследование точности и надежности. Ту или иную задачу можно решить соответствующим выбором функции эффективности состояния системы.

Надежность, в сущности, является характеристикой эффективности системы. Если для оценки качества автоматической системы достаточно характеризовать ее надежностью выполнения системой функций в различных состояниях, то надежность совпадает с эффективностью системы.

Обобщенное количественное значение надежности системы в большинстве случаев трудно непосредственно получить из первичной информации, кроме того, она не позволяет оценить влияние различных этапов разработки и эксплуатации системы, поэтому надежность целесообразно рассматривать по трем главным составляющим, которые являются свойствами системы и могут характеризоваться как качественно, так и количественно:

- безотказность;
- восстанавливаемость (ремонтпригодность);
- готовность;

Безотказность – свойство системы сохранять работоспособность в течение требуемого интервала времени непрерывно без вынужденных перерывов.

Безотказность системы является одной из главных и определяющих составных частей надежности автоматической системы.

Для фиксированного интервала времени безотказной работы и заданных условий эксплуатации автоматическая система может находиться в одном из двух состояний: **работоспособном** (состояние, при котором значения параметров, характеризующих способность системы выполнять заданные функции, находятся в пределах, установленных нормативно-технической документацией) и **неработоспособном** (состояние системы, при котором значение хотя бы одного параметра не находится в указанных пределах).

Эти состояния системы представляют противоположные события, поэтому для них справедливо равенство, которое будем в дальнейшем называть основным статическим уравнением безотказности системы:

$$P+Q=1 \quad (1.2)$$

где: P — безотказность (надежность) системы;

Q — вероятность возникновения отказа системы.

Как известно, автоматическая система представляет собой комплекс отдельных приборов, не связанных между собой на заводе-изготовителе сборочными и монтажными операциями, но имеющих общее эксплуатационное назначение. Систему в целом можно представить рядом более простых подсистем.

Безотказность автоматической системы может служить лишь общей характеристикой системы, не позволяющей проследить влияние безотказности отдельных ее частей на безотказность автоматической системы в целом. Для того чтобы иметь возможность проводить такой анализ, введем понятия элемента и системы.

Элемент - составная часть системы, имеющая определенное назначение и выполняющая требуемые функции и которая рассматривается без дальнейшего деления как единое целое.

Система – совокупность элементов, взаимодействующих между собой в процессе выполнения заданных функций.

Понятия «система» и «элемент» выражены одно через другое и условны: то, что является системой для одних задач, для других принимается элементом в зависимости от целей изучения, требуемой точности, уровня знаний о надежности и т.д. Даже такая сложная система, как АСУ ТП, может рассматриваться как элемент более сложной системы управления предприятием.

Разделение автоматической системы на элементы зависит от решения конкретной задачи при оценке ее надежности. После того как система или прибор разделены на элементы, в качестве основной характеристики элемента, при анализе надежности, можно считать его **безотказность**. Это позволяет в большинстве случаев при оценке безотказности прибора практически непосредственно не интересоваться функциональными характеристиками элементов, их конструктивным оформлением и т. д.

Для определения безотказности элементов справедливо равенство (2.1). При получении расчетных формул можно пользоваться как характеристикой безотказности, так и ее противоположной величиной - **вероятностью отказа**. В зависимости от конкретной задачи та или другая характеристика является более удобной. Иногда при получении расчетных формул, а также при оценке степени улучшения системы, приборов или элементов наиболее удобной характеристикой является величина, противоположная безотказности — вероятность отказа.

Например. Пусть безотказность усилительного тракта системы $P_0=0,99$. В результате применения дублирования тракта его безотказность возросла и стала равной $P=0,9999$. Необходимо оценить степень улучшения безотказности усилительного тракта.

Степень увеличения безотказности будем оценивать коэффициентом p , представляющим отношение безотказности усовершенствованной схемы к безотказности первоначальной схемы, а степень уменьшения вероятности отказа — коэффициентом S_p , представляющим отношение соответствующих вероятностей отказа $S_p=P/P_0=0,9999/0,99=1,01$.

Тогда в первом случае если воспользоваться коэффициентом S_p , то безотказность прибора увеличивается в 1,01 раза или на 1%, что, на первый взгляд, может показаться не очень существенным, хотя в действительности безотказность прибора повышается значительно.

Если же воспользоваться коэффициентом S ($S=Q/Q_0=1*10^{-4}/1*10^{-2}=1*10^{-2}$) то вероятность отказа усовершенствованной схемы по сравнению с первоначальной схемой уменьшается в 100 раз.

Такая оценка степени улучшения системы является более удобной и наглядной, несмотря на то, что она отражает одну и ту же объективную сущность изменения качества системы.

Наряду с методами оценки безотказности автоматических систем по выходным параметрам системы, можно также применять методы оценки безотказности системы по ее входным воздействиям, которыми в частном случае являются возмущения или нагрузки, характеризующие условия эксплуатации.

Восстанавливаемость – свойство системы, заключающееся в ее приспособленности к предупреждению, обнаружению и устранению причин возникновения отказов, а также поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Восстановлением называется событие, заключающееся в переходе системы из неработоспособного состояния в работоспособное, вследствие не только корректировки, настройки, ремонта, но и вследствие замены отказавшего оборудования или элемента на работоспособный. Соответственно, к **невосстанавливаемым** относят системы, восстановление которых непосредственно после отказа считается нецелесообразным или невозможным, а к **восстанавливаемым** – системы в которых производится восстановление непосредственно после отказа.

Одна и та же система в различных условиях применения может быть отнесена к невосстанавливаемым (например, если она расположена в необслуживаемом помещении, куда запрещен доступ персонала во время работы технологического агрегата) и к восстанавливаемым, если персонал сразу же после отказа может начать восстановление.

Восстанавливаемость автоматической системы является характеристикой ее качества, поэтому восстанавливаемость можно определить как свойство системы, позволяющее обслуживающему персоналу определенной квалификации восстановить систему при заданных окружающих условиях.

Под количественным значением восстанавливаемости системы понимается вероятность того, что параметры ее будут восстановлены до требуемых значений за данный интервал времени обслуживающим персоналом определенной квалификации при заданных окружающих условиях.

Низкая восстанавливаемость автоматических систем даже при сравнительно приемлемых характеристиках безотказности приводит к значительным расходам на эксплуатацию систем.

Восстанавливаемость систем в значительной степени влияет на готовность системы к выполнению заданных ей функций, что имеет важное значение при подготовке системы к началу рабочего цикла или смены, в системах автоматической блокировки и др.

Восстановление системы может быть двух типов:

- профилактическое,
- корректирующее.

Профилактическое, или плановое восстановление, предупреждает отказы или неправильное функционирование системы настройкой, регулировкой, а также чисткой, смазкой системы и т. п. Профилактическое восстановление с целью предупреждения отказов системы при работе включает также замену узлов или деталей системы, которые имеют критические значения параметров.

Корректирующее, или неплановое восстановление, требуется при отказах системы. При этом регулируют параметры системы или заменяют детали вследствие их отказа, или в результате недопустимого изменения параметров системы в рабочий период.

Восстанавливаемость и не восстанавливаемость представляют противоположные события, поэтому, как и в случае безотказности системы, основное уравнение восстанавливаемости имеет вид

$$P_v + Q_v = 1 \quad (1.3)$$

где P_v - восстанавливаемость;

Q_v - не восстанавливаемость системы.

Восстанавливаемость системы определяется двумя группами основных факторов.

Первую группу составляют факторы, относящиеся к схеме и конструкции системы (сложность системы, взаимозаменяемость отдельных узлов и блоков, конструктивное оформление системы для удобства обслуживания, доступность к отдельным элементам и некоторые другие). Анализ каждого из этих факторов представляет сложную задачу.

Вторую группу составляют эксплуатационные факторы (опыт, подготовка и мастерство обслуживающего персонала, а также степень совершенства руководства обслуживающим персоналом, методика проверочных испытаний системы, совершенство снабжения запасными частями и др).

Большинство факторов, определяющих восстанавливаемость системы, трудно оценить количественно и тем более определить экспериментально, поэтому систему надо проектировать таким образом, чтобы исключить влияние факторов, не поддающихся количественной оценке.

Восстанавливаемость можно существенно увеличить, применяя современные методы обнаружения и устранения неисправностей в системе. Эти методы развиваются в трех направлениях:

- 1) создание встроенных в систему диагностирующих устройств или применение специальных автоматических тестеров;
- 2) разработка методов и оборудования для граничных испытаний позволяющих профилактически заменять элементы, параметры которых в значительной степени изменились вследствие износа или старения;

3) перераспределение функций, выполняемых элементами при появлении отказов, и самонастройка параметров системы, При этом структура системы выбирается таким образом, чтобы элементы, принявшие на себя функции отказавших элементов, в условиях повышенных на них нагрузок были бы в состоянии обеспечить эффективную работоспособность системы до окончания выполнения стоящих перед системой задач. Отказавшие элементы можно восстановить в период проведения профилактических мероприятий.

Квалификация и подготовка обслуживающего персонала оказывает в большинстве случаев решающее влияние на восстанавливаемость системы. Неопытность обслуживающего персонала приводит не только к увеличению времени восстановления системы, но и к появлению новых отказов.

Готовность – свойство системы выполнять возложенные на нее функции в любой произвольно выбранный момент времени в установившемся процессе эксплуатации. Готовность определяется как безотказностью, так и восстанавливаемостью системы.

Готовность системы определяется ее безотказностью и восстанавливаемостью, которые в свою очередь, как было показано выше, являются вероятностными характеристиками системы. Таким образом, готовность системы также является вероятностной характеристикой.

Под готовностью будем понимать вероятность того, что система в рассматриваемый момент времени готова для выполнения предназначенных ей функций, т.е. система должна быть готова к выполнению предназначенных ей функций к началу рабочего интервала времени. Для ряда автоматических систем связи, защиты, блокировки обычно требуется постоянная готовность.

В статистическом смысле общим показателем готовности может служить доля систем, готовых для использования в течение требуемого рабочего интервала времени.

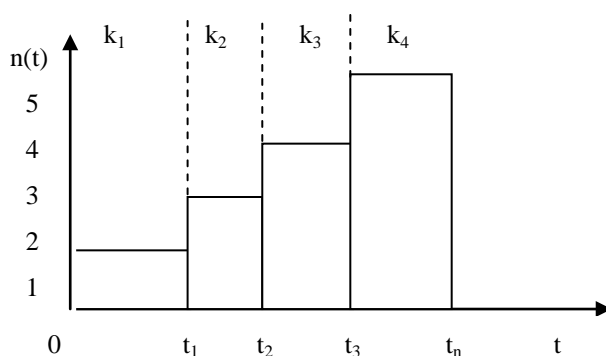
В общем виде готовность системы определяется через вероятность отказа Q и невосстанавливаемость Q_v по следующей формуле:

$$P_r = 1 - Q_v Q \quad (1.4)$$

Уравнение (1.4) показывает, что готовность системы при фиксированной одной характеристике безотказности или восстанавливаемости может быть повышена за счет увеличения другой. В частности, при низкой безотказности системы готовность может быть увеличена соответствующим увеличением восстанавливаемости. Если восстановление систем не производится, то, как следует из уравнения (1.4), готовность определяется безотказностью системы.

ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ СИСТЕМ

После каждого отказа восстанавливаемой системы следует ее восстановление, проводимое заменой отказавшего элемента на идентичный работоспособный или проведением ремонтных операций. Так же, как и наработка до первого отказа у невосстанавливаемых системы, моменты наступления отказов восстанавливаемой системы являются случайными. Также случайной является и продолжительность работ по проведению восстановления, но время восстановления, как правило, значительно меньше времени между отказами, поэтому им пренебрегают. На рис. 3.1 представлен график функционирования восстанавливаемой системы (элемента).



$t_1; t_2; t_n$ – моменты времени, в течение которых происходит отказ и восстановление.

$k_1; k_2; k_n$ – наработки между отказами.

Последовательность отказов, происходящих один за другим в случайные моменты времени, носит название *потока отказов*. Понятие потока отказов является одним из основных при рассмотрении систем с восстановлением. Поток отказов задается двумя способами: первый способ заключается в изучении некоторого дискретного случайного процесса, заданного числом отказов на промежутке времени $(0, t)$; второй способ, заключается в изучении последовательности непрерывных случайных наработок между отказами. В том и другом случае пренебрегают продолжительностью восстановления системы, а поток отказов называют ***простейшим***.

Простейший поток обладает свойствами стационарности, ординарности и отсутствия последствий.

Выполнение требования стационарности означает, что вероятностные характеристики потока не зависят от времени. Поток отказов называют потоком без последствий, если для любого набора непересекающихся промежутков времени число отказов на этих промежутках представляют собой взаимно независимые случайные величины. Ординарность означает практическую невозможность возникновения двух или более отказов одновременно, т.е. на одном промежутке времени.

У простейшего потока вероятность возникновения n отказов на отрезке времени длиной t определяется ***распределением Пуассона***:

$$P\{n\} = \frac{(at)^n}{n!} e^{-at}; \quad (3.1)$$

Вероятность отсутствия отказов на интервале времени длиной t равна вероятности события, заключающегося в том, что время T между отказами больше, чем t :

$$P\{T > t\} = e^{-at}; \quad (3.2)$$

где ω - параметр потока отказов;

Параметр потока отказов $\omega(t)$ -это отношение числа отказов системы на некотором малом отрезке времени к значению этого отрезка.

Статистическая формула: $\omega(t)^* = \sum (n_i(t + \Delta t) - n_i(t)) / (\Delta t N)$ (3.3)

где N-общее количество элементов; $n_i(t)$ - число отказов i - ого элемента на интервале времени $(0; t)$.

Для потока, удовлетворяющего требованию стационарности, параметр потока отказов является постоянной величиной и не зависит от времени.

Одновременные отказы нескольких элементов могут возникать из-за изменения условий эксплуатации сверх допустимых пределов. Но вследствие того, что надежность системы рассчитывают по установившемся условиям эксплуатации, то потоки отказов можно принимать ординарными. Нестационарность может иметь место из-за наличия периода приработки после пуска системы. Эта же причина может привести к несоблюдению свойства последствия. Последствие может иметь место из-за недостаточного качества восстановления, когда свойства системы не полностью регенерируются после отказа, а также в ситуации, когда отказ одного элемента вызывает ухудшение условий работы других.

В соответствии с двумя способами задания потока отказов для восстанавливаемых систем можно применять различные показатели надежности и безотказности.

При задании потока отказов как дискретного случайного процесса – числа отказов на интервале времени $(0, t)$ показателем безотказности является параметр потока отказов, определяемый соотношением (3.3).

При задании потока отказов как последовательности случайных величин (наработок) между отказами задаются показателями безотказности, ремонтпригодности, долговечности и комплексными показателями надежности. Показателем безотказности является средняя наработка на отказ.

Наработка на отказ (среднее время между соседними отказами) определяется по статистическим данным об отказах для одного устройства по формуле:

$$t_{cp}^* = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}; \quad (3.4)$$

где n — число отказов устройства за время наблюдения; t_i — время исправной работы устройства между $(i-1)$ -м и i -м отказами. При простейшем потоке отказов параметр потока отказов является обратной величиной наработке до отказа.

Термин **наработка** определяет продолжительность или объем работы устройства. Выбор тех или иных показателей надежности зависит от того, насколько точно требуется определить надежность разрабатываемых технических средств автоматизации.

К показателям ремонтпригодности относятся **вероятность восстановления работоспособного состояния за заданное время и среднее время восстановления**.

Вероятность восстановления работоспособного состояния определяется как вероятность того, что время восстановления окажется меньше некоторого заданного времени t_1 .

$$Q_B(t_1) = \text{Вер}\{T_B < t_1\}; \quad (3.5)$$

среднее время восстановления (ремонта) после отказа (определяется по статистическим данным):

$$t_B^* = \frac{\sum_{i=1}^n t_{Bi}}{n}; \quad (3.6)$$

Показателем долговечности системы является срок службы системы. Срок службы системы — это случайная величина, характеризующая календарную продолжительность от начала эксплуатации системы до перехода ее в предельное состояние. Для некоторых систем показателем долговечности является установленный срок службы, который должна

достигнуть данная система. В качестве случайной величины при рассмотрении долговечности может быть принят не только календарный срок службы системы, но и ее ресурс – наработка от начала эксплуатации до перехода в предельное состояние.

Комплексные показатели надежности отражают совместно безотказность и ремонтпригодность системы. К комплексным показателям относятся: коэффициент готовности, коэффициент оперативной готовности и коэффициент технического использования.

Коэффициент готовности k_G - вероятность того, что система окажется работоспособной в произвольно выбранный момент времени в установившемся процессе эксплуатации. При отсутствии ограничений в обслуживании:

$$k_G = t_{cp}^* / (t_{cp}^* + t_B^*) \quad (3.7)$$

Коэффициент готовности численно равен средней доле времени, в течение которого система пребывает в работоспособном состоянии.

Коэффициент оперативной готовности k_{OG} - вероятность того, что система окажется работоспособной в произвольно выбранный момент времени в установившемся режиме эксплуатации и что, начиная с этого момента, система будет работать безотказно в течение заданного интервала времени t .

$$k_{OG}^* = k_G P(t) \quad (3.8)$$

При определении коэффициента готовности и коэффициента оперативной готовности из рассмотрения исключены планируемые периоды времени, в течение которых применение систем по назначению не предусматривается (например, интервалы планового технического обслуживания). Эти периоды времени учитываются **коэффициентом технического использования:**

$$k_{ти} = t_{cp}^* / (t_{cp}^* + t_B^* + t_{проф}^*) \quad (3.9)$$

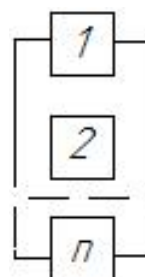
где $t_{\text{проф}}^*$ — среднее время профилактики, приходящееся на один отказ за рассматриваемый промежуток времени.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ

Структурно-логический анализ автоматических систем

Целью расчета надежности автоматических систем (АС) является оптимизация конструктивных решений и параметров, режимов эксплуатации.

Для расчета надежности система расчленяется на элементы. Расчленение автоматической системы на элементы условно и зависит от постановки задачи расчета надежности. Например, при анализе работоспособности технологической линии её элементами могут считаться отдельные установки и станки, транспортные и загрузочные устройства и т.д. В свою очередь станки и устройства также могут считаться техническими системами и при оценке их надежности должны быть разделены на элементы - узлы, блоки. Для расчетов параметров надежности удобно использовать *структурно - логические схемы надежности АС*, которые графически отображают взаимосвязь элементов и их влияние на работоспособность системы в целом. Структурно - логическая схема представляет собой совокупность соединенных друг с другом последовательно или параллельно звеньев. *Последовательное соединение*, при котором отказ любого элемента приводит к отказу всей системы (рис. 1). *Параллельным* (с точки зрения надежности) считается соединение, при котором отказ любого элемента не приводит к отказу системы, пока не откажут все соединенные элементы (рис. 2).



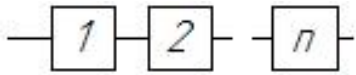


Рис.1. Последовательное
соединение элементов

Рис.2. Параллельное соединение
элементов

Примером последовательного соединения элементов структурно - логической схемы может быть технологическая линия, в которой происходит переработка сырья в готовый продукт. Если же на некоторых участках линии предусмотрена одновременная обработка на нескольких одинаковых единицах оборудования, то такие элементы (единицы оборудования) могут считаться соединенными параллельно[2].

Расчеты структурной надежности систем

Системы с последовательным соединением элементов. Такое соединение элементов в технике встречается наиболее часто, поэтому его называют *основным соединением*. В системе с последовательным соединением для безотказной работы в течение некоторой наработки t необходимо и достаточно, чтобы каждый из ее n элементов работал безотказно в течение этой наработки. Считая отказы элементов независимыми, вероятность одновременной безотказной работы n элементов определяется по теореме умножения вероятностей: *вероятность совместного появления независимых событий равна произведению вероятностей этих событий*:

$$P(t) = p_1(t)p_2(t) \dots p_n(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t) = \prod_{i=1}^n (1 - q_i(t)) \quad (5)$$

Аргумент (t) , показывающий зависимость показателей надежности от времени, опускаем для сокращения записей формул. Надежность системы при последовательном соединении оказывается тем более низкой, чем больше число элементов. Кроме того, вероятность безотказной работы АС при последовательном соединении не может быть выше вероятности безотказной работы самого ненадежного из ее элементов (принцип “хуже

худшего”) и из малонадежных элементов нельзя создать высоконадежной АС с последовательным соединением.

Если все элементы системы работают в периоде нормальной эксплуатации, можно записать:

$$P = \prod_{i=1}^n \exp(-\lambda_i t) = \exp\left[-\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i\right)t\right] = \exp(-\lambda t), \quad (6)$$

$$\text{где } \lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = \sum_{i=1}^n \lambda_i = \text{const}$$

есть интенсивность отказов системы. Таким образом, интенсивность отказов системы при последовательном соединении элементов равна сумме интенсивностей отказов элементов[4].

Системы с параллельным соединением элементов. Для отказа системы с параллельным соединением элементов в течение наработки t необходимо и достаточно, чтобы все ее элементы отказали в течение этой наработки. Отказ системы заключается в совместном отказе всех элементов, вероятность чего (при допущении независимости отказов) может быть найдена по теореме умножения вероятностей как произведение вероятностей отказа элементов:

$$Q = q_1 q_2 \dots q_n = \prod_{i=1}^n q_i = \prod_{i=1}^n (1 - p_i). \quad (7)$$

Соответственно, вероятность безотказной работы

$$P = 1 - Q = 1 - \prod_{i=1}^n q_i = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i). \quad (8)$$

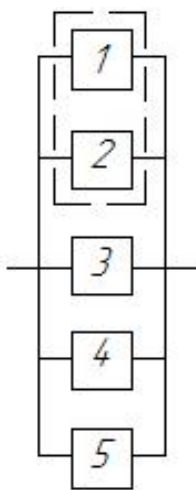
Вероятность отказа системы не может быть выше вероятности самого надежного ее элемента (“лучше лучшего”) и даже из сравнительно ненадежных элементов возможно построение вполне надежной системы.

При экспоненциальном распределении наработки: $P = 1 - [1 - \exp(-\lambda t)]^n$,

откуда средняя наработка системы $T_0 = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} = T_{0i} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i},$

Системы типа “m из n”. Систему типа “m из n” можно рассматривать как вариант системы с параллельным соединением элементов, отказ которой произойдет, если из n элементов, соединенных параллельно, работоспособными окажутся менее m элементов ($m < n$).

На рис. 3 представлена система “2 из 5”, которая работоспособна, если из пяти её элементов работают любые два, три, четыре или все пять (на схеме пунктиром обведены функционально необходимые два элемента, причем выделение элементов 1 и 2 произведено условно, в действительности все пять элементов равнозначны). Системы типа “m из n” наиболее часто встречаются в связных системах автоматизации технологических линий (при этом элементами выступают связующие каналы).



Для расчета надежности систем типа “m из n” при сравнительно небольшом количестве элементов можно воспользоваться *методом прямого перебора*. Он заключается в определении работоспособности каждого из возможных состояний системы, которые определяются различными сочетаниями работоспособных и неработоспособных состояний элементов. Все состояния системы “2 из 5” занесены в таблицу 1.

Таблица 1

Таблица состояний системы “2 из 5”

№ состояния	Состояние элементов					Состояние системы	Вероятность состояния системы
	1	2	3	4	5		
1	+	+	+	+	+	+	p^5
2	+	+	+	+	-	+	-
3	+	+	+	-	+	+	-
4	+	+	-	+	+	+	-
5	+	-	+	+	+	+	-
6	-	+	+	+	+	+	-
7	+	+	+	-	-	+	$p^3 q^2 = p^3 (1-p)^2$

8	+	+	-	+	-	+	-
9	+	-	+	+	-	+	-
10	-	+	+	+	-	+	-
11	+	+	-	-	+	+	-
12	+	-	+	-	+	+	-
13	-	+	+	-	+	+	-
14	+	-	-	+	+	+	-
15	-	+	-	+	+	+	-
16	-	-	+	+	+	+	-
17	+	+	-	-	-	+	$p^2q^3 = p^2(1-p)^3$
18	+	-	+	-	-	+	-
19	-	+	+	-	-	+	-
20	+	-	-	-	+	+	-

Окончание таблицы 1

21	-	+	-	-	+	+	-
22	-	-	-	+	+	+	-
23	+	-	-	+	-	+	-
24	-	+	-	+	-	+	-
25	-	-	+	-	+	+	-
26	-	-	+	+	-	+	-
27	+	-	-	-	-	-	$p^1q^4 = p^1(1-p)^4$
28	-	+	-	-	-	-	-
29	-	-	+	-	-	-	-
30	-	-	-	+	-	-	-
31	-	-	-	-	+	-	-
32	-	-	-	-	-	-	$q^5 = (1-p)^5$

Примечание * - работоспособные состояния элементов и системы; **- неработоспособные состояния

Для данной системы работоспособность определяется лишь количеством работоспособных элементов. По теореме умножения вероятностей вероятность любого состояния определяется как произведение вероятностей состояний, в которых пребывают элементы. Например, в строке 9 описано состояние системы, в которой отказали элементы 2 и 5, а остальные работоспособны. При этом условие “2 из 5” выполняется, так что система в целом работоспособна. Вероятность такого состояния

$$P_9 = p_1q_2p_3p_4q_5 = p^3q^2 \quad (9)$$

С учетом всех возможных состояний вероятность безотказной работы системы может быть найдена по теореме сложения вероятностей всех работоспособных сочетаний. Поскольку в табл. 3.1 количество

неработоспособных состояний меньше, чем работоспособных (6 и 26), проще вычислить вероятность отказа системы. Для этого суммируются вероятности неработоспособных состояний, где не выполняется условие “2 из 5”:

$$Q = P_{32} + P_{27} + P_{28} + P_{29} + P_{30} + P_{31} = q^5 + 5pq^4 = (1-p)^5 + 5p(1-p)^4 = 1 - 10p^2 + 20p^3 - 15p^4 + 4p^5 \quad (10)$$

Тогда вероятность безотказной работы системы

$$P = 1 - q = 10p^2 - 20p^3 + 15p^4 + 4p^5 \quad (11)$$

Расчет надежности системы “m из n” может производиться комбинаторным методом, в основе которого лежит формула биномиального распределения. Биномиальному распределению подчиняется дискретная случайная величина k - число появлений некоторого события в серии из n опытов, если в отдельном опыте вероятность появления события составляет p. При этом вероятность появления события ровно k и определяется

$$P_k = C_n^k p^k (1-p)^{n-k}, \quad (12)$$

где C_n^k - биномиальный коэффициент, называемый “числом сочетаний по k из n” (т.е. сколькими разными способами можно реализовать ситуацию “k из n”):

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}. \quad (13)$$

Значения биномиальных коэффициентов приведены в приложении 1.

Поскольку для отказа системы “m из n” достаточно, чтобы количество исправных элементов было меньше m, вероятность отказа может быть найдена по теореме сложения вероятностей для $k = 0, 1, \dots, (m-1)$:

$$Q = \sum_{k=0}^{m-1} P_k = \sum_{k=0}^{m-1} C_n^k p^k (1-p)^{n-k}. \quad (14)$$

Аналогичным образом можно найти вероятность безотказной работы как сумму для $k=m, m+1, \dots, n$:

$$P = \sum_{k=m}^n P_k = \sum_{k=m}^n C_n^k p^k (1-p)^{n-k}. \quad (15)$$

Очевидно, что $Q+P=1$, поэтому в расчетах следует выбирать ту из формул, которая в данном конкретном случае содержит меньшее число слагаемых.

Для системы “2 из 5” (см. рис. 3) получим:

$$P = C_5^2 p^2 (1-p)^3 + C_5^3 p^3 (1-p)^2 + C_5^4 p^4 (1-p) + C_5^5 p^5 = 10p^2(1-p)^3 + 10p^3(1-p)^2 + 5p^4(1-p) + p^5 = 10p^2 - 20p^3 + 15p^4 - 4p^5. \quad (16)$$

Вероятность отказа той же системы по:

$$Q = C_5^0 (1-p)^5 + C_5^1 p(1-p)^4 = (1-p)^5 + 5p(1-p)^4 = 1 - 10p^2 + 20p^3 - 15p^4 + 4p^5, \quad (17)$$

что дает тот же результат для вероятности безотказной работы.

В табл.2 приведены формулы для расчета вероятности безотказной работы систем типа “m из n” при $m \leq n \leq 5$. Очевидно, при $m=1$ система превращается в обычную систему с параллельным соединением элементов, а при $m=n$ - с последовательным соединением [4].

Таблица 2

Формулы для расчета вероятности безотказной работы систем типа “m из n” при $m \leq n \leq 5$

Общее число элементов , n					
m	1	2	3	4	5
1	p	2p-p ²	3p-3p ² +p ³	4p-6p ² +4p ³ -p ⁴	5p-10p ² +10p ³ -5p ⁴ +p ⁵
2	-	P ²	3p ² -2p ³	6p ² -8p ³ +3p ⁴	10p ² -20p ³ +15p ⁴ -4p ⁵
3	-	-	p ³	4p ³ -3p ⁴	10p ³ -15p ⁴ +6p ⁵
4	-	-	-	p ⁴	5p ⁴ -4p ⁵
5	-	-	-	-	p ⁵

Мостиковые схемы. Мостиковая структура (рис. 4, а, б) не сводится к параллельному или последовательному типу соединения элементов, а представляет собой параллельное соединение последовательных цепочек элементов с *диагональными* элементами, включенными между узлами различных параллельных ветвей (элемент 3 на рис. 4, а, элементы 3 и 6 на рис. 4, б). Работоспособность такой системы определяется не только

количеством отказавших элементов, но и их положением в структурной схеме. Например, работоспособность АС, схема которой приведена на рис. 4, а, будет утрачена при одновременном отказе элементов 1 и 2, или 4 и 5, или 2, 3 и 4 и т.д.. В то же время отказ элементов 1 и 5, или 2 и 4, или 1, 3 и 4, или 2, 3 и 5 к отказу системы не приводит.

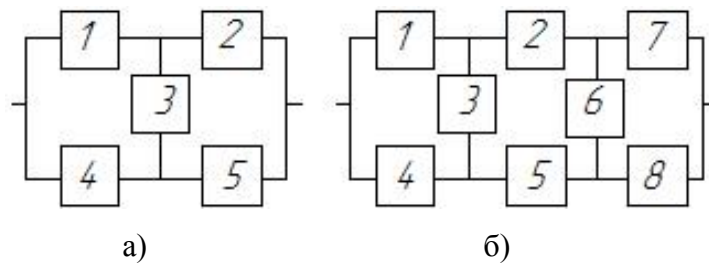


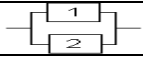
Рис.4. Мостиковые системы

Для расчета надежности мостиковых систем можно воспользоваться *методом прямого перебора*, как это было сделано для систем “m из n”, но при анализе работоспособности каждого состояния системы необходимо учитывать не только число отказавших элементов, но и их положение в схеме (табл. 3).

Таблица 3

Таблица состояний мостиковой системы

№ состояния элементов	Состояние					Вероятность состояния системы		
	1	2	3	4	5		в общем случае	при равнонадёжных элементах
1	+	+	+	+	+	+	$p_1 p_2 p_3 p_4 p_5$	p^5
2	+	+	+	+	-	+	$p_1 p_2 p_3 p_4 q_5$	$p^4 q = p^4 (1 - p)$
3	+	+	+	-	+	+	$p_1 p_2 p_3 q_4 p_5$	-
4	+	+	-	+	+	+	$p_1 p_2 q_3 p_4 p_5$	-
5	+	-	+	+	+	+	$p_1 q_2 p_3 p_4 p_5$	-
6	-	+	+	+	+	-	$q_1 p_2 p_3 p_4 p_5$	-
7	+	+	+	-	-	+	$p_1 p_2 p_3 q_4 q_5$	$p^3 q^2 = p^3 (1 - p)^2$

8	+	+	-	+	-	+	$p_1 p_2 q_3 p_4 q_5$	-
9	+	-	+	+	-	+	$p_1 q_2 p_3 p_4 q_5$	-
10	-	+	+	+	-	-		-
11	+	+	-	-	+	+	$p_1 p_2 q_3 q_4 p_5$	-
12	+	-	+	-	+	+	$p_1 q_2 p_3 q_4 p_5$	-
13	-	+	+	-	+	-	$q_1 p_2 p_3 q_4 p_5$	-
14	+	-	-	+	+	+	$p_1 q_2 q_3 p_4 p_5$	-
15	-	+	-	+	+	-	$q_1 p_2 q_3 p_4 p_5$	-
16	-	-	+	+	+	-	$q_1 q_2 p_3 p_4 p_5$	-
17	+	+	-	-	-	+	$p_1 p_2 q_3 q_4 q_5$	$p^2 q^3 = p^2 (1-p)^3$
18	+	-	+	-	-	+	$p_1 q_2 p_3 q_4 q_5$	-
19	-	+	+	-	-	-	$q_1 p_2 p_3 q_4 q_5$	-
20	+	-	-	-	+	-	$p_1 q_2 q_3 q_4 p_5$	-
21	-	+	-	-	+	+	$q_1 p_2 q_3 q_4 p_5$	-
22	-	-	-	+	+	-	$q_1 q_2 q_3 p_4 p_5$	-
23	+	-	-	+	-	+	$p_1 q_2 q_3 p_4 p_5$	-
24	-	+	-	+	-	-	$q_1 p_2 q_3 p_4 q_5$	-
25	-	-	+	-	+	-	$q_1 q_2 p_3 q_4 p_5$	-
26	-	-	+	+	-	-	$q_1 q_2 p_3 p_4 q_5$	-
27	+	-	-	-	-	-	$p_1 q_2 q_3 q_4 q_5$	$p q^4 = p (1-p)^4$
28	-	+	-	-	-	-	$q_1 p_2 q_3 q_4 q_5$	-
29	-	-	+	-	-	-	$q_1 q_2 p_3 q_4 q_5$	-
30	-	-	-	+	-	-	$q_1 q_2 q_3 p_4 q_5$	-
31	-	-	-	-	+	-	$q_1 q_2 q_3 q_4 p_5$	-
32	-	-	-	-	-	-	$q_1 q_2 q_3 q_4 q_5$	$q^5 = (1-p)^5$

Вероятность безотказной работы системы определяется как сумма вероятностей всех работоспособных состояний:

$$P = p_1 p_2 p_3 p_4 p_5 + p_1 p_2 p_3 p_4 q_5 + p_1 p_2 p_3 q_4 p_5 + p_1 p_2 q_3 p_4 p_5 + p_1 q_2 p_3 p_4 p_5 + \\ + q_1 p_2 p_3 p_4 p_5 + p_1 p_2 q_3 p_4 q_5 + p_1 q_2 p_3 p_4 q_5 + q_1 p_2 p_3 p_4 q_5 + p_1 p_2 q_3 q_4 p_5 + \\ + p_1 q_2 p_3 q_4 p_5 + q_1 p_2 p_3 q_4 p_5 + p_1 q_2 q_3 p_4 p_5 + q_1 p_2 q_3 p_4 p_5 + q_1 q_2 q_3 p_4 p_5 + \\ + p_1 q_2 q_3 p_4 p_5.$$

В случае равнонадёжных элементов:

$$P = p^5 + 5p^4 q + 8p^3 q^2 + 2p^2 q^3 = 2p^5 - 5p^4 + 2p^3 + 2p^2. \quad (18)$$

Для анализа надежности АС, структурные схемы которых не сводятся к параллельному или последовательному типу, можно воспользоваться также *методом логических схем с применением алгебры логики* (булевой алгебры). Применение этого метода сводится к составлению для АС формулы алгебры логики, которая определяет условие работоспособности системы. При этом для каждого элемента и системы в целом рассматриваются два противоположных события - отказ и сохранение работоспособности.

Для составления логической схемы можно воспользоваться двумя методами: минимальных путей (рис.5.) и минимальных сечений (рис.6.). Рассмотрим *метод минимальных путей* для расчета вероятности безотказной работы на примере мостиковой схемы (см. рис. 4, а).

Минимальным путем называется последовательный набор работоспособных элементов системы, который обеспечивает ее работоспособность, а отказ любого из них приводит к ее отказу.

Минимальных путей в системе может быть один или несколько. Очевидно, система с последовательным соединением элементов (см. рис. 1.) имеет только один минимальный путь, включающий все элементы. В системе с параллельным соединением (см. рис. 2.) число минимальных путей совпадает с числом элементов, и каждый путь включает один из них.

Для мостиковой системы из пяти элементов (рис.4, а) минимальных путей четыре: (элементы 1 и 4), (2 и 5), (1, 3 и 5), (2, 3 и 5). Логическая схема такой системы (рис. 5.) составляется таким образом, чтобы все элементы каждого минимального пути были соединены друг с другом последовательно, а все минимальные пути параллельно.

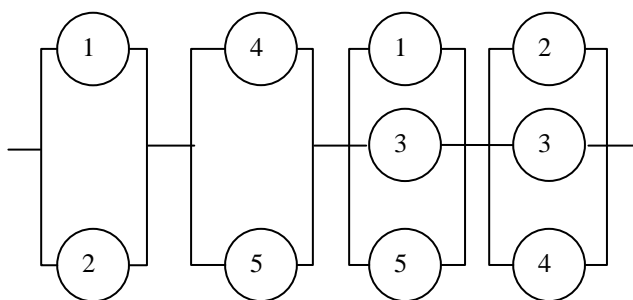
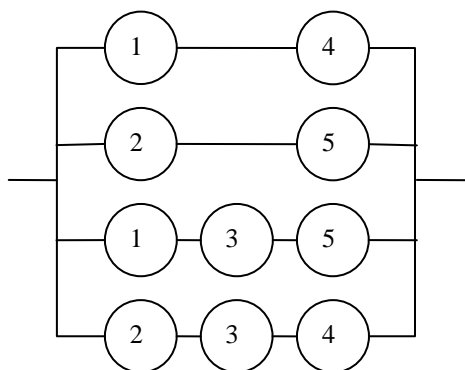


Рис.5. Логическая схема
мостиковой системы по
методу минимальных путей

Рис.6. Логическая схема мостиковой
системы по методу минимальных сечений

Затем для логической схемы составляется функция алгебры логики A по общим правилам расчета вероятности безотказной работы, но вместо символов вероятностей безотказной работы элементов P_i и системы P используются символы события (сохранения работоспособности элемента a_i и системы A). Так, “отказ” логической схемы рис. 5. состоит в одновременном отказе всех четырех параллельных ветвей, а “безотказная работа” каждой ветви - в одновременной безотказной работе ее элементов. Последовательное соединение элементов логической схемы соответствует логическому умножению (“И”), параллельное - логическому сложению (“ИЛИ”). Следовательно, схема рис. 5. соответствует утверждению: система работоспособна, если работоспособны элементы 1 и 4, или 2 и 5, или 1,3 и 5, или 2,3 и 4. Функция алгебры логики запишется:

$$A = 1 - (1 - a_1 a_4)(1 - a_2 a_5)(1 - a_1 a_3 a_5)(1 - a_2 a_3 a_4). \quad (19)$$

Переменные, a рассматриваются как булевы, т.е. могут приниматься только два значения: 0 или 1. Тогда при возведении в любую степень k любая переменная a сохраняет свое значение: $a_i^k = a_i$. На основе этого свойства функция алгебры логики может быть преобразована к виду

$$A = a_1 a_4 + a_2 a_5 + a_1 a_3 a_5 + a_2 a_3 a_4 - a_1 a_2 a_3 a_4 - a_1 a_2 a_3 a_5 - 2a_1 a_2 a_4 a_5 - a_2 a_3 a_4 a_5 + 2a_1 a_2 a_3 a_4 a_5. \quad (20)$$

Заменив символы событий a_i их вероятностями p_i , получим уравнение для определения вероятности безотказной работы системы

$$P = p_1 p_4 + p_2 p_5 + p_1 p_3 p_5 + p_2 p_3 p_4 - p_1 p_2 p_3 p_4 - p_1 p_2 p_3 p_5 - 2p_1 p_2 p_4 p_5 - p_2 p_3 p_4 p_5 + 2p_1 p_2 p_3 p_4 p_5. \quad (21)$$

Метод минимальных путей дает точное значение только для сравнительно простых систем с небольшим числом элементов. Для более

сложных систем результат расчета является нижней границей вероятности безотказной работы.

Для расчета верхней границы вероятности безотказной работы системы служит *метод минимальных сечений*. *Минимальным сечением* называется набор неработоспособных элементов, отказ которых приводит к отказу системы, а восстановление работоспособности любого из них - к восстановлению работоспособности системы. Минимальных сечений может быть несколько. Система с параллельным соединением элементов имеет только одно минимальное сечение, включающее все ее элементы (восстановление любого восстановит работоспособность системы). В системе с последовательным соединением элементов число минимальных путей совпадает с числом элементов, и каждое сечение включает один из них.

В мостиковой системе (см. рис. 4, а) минимальных сечений четыре (элементы 1 и 2), (4 и 5), (1, 3 и 5), (2, 3 и 4). Логическая схема системы (см. рис.б.) составляется таким образом, чтобы все элементы каждого минимального сечения были соединены друг с другом параллельно, а все минимальные сечения - последовательно. Аналогично методу минимальных путей, составляется функция алгебры логики. “Безотказная работа” логической системы рис. 6. заключается в “безотказной работе” всех последовательных участков, а “отказ” каждого из них - в одновременном “отказе” всех параллельно включенных элементов. Как видно, поскольку схема метода минимальных сечений формулирует условия отказа системы, в ней последовательное соединение соответствует логическому “ИЛИ”, а параллельное - логическому “И”. Схема рис. 6. соответствует формулировке: система откажет, если откажут элементы 1 и 2, или 4 и 5, или 1, 3 и 5, или 2, 3 и 4. Функция алгебры логики запишется:

$$A = [1 - (1 - a_1)(1 - a_2)] \cdot [1 - (1 - a_4)(1 - a_5)] \cdot [1 - (1 - a_1)(1 - a_3)(1 - a_5)] \cdot [1 - (1 - a_2)(1 - a_3)(1 - a_4)] \quad (22)$$

После преобразований с использованием свойств булевых переменных и

после замены событий их вероятностями переходит в выражение для определения вероятности безотказной работы [5].

В ряде случаев анализа надежности ТС удастся воспользоваться *методом разложения относительно особого элемента*, основанным на известной в математической логике теореме о разложении функции логики по любому аргументу. Согласно ей, можно записать:

$$P = p_i P(p_i = 1) + q_i P(p_i = 0), \quad (23)$$

где p_i и $q_i = 1 - p_i$ - вероятности безотказной работы и отказа i -го элемента, $P(p_i = 1)$ и $P(p_i = 0)$ - вероятности работоспособного состояния системы при условии, что i -й элемент абсолютно надежен и что i -й элемент отказал. Для мостиковой схемы (см. рис. 4, а) в качестве особого элемента целесообразно выбрать диагональный элемент 3. При $p_3 = 1$ мостиковая схема превращается в параллельно - последовательное соединение (рис. 7, а), а при $p_3 = 0$ - в последовательно - параллельное (рис. 7, б).

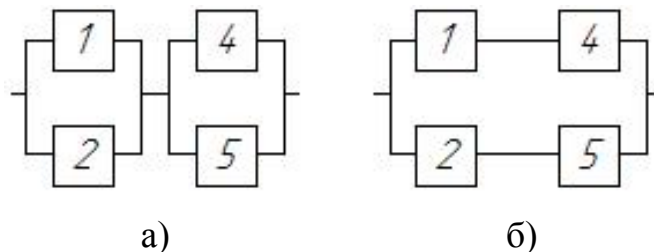


Рис.7. Преобразование мостиковой схемы при абсолютно надёжном (а) и отказавшем (б) центральном элементе

Для преобразованных схем можно записать:

$$P(p_3 = 1) = [1 - (1 - p_1)(1 - p_2)] \cdot [1 - (1 - p_4)(1 - p_5)], \quad (24)$$

$$P(p_3 = 0) = 1 - (1 - p_1 p_4)(1 - p_2 p_5). \quad (25)$$

Тогда получим:

$$P = p_3 [1 - (1 - p_1)(1 - p_2)] \cdot [1 - (1 - p_4)(1 - p_5)] + (1 - p_3) [1 - (1 - p_1 p_4)(1 - p_2 p_5)]. \quad (26)$$

Комбинированные системы. Большинство реальных АС имеет сложную комбинированную структуру, часть элементов которой образует

последовательное соединение, другая часть - параллельное, отдельные ветви элементы или ветви структуры образуют мостиковые схемы или типа “ m из n ”.

Метод прямого перебора для таких систем практически не реализуем. Более целесообразно в этих случаях предварительно произвести декомпозицию системы, разбив ее на простые подсистемы - группы элементов, методика расчета надежности которых известна. Затем эти подсистемы в структурной схеме надежности заменяются квазиэлементами с вероятностями безотказной работы, равными вычисленным вероятностям безотказной работы этих подсистем. При необходимости такую процедуру можно выполнить несколько раз до тех пор, пока оставшиеся квазиэлементы не образуют структуру.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Методы повышения надежности. Расчетные зависимости для определения основных характеристик надежности АС показывают, что надежность системы зависит от ее структуры (структурно - логической схемы) и надежности элементов. Поэтому для сложных систем возможны два пути повышения надежности: повышение надежности элементов и изменение структурной схемы.

Повышение надежности элементов на первый взгляд представляется наиболее простым приемом повышения надежности системы. Действительно, теоретически всегда можно указать такие характеристики надежности элементов, чтобы вероятность безотказной работы системы удовлетворяла заданным требованиям. Однако практическая реализация такой высокой надежности элементов может оказаться невозможной. Рассмотрение методов обеспечения надежности элементов ТС является предметом специальных технологических и физико-химических дисциплин и выходит за рамки теории надежности. Однако, в любом случае, высоконадежные элементы, как правило, имеют большие габариты, массу и

стоимость. Исключение составляет использование более совершенной элементной базы, реализуемой на принципиально новых физических и технологических принципах (например, в РЭС - переход от дискретных элементов на интегральные схемы) [2].

Изменение структуры системы с целью повышения надежности подразумевает два аспекта.

С одной стороны, это означает перестройку конструктивной или функциональной схемы ТС (структуры связей между составными элементами), изменение принципов функционирования отдельных частей системы (например, переход от аналоговой обработки сигналов к цифровой). Такого рода преобразования ТС возможны исключительно редко, так что этот прием, в общем, не решает проблемы надежности.

С другой стороны, изменение структуры понимается как введение в ТС дополнительных, избыточных элементов, включающихся в работу при отказе основных. Применение дополнительных средств и возможностей с целью сохранения работоспособного состояния объекта при отказе одного или нескольких его элементов называется резервированием.

Принцип резервирования подобен рассмотренному ранее параллельному соединению элементов и соединению типа “ n из m ”, где за счет избыточности возможно обеспечение более высокой надежности системы, чем ее элементов.

Выделяют несколько видов резервирования: временное, информационное, функциональное и др. Для анализа структурной надежности ТС интерес представляет структурное резервирование - введение в структуру объекта дополнительных элементов, выполняющих функции основных элементов в случае их отказа.

Классификация различных способов структурного резервирования осуществляется по следующим признакам:

- 1) по схеме включения резерва:
 - общее резервирование, при котором резервируется объект в целом;

- раздельное резервирование, при котором резервируются отдельные элементы или их группы;

- смешанное резервирование, при котором различные виды резервирования сочетаются в одном объекте;

2) по способу включения резерва:

- постоянное резервирование, без перестройки структуры объекта при возникновении отказа его элемента;

- динамическое резервирование, при котором при отказе элемента происходит перестройка структуры схемы. В свою очередь подразделяется на:

- а) резервирование замещением, при котором функции основного элемента передаются резервному только после отказа основного;

- б) скользящее резервирование, при котором несколько основных элементов резервируется одним или несколькими резервными, каждый из которых может заменить любой основной (т.е. группы основных и резервных элементов идентичны).

3) по состоянию резерва:

- нагруженное резервирование, при котором резервные элементы (или один из них) находятся в режиме основного элемента;

- облегченное резервирование, при котором резервные элементы (по крайней мере, один из них) находятся в менее нагруженном режиме по сравнению с основными;

- ненагруженное резервирование, при котором резервные элементы до начала выполнения ими функций находятся в ненагруженном режиме.

Основной характеристикой структурного резервирования является кратность резервирования - отношение числа резервных элементов к числу резервируемых ими основных элементов, выраженное несокращаемой дробью (типа 2:3; 4:2 и т.д.). Резервирование одного основного элемента одним резервным (т.е. с кратностью 1:1) называется дублированием.

Количественное повышение надежности системы в результате резервирования или применения высоконадежных элементов можно оценить по коэффициенту выигрыша надежности, определяемому как отношение показателя надежности до и после преобразования системы [4].

Методика расчета показателей надежности

В процессе разработки системы автоматизированного контроля и управления, расчёт необходимого уровня надежности системы производится с учетом следующих обстоятельств:

- АСУ ТП является многофункциональной системой, в состав которой входят технические средства и обслуживающий персонал (в выполнении той или иной функции могут использоваться технические средства и оперативный персонал);

- надежность АСУ ТП зависит от особенностей программ и алгоритмов, реализуемых техническими средствами и оперативным персоналом;

- оценка надежности производится с учетом надежности только технических средств.

При оценке надёжности разрабатываемой системы АСУ ТП, рассматривают работу системы как некоторую функцию. При этом отказом функции является полная потеря способности разработанной системы выполнять эту функцию или нарушение хотя бы одного из требований, предъявляемых к качеству выполнения этой функции, возникающее при заданных условиях эксплуатации АСУ ТП и нормально функционирующем технологическом объекте управления [9].

На стадии проектирования системы АСУ ТП, рассматриваются следующие показатели надёжности:

- наработка на отказ (T_i от часов до лет);
- время восстановления работоспособности (T_v);
- время установленного функционирования (t_I);
- средний ресурс наработки до предельного состояния (t_I);
- гамма % ресурс - наработка, в течение которой объект достигает предельного состояния с вероятностью g (t_{Rg});
- средний срок службы (t_k);
- коэффициент планового применения ($K_{пп}$);
- коэффициент готовности (K_g);
- коэффициент оперативной готовности ($K_{ог}$);
- коэффициент технического использования ($K_{ти}$);
- параметр потока отказа (вед.врем.);
- средняя частота отказов (интенсивность отказов) (λ /ед.врем.);
- вероятность отказов ($Q(t); q$);
- вероятность безотказной работы ($P(t); p$);
- частота аварии (L_k).

Расчёт показателей надёжности производится в следующей последовательности:

- определяется перечень функций системы, к которым предъявляются требования с точки зрения надежности;
- определяется состав технических средств, участвующих в реализации функций системы;
- строится структурно-логическая схема расчета надежности, представляющая собой последовательно-параллельное соединение технических средств, участвующих в реализации функций системы.

Для каждого технического средства, участвующего в расчёте надёжности определяются следующие параметры как поток отказов по формуле (4.1) и поток восстановления по формуле (3.2):

$$\lambda = \frac{1}{T}, \quad (3.1)$$

$$\mu = \frac{1}{T_B}. \quad (3.2)$$

Проводится упрощение структурно-логической схемы расчета надежности функций. Суть этого упрощения заключается в объединении не резервированных технических средств, входящих в не зарезервированные участки. При этом совокупность последовательно соединенных не зарезервированных технических средств заменяется одним эквивалентным элементом, имеющим характеристики параметров потока отказов и восстановления, определяемых по формулам [9]:

Поток отказов (интенсивность отказов):

$$\lambda_3 = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n. \quad (3.3)$$

Поток восстановления:

$$\mu_3 = \frac{\mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \dots \cdot \mu_n \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)}{\lambda_1 \cdot \mu_2 \cdot \dots \cdot \mu_n + \lambda_2 \cdot \mu_2 \cdot \dots \cdot \mu_n + \lambda_n \cdot \mu_2 \cdot \dots \cdot \mu_n} . \quad (3.4)$$

Для параллельного соединения при нагруженном резервировании рассчитываются следующие значения показателей надёжности:

Наработка на отказ:

$$T_3 = \frac{\mu + 3\lambda}{2 \cdot \lambda^2} . \quad (3.5)$$

Коэффициент готовности по функции:

$$K_{ГЗ} = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ -(\lambda_1 - \lambda_2) & \mu_1 & \mu_2 & 0 \\ \lambda_1 & -(\lambda_2 + \mu_1) & 0 & \mu_2 \\ \lambda_2 & 0 & -(\lambda_1 + \mu_2) & \mu_1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -(\lambda_1 + \lambda_2) & \mu_1 & \mu_2 & 0 \\ \lambda_1 & -(\lambda_2 + \mu_1) & 0 & \mu_2 \\ \lambda_2 & 0 & -(\lambda_1 + \mu_2) & \mu_1 \end{vmatrix}} . \quad (3.6)$$

Среднее время восстановления:

$$T_{BЗ} = \frac{T_3 \cdot (1 - K_{ГЗ})}{K_{ГЗ}} . \quad (3.7)$$

Проводится определение показателей надёжности по формулам:

Среднее время безотказной работы:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_3} . \quad (3.8)$$

Вероятность безотказной работы:

$$P(t) = e^{\frac{-t}{T}} = e^{-\lambda t} . \quad (3.9)$$

Среднее время восстановления:

$$T_B = \sum_{i=1}^K P_i \cdot \tau_i \quad (3.10)$$

Вероятность того, что отказ системы вызван выходом из строя элемента i -й группы:

$$P_i = \frac{N_i \cdot \lambda_i}{\sum_{i=1}^K N_i \cdot \lambda_i} = \frac{N_i \cdot \lambda_i}{\Lambda(\lambda)} \quad (3.11)$$

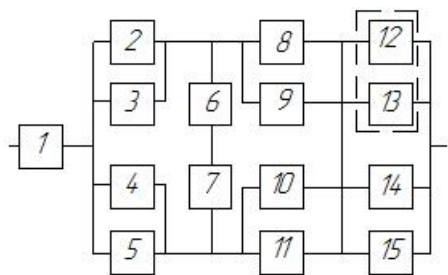
где t_i - среднее время, затрачиваемое на обнаружение и устранение неисправности (отказа) элемента данной группы;

K - количество групп одноптипных элементов с одинаковыми режимами;

i - количество элементов с одинаковыми режимами.

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ

Структурная схема надежности приведена на рис. 8. Значения интенсивности отказов элементов даны в $10^{-6}/\text{ч}$.



$$\lambda_1 = 0,001$$

$$\lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = 0,1$$

$$\lambda_6 = \lambda_7 = 0,01$$

$$\lambda_8 = \lambda_9 = \lambda_{10} = \lambda_{11} = 0,2$$

$$\lambda_{12} = \lambda_{13} = \lambda_{14} = \lambda_{15} = 0,5$$

$$\gamma = 50\%$$

Рис.8. Исходная схема системы

1. В исходной схеме элементы 2 и 3 образуют параллельное соединение. Заменяем их квазиэлементом А.

$$P_A = 1 - q_2 q_3 = 1 - q_2^2 = 1 - (1 - p_2)^2$$

2. Элементы 4 и 5 также образуют параллельное соединение, заменив которое элементом В и учитывая, что $p_4 = p_5 = p_6$, получим

$$p_B = 1 - q_4 q_5 = 1 - q_2^2 = p_A$$

3. Элементы 6 и 7 в исходной схеме соединены последовательно. Заменяем их элементом С, для которого при $p_6 = p_7$

$$p_C = p_6 p_7 = p_6^2$$

4. Элементы 8 и 9 образуют параллельное соединение. Заменяем их элементом D, для которого при $p_8 = p_9$, получим

$$p_D = 1 - q_8 q_9 = 1 - q_8^2 = 1 - (1 - p_8)^2$$

5. Элементы 10 и 11 с параллельным соединением заменяем элементом Е, причем, так как $p_{10} = p_{11} = p_8$, то

$$p_E = 1 - q_{10} q_{11} = 1 - q_{10}^2 = 1 - (1 - p_{10})^2 = p_D$$

6. Элементы 12, 13, 14 и 15 образуют соединение “2 из 4”, которое заменяем элементом F. Так как $p_{12} = p_{13} = p_{14} = p_{15}$, то для определения вероятности безотказной работы элемента F можно воспользоваться комбинаторным методом:

$$P_E = \sum_{k=2}^4 p_k = \sum_{k=2}^4 C_4^k p_{12}^k (1 - p_{12})^{4-k} = \frac{4!}{2!2!} p_{12}^2 (1 - p_{12})^2 + \frac{4!}{3!1!} p_{12}^3 (1 - p_{12}) + \frac{4!}{4!0!} p_{12}^4 = 6 p_{12}^2 (1 - p_{12})^2 + 4 p_{12}^3 (1 - p_{12}) + p_{12}^4 = 6 p_{12}^2 - 8 p_{12}^3 + 3 p_{12}^4.$$

7. Преобразованная схема изображена на рис. 9.

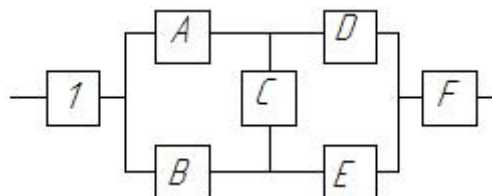


Рис.9. Преобразованная схема

8. Элементы А, В, С, D и Е образуют (рис. 9.) мостиковую систему, которую можно заменить квазиэлементом G. Для расчета вероятности безотказной работы воспользуемся методом разложения относительно

особого элемента (см. раздел 3.4), в качестве которого выберем элемент С. Тогда

$$p_G = p_C p_G(p_C = 1) + q_C p_C(p_C = 0),$$

где $p_G(p_C = 1)$ - вероятность безотказной работы мостиковой схемы при абсолютно надежном элементе С (рис. 10, а), $p_G(p_C = 0)$ - вероятность безотказной работы мостиковой схемы при отказавшем элементе С (рис.10, б).

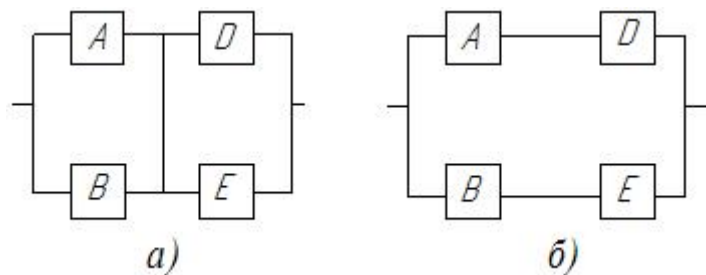


Рис.10. Преобразования мостиковой схемы при абсолютно надёжном (а) и отказавшем (б) элементе С

Учитывая, что $p_B = p_A$, получим:

$$\begin{aligned} p_G &= p_C [1 - (1 - p_A)(1 - p_B)] \cdot [1 - (1 - p_D)(1 - p_E)] + \\ &+ (1 - p_C) [1 - (1 - p_A p_B)(1 - p_D p_E)] = \\ &= p_C [1 - (1 - p_A)^2] \cdot [1 - (1 - p_D)^2] + (1 - p_C) [1 - (1 - p_A^2)(1 - p_D^2)] = \\ &= p_C (2p_A - p_A^2)(2p_D - p_D^2) + (1 - p_C)(p_A^2 + p_D^2 - p_A^2 p_D^2) = \\ &= p_A p_C p_D (2 - p_A)(2 - p_D) + (1 - p_C)(p_A^2 + p_D^2 - p_A^2 p_D^2). \end{aligned}$$

9. После преобразований схема изображена на рис. 11.

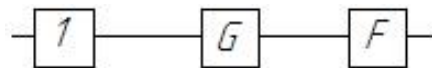


Рис.11. Преобразованная схема

10. В преобразованной схеме (см.рис. 11) элементы 1, G и F образуют последовательное соединение. Тогда вероятность безотказной работы всей системы

$$P = p_1 p_G p_F.$$

11. Так как по условию все элементы системы работают в периоде нормальной эксплуатации, то вероятность безотказной работы элементов с 1 по 15 подчиняются экспоненциальному закону: $P_i = \exp^{(-\lambda_i t)}$.

12. Результаты расчетов вероятностей безотказной работы элементов 1 - 15 исходной схемы для наработки до $3 \cdot 10^6$ часов представлены в табл. 4.

13. Результаты расчетов вероятностей безотказной работы квазиэлементов А, В, С, D, E, F и G по также представлены в таблице 4.

Таблица 4

Расчет вероятности безотказной работы системы

Элемент	λ , $\times 10^{-6}$ ч^{-1}	Наработка t, x 10^6 ч							
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	1,9	2,85
1	0,001	0,9995	0,9990	0,9985	0,9980	0,9975	0,9970	0,9981	0,9972
2 - 5	0,1	0,9512	0,9048	0,8607	0,8187	0,7788	0,7408	0,8270	0,7520
6,7	0,01	0,9950	0,9900	0,9851	0,9802	0,9753	0,9704	0,9812	0,9719
8 - 11	0,2	0,9048	0,8187	0,7408	0,6703	0,6065	0,5488	0,6839	0,5655
12 - 15	0,5	0,7788	0,6065	0,4724	0,3679	0,2865	0,2231	0,3867	0,2405
A, B	-	0,9976	0,9909	0,9806	0,9671	0,9511	0,9328	0,9701	0,9385
C	-	0,9900	0,9801	0,9704	0,9608	0,9512	0,9417	0,9628	0,9446
D, E	-	0,9909	0,9671	0,9328	0,8913	0,8452	0,7964	0,9001	0,8112
F	-	0,9639	0,8282	0,6450	0,4687	0,3245	0,2172	0,5017	0,2458
G	-	0,9924	0,9888	0,9863	0,9820	0,9732	0,9583	0,9832	0,9594
P	-	0,9561	0,8181	0,6352	0,4593	0,3150	0,2075	0,4923	0,2352
12` - 15`	0,322	0,8513	0,7143	0,6169	0,5252	0,4471	0,3806	0,5424	0,3994
F`	-	0,9883	0,9270	0,8397	0,7243	0,6043	0,4910	0,7483	0,5238
P`	-	0,9803	0,9157	0,8270	0,7098	0,5866	0,4691	0,7343	0,5011
16 - 18	0,5	0,7788	0,6065	0,4724	0,3679	0,2865	0,2231	0,3867	0,2405
F``	-	0,9993	0,9828	0,9173	0,7954	0,6413	0,4858	0,8233	0,5311
P``	-	0,9912	0,9708	0,9034	0,7795	0,6226	0,4641	0,8079	0,5081

Таблица 5

Численные значения параметров к заданию

№	γ,	Интенсивности отказов элементов, λ _и , х10 ⁻⁶ 1/ч														
вар.	%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	90	0.1	1.0				0.5		1.0				0.1			
2	95	0.2	0.5								1.0				0.1	
3	80	0.1	1.0				2.0		1.0				5.0		0.2	

№	γ,	Интенсивности отказов элементов, λ ₁ , х10 ⁻⁶ 1/ч															
вар.	%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
4	70	0.05	1.0				0.5				0.2				0.02		
5	50	0.01	0.05	0.1			0.5				1.0						
6	75	0.01	0.05	1.0								0.05		0.1	-		
7	65	0.05	0.5			0.05			0.005			0.1	0.2		0.1	-	
8	85	0.1	0.5		0.2			0.01			0.5		0.1		-		
9	60	0.03	0.5		0.2			1.0			0.03		0.1		-		
10	50	0.1	0.5			1.0		0.5				1.0		0.1	-		
11	75	0.05	0.2	0.5									0.2		0.1		
12	65	0.02	0.1	1.0					2.0				0.1		0.05		
13	70	0.01	0.2			0.1		1.0			0.5			0.1	-		
14	50	0.01	0.1	10.0				0.2		10.0			0.5		-		
15	85	0.01	1.0	5.0					0.2		5.0			0.1	-		
16	80	0.1	1.0	2.0	1.0		5.0			3.0			1.0		0.05		
17	95	0.1	5.0	1.0	5.0		10.0		5.0			1.0			0.2		
18	60	0.01	1.0												0.1	-	
19	75	0.1	5.0	0.5	5.0		1.0	3.0			1.0	5.0		0.5	5.0		
20	90	0.1	10.0				20.0						10.0				
21	90	0.1	1.0				0.5			2.0		0.5	0.2		1.0		
22	80	1.0					0.2	0.5		1.0		0.5	1.0		1.0		0.1
23	70	0.5	0.2	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.2			0.5	1.0		0.2		
24	60	1.0	2.0		4.0		2.0			4.0	5.0				1.0		
25	50	0.5	10.0				0.5	5.0				0.8	5.0	1.0		5.0	
26	60	1.0	2.0		3.0		5.0				2.0		5.0		1.0		

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ ДЛЯ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ СИСТЕМ

Для восстанавливаемых систем можно применять различные показатели безотказности. При задании потока отказов как дискретного случайного процесса $\eta(t)$ – числа отказов на интервале $(0, t)$ показателем безотказности является параметр потока отказов $\omega(t)$, определяемый соотношением:

$$\omega(t) = \frac{dW(t)}{dt},$$

где:

$$W(t)=M[\eta(t)],$$

$W(t)$ – ведущая функция потока, определяемая как математическое ожидание числа отказов за время t .

Для статистического определения параметра потока отказов поставим на испытания N одинаковых восстанавливаемых систем в одинаковых усло-

виях эксплуатации и при одинаковом техническом обслуживании. В момент $t=0$ все системы работоспособны и начинают работу. Продолжительностью восстановления будем пренебрегать. Обозначим $n_i(t)$ число отказов i -й системы ($i=1, N$) на интервале $(0, t)$. Тогда

$$\omega(t) = \sum_{i=1}^N \frac{n_i(t + \Delta t) - n_i(t)}{N\Delta t}$$

Таким образом, параметр потока отказов – отношение числа отказов системы на некотором малом отрезке времени к значению этого отрезка.

При задании потока отказов как последовательности случайных величин $\xi_1, \xi_2 \dots$ наработок между отказами показателем безотказности является

средняя наработка на отказ

$$\Theta = M[\xi_i] = \int_0^{\infty} tf(t)dt \quad (i=1, 2, \dots).$$

В простейшем потоке средняя наработка на отказ Θ и параметр потока ω связаны соотношением

$$\Theta = \frac{1}{\omega}.$$

Статистическое определение средней наработки на отказ

$$\tilde{\Theta} = \frac{Nt}{\sum_{i=1}^N n_i(t)}.$$

Показателями ремонтпригодности являются вероятность восстановления работоспособного состояния за заданное время t_1 и среднее время восстановления соответственно

$$G(t_1) = P\{T_B < t_1\}; \tau_B = M[T_B].$$

Статистические определения этих показателей:

$$\tilde{G}(t_1) = \frac{l(t_1)}{m}; \tilde{\tau}_B = \sum_{i=1}^m \frac{t_{Bi}}{m},$$

Примем, что плотность распределения наработки до отказа технических объектов имеет вид $f(t) = 2\lambda e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})$

Необходимо получить аналитические выражения для вычисления таких показателей надежности, как вероятность безотказной работы, средняя наработка до отказа, параметр потока отказов.

Решение задачи. Вероятность безотказной работы вычисляется следующим образом:

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt = \int_t^{\infty} 2\lambda e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda t}) dt = 2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t} = e^{-\lambda t} (2 - e^{-\lambda t})$$

где $l(t_1)$ – число восстановлений, длительность которых меньше t_1 ; m – общее число восстановлений; t_{Bi} – время восстановления после i -го отказа.

Календарную продолжительность от начала эксплуатации системы до перехода в предельное состояние называют сроком службы системы. Срок службы системы может быть случайной величиной, которую обозначим T_c . Тогда в качестве показателя долговечности можно принять средний срок службы:

$$\bar{T}_c = M[T_c],$$

или гамма-процентный срок службы t_γ , который определяется соотношением:

$$P\{T_c > t_\gamma\} = \frac{\gamma}{100}.$$

В качестве случайной величины при рассмотрении долговечности может быть принят не только календарный срок службы системы, но и ее ресурс – наработка от начала эксплуатации до перехода в предельное состояние.

Кроме приведенных выше показателей, каждый из которых характеризует одну из составляющих надежности, используются также комплексные показатели, отражающие совместно безотказность и ремонтпригодность.

Коэффициентом готовности k_g называют вероятность того, что система окажется работоспособной в произвольно выбранный момент времени в установившемся процессе эксплуатации. В альтернирующем процессе восстановления коэффициент готовности

$$k_g = \frac{\Theta}{\Theta + \tau_n},$$

т.е. этот коэффициент численно равен средней доле времени, в течение которого система пребывает в работоспособном состоянии.

Для статистического определения коэффициента готовности, поставим на испытания N одинаковых восстанавливаемых систем и обозначим $N_p(t_x)$ число систем, находящихся в состоянии работоспособности в произвольный, достаточно удаленный от начала испытаний момент времени t_x . Тогда

$$\tilde{k}_g = \frac{N_p(t_x)}{N}.$$

Коэффициентом оперативной готовности $k_{ог}(t)$ называют вероятность того, что система окажется работоспособной в произвольно выбранный момент времени в установившемся режиме эксплуатации и что, начиная с этого момента, система будет работать безотказно в течение заданного интервала времени t . Из этого определения следует, что в альтернирующем процессе восстановления

$$k_{ог}(t) = \frac{\Theta}{\Theta + \tau_n} P(t_x, t),$$

где $P(t_x, t)$ – условная вероятность безотказной работы системы на интервале $(t_x, t_x + t)$ при условии, что в момент t_x система была работоспособна.

Если распределение времени безотказной работы системы является экспоненциальным, тогда

$$k_{ог}(t) = \frac{\Theta}{\Theta + \tau_n} e^{-\lambda t}.$$

При определении коэффициента готовности и коэффициента оперативной готовности из рассмотрения исключены планируемые периоды времени, в течение которых применение систем по назначению не предусматривается (например, интервалы планового технического обслуживания). Эти периоды времени учитываются коэффициентом технического использования

$$k_{ти} = \frac{\tau_{р\Sigma}}{\tau_{р\Sigma} + \tau_{то\Sigma} + \tau_{в\Sigma}},$$

$\tau_{р\Sigma}, \tau_{то\Sigma}, \tau_{в\Sigma}$ – соответственно математические ожидания суммарных времен пребывания системы в работоспособном состоянии, технического обслуживания и восстановления за некоторый период эксплуатации $\tau\Sigma$.

Предположим, плотность распределения наработки до отказа объекта автоматизации имеет вид

$$f(t) = 2\lambda e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})$$

Нам необходимо получить аналитические выражения для вычисления таких показателей надежности, как вероятность безотказной работы, средняя наработка до отказа, параметр потока отказов.

Вероятность безотказной работы вычисляем следующим образом:

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt = \int_t^{\infty} 2\lambda e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda t}) dt = 2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t} = e^{-\lambda t} (2 - e^{-\lambda t})$$

Для вычисления параметра потока отказов используется уравнение Вольтерра, которое обычно решается с использованием преобразования Лапласа

$$\omega(s) = \frac{f(s)}{1 - f(s)}.$$

Вычислим $f(s)$:

$$f(s) = \int_0^{\infty} f(t) \cdot e^{-st} dt = \int_0^{\infty} 2\lambda e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda t}) \cdot e^{-st} dt = \frac{2\lambda}{\lambda + s} - \frac{2\lambda}{2\lambda + s},$$

Тогда преобразование Лапласа параметра потока отказов:

$$\omega(s) = \frac{f(s)}{1 - f(s)} = \frac{2\lambda^2}{s(3\lambda + s)} = \frac{2\lambda}{3s} - \frac{2\lambda}{3(3\lambda + s)}.$$

Для отыскания $\omega(t)$ найдем обратное преобразование Лапласа, предварительно разложив полученную дробь на простые дроби

$$\omega(t) = \frac{2\lambda}{3} (1 - e^{-3\lambda t})$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЕЗОТАКАЗНОЙ РАБОТЫ СИСТЕМЫ

Система состоит из 10 равнонадежных элементов, среднее время безотказной работы элемента $\tau = 1000$ ч. Предполагается, что справедлив экспоненциальный закон надежности для элементов системы и основная и резервная системы равнонадежны. Необходимо найти среднее время безотказной работы системы τ_c , а также частоту отказов $f_c(t)$ и интенсивность отказов $\lambda_c(t)$ в момент времени $t = 50$ ч в следующих случаях:

- а) нерезервированной системы,
- б) дублированной системы при постоянно включенном резерве.

Для нерезервированной системы:

Интенсивность отказов системы определяем по формуле:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i,$$

где $\lambda_c(t)$ – интенсивность отказов системы; $\lambda_i(t)$ – интенсивность отказов i -го элемента, $n=10$.

$$\lambda_i = \frac{1}{\tau_i} = \frac{1}{1000} = 0.001, \quad \lambda_c = \lambda_i \cdot n = 0.001 \cdot 10 = 0.01 \quad 1/\text{ч},$$

Среднее время безотказной работы системы:

$$\tau_c = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{0.01} = 100 \quad \text{ч.}$$

Определяем частоту отказов:

$$\begin{aligned} f_c(t) &= \lambda_c(t) \cdot p_c(t), \\ \lambda_c(50) &= \lambda_c = 0.01 \quad 1/\text{ч}, \quad p_c(t) = e^{-\lambda_c t}, \\ f_c(50) &= \lambda_c \cdot e^{-\lambda_c t} = 0.01 \cdot e^{-0.01 \cdot 50} = 6 \cdot 10^{-3} \quad 1/\text{ч}. \end{aligned}$$

Для дублированной системы при постоянно включенном резерве:

Среднее время безотказной работы системы резервированной системы:

$$\tau_c = \frac{1}{\lambda_c} \sum_{j=0}^m \frac{1}{1+j}; \quad m=1; \quad \tau_c = \frac{1}{0.01} \left(1 + \frac{1}{2} \right) = 150 \quad \text{ч.}$$

Вероятность безотказной работы системы с общим резервированием для экспоненциального закона надежности

$$p_c(t) = 1 - \left[1 - e^{-\lambda_0 t} \right]^{m+1}, \quad \lambda_0 = \lambda_c = 0.01 \quad 1/\text{ч}.$$

$$p_c(t) = 1 - \left[1 - e^{-\lambda_0 t} \right]^2 = 2e^{-\lambda_0 t} - e^{-2\lambda_0 t}, \quad p_c(50) = 2e^{-0.01 \cdot 50} - e^{-2 \cdot 0.01 \cdot 50} = 0.845.$$

Частота отказов системы с общим резервированием

$$\begin{aligned} f_c(t) &= -\frac{dp_c(t)}{dt} = \lambda_0 \cdot e^{-\lambda_0 t} \cdot 2 \cdot \left(1 - e^{-\lambda_0 t} \right) \\ f_c(t) &= 2 \cdot 0.01 \cdot e^{-0.01 \cdot 50} \cdot \left(1 - e^{-0.01 \cdot 50} \right) = 4.8 \cdot 10^{-3} \quad 1/\text{ч}. \end{aligned}$$

Интенсивность отказов системы с общим резервированием

$$\begin{aligned} \lambda_c(t) &= \frac{f_c(t)}{p_c(t)} = \frac{2\lambda_0 \cdot e^{-\lambda_0 t} \cdot \left(1 - e^{-\lambda_0 t} \right)}{2e^{-\lambda_0 t} - e^{-2\lambda_0 t}} = \frac{2\lambda_0 \cdot \left(1 - e^{-\lambda_0 t} \right)}{2 - e^{-\lambda_0 t}}, \\ \lambda_c(50) &= \frac{2 \cdot 0.01 \cdot \left(1 - e^{-0.01 \cdot 50} \right)}{2 - e^{-0.01 \cdot 50}} = 5.6 \cdot 10^{-3} \quad 1/\text{ч}. \end{aligned}$$

Архитектура системы управления

Архитектура управления АСУТП на базе аппаратных и программных средств представляет собой многоуровневую, дублированную, иерархическую систему. Основными критериями такой системы являются надёжность, информативность и современность. В общем виде Архитектура управления состоит из 5-ти блоков:



:

Поле – непосредственное место установки первичных преобразователей, исполнительных механизмов. Т.е. оборудование, само помещение или агрегат.

Аппаратная – место установки аппаратно-логических средств автоматизации,

Серверная – место размещения средств ацифровки и хранения информации, а так же программных средств автоматизации.

Иерархия допуска к управлению системой автоматизации имеет вид:



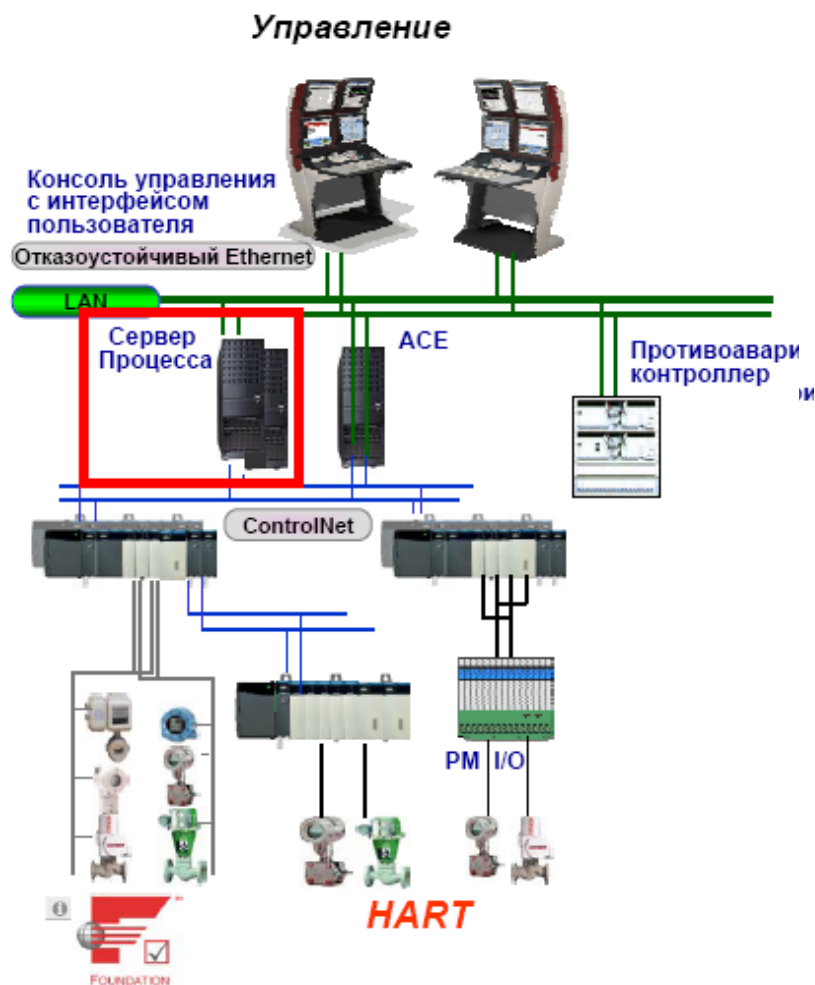
Оператор - низший уровень допуска, имеет доступ только к основным функциям управления системой на своём участке (запуск/прерывание цикла, соблюдение рецептов, проверка правильности хода технологического процесса).

Инженер (инженер-технолог) – средний уровень допуска, наряду с правами оператора имеет доступ к алгоритмам оптимизации процесса а также к любому участку системы с правами оператора, т.е. обладает более широким взглядом на процесс.

Менеджер – наряду с правами оператора и инженера обладает доступом к самой программной логике процесса и может вносить в неё изменения и коррективы.

Для надёжной и без перебойной связи с элементами Архитектуры системы управления используют следующие средства:

Серверы:



Сервер (служить) — в информационных технологиях — **программный компонент вычислительной системы**, выполняющий сервисные функции по запросу клиента, предоставляя ему доступ к определённым ресурсам или услугам.

Понятия сервер и клиент и закрепленные за ними роли образуют программную концепцию «клиент-сервер».

Для взаимодействия с клиентом сервер выделяет необходимые ресурсы межпроцессного взаимодействия и ожидает запросы на открытие соединения. В зависимости от типа такого ресурса, сервер может обслуживать процессы в пределах одной компьютерной системы или процессы на других машинах через каналы передачи данных или сетевые соединения.

Формат запросов клиента и ответов сервера определяется протоколом.

В зависимости от выполняемых задач одни серверы, при отсутствии запросов на обслуживание, могут простаивать в ожидании, а другие могут выполнять какую-то работу.

Аппаратными серверами называются узкоспециализированные решения со встроенным программным обеспечением, определяющим специализацию и возможные предоставляемые услуги. Аппаратные серверы, как правило, более просты и надежны в эксплуатации, потребляют меньше электроэнергии и, иногда, более дешевы. Но вместе с тем они менее гибки и, часто, ограничены в ресурсах.

Серверы услуг можно запускать на рабочей станции, чтобы они работали в фоне разделяя ресурсы компьютера с программами, запускаемыми пользователем. На рабочей станции работает несколько серверов, сервер удаленного доступа, сервер удаленного доступа к файловой системе и системе печати, и прочие удаленные и внутренние серверы.

Сервер может быть резервированным. Подсистема резервирования обеспечивает высоконадежную платформу, позволяя паре одинаково сконфигурированных серверов поддерживать друг друга в виде основной/резервный. В случае сбоя основного сервера, полную функциональность основного берет на себя резервный сервер.

Резервный сервер забирает управление у основного сервера в случае возникновения одного из следующих событий:

- Сбой аппаратной части основного сервера и резервный сервер не может установить связь с ним
- Все сетевые каналы между основным и резервным серверами разорваны
- Основной сервер теряет связь с контроллером C300
- Пользователь произвел переключение серверов вручную.

Станция

Операторские станции (комнаты) OS (operator station) представляют собой персональные компьютеры. В рамках клиент-серверной архитектуры

они ведут обмен данными с сервером, а не напрямую с контроллером. При этом операторских станций может быть несколько десятков.

Операторская станция служит для отображения технологической информации в виде интерактивных графических мнемосхем, а также для эффективного управления процессом. На мнемосхемах показывается исчерпывающая информация: параметры ввода/вывода, значения процессных переменных, аварийные сигнализации, диагностика аппаратных модулей системы, графики, отчеты и т.д. **На станции оператор может, например, посмотреть показание любого датчика, вручную закрыть клапан, запустить насос или изменить температурную уставку.**

Резервная станция – станция управления с варируемым допуском к управлению системой автоматизации, **подключена непосредственно к аппаратной по параллельному дублированному каналу.**

Отказоустойчивый Ethernet

Ethernet (*эзернет*, от лат. *aether* — эфир) — **пакетная технология компьютерных сетей**, преимущественно локальных. Стандарты Ethernet определяют проводные соединения и электрические сигналы на физическом уровне, формат кадров и протоколы управления доступом к среде — на канальном уровне модели OS1. Ethernet в основном описывается стандартами IEEE группы 802.3. Ethernet стал самой распространённой технологией ЛВС в середине 90-х годов прошлого века, вытеснив такие устаревшие технологии, как Arcnet, FDDI и Token ring.

Серверы поддерживают сетевую инфраструктуру резервированной и резервированной сети Ethernet для связи узлами системы.

ControlNet является детерминистской сетью управления реального времени, которая обеспечивает высокую степень эффективности протокола, путем использования встроенного механизма передачи маркера по высокоскоростной (5 мб/с) последовательной системе связи.

DeviceNet - протокол верхнего уровня разработанный в 1994 году компанией Allen Bradley. Служит для объединения в единую систему устройств промышленной автоматики, таких как фотодатчики, термодатчики, считыватели штрихкодов, элементы ЧМИ (человеко-машинного интерфейса), с управляющими устройствами (компьютерами, PLC). Сеть имеет шинную топологию. Допускает "горячее" подключение и отключение модулей.

DeviceNet - протокол для промышленной сети CAN. Используется для связи датчиков, исполнительных механизмов и программируемых логических контроллеров между собой.

Сеть Контроллера Процесса CNet

- Модуль Сетевого Интерфейса ControlNet (CNI) в Контроллере
- Карта PCIC в Сервере и ACE
- CNet для Супервизорной сети
- Стандартные возможности В/В

Контроллер Процесса

- Полное Резервирование Контроллера
 - Возможность Резервирования
 - Возможность Резервирования Сетей
 - Резервированные Контроллеры
- Одна среда выполнения управления для:
 - Регуляторного Управления
 - Логического Управления / Управления



Программируемый логический контроллер

Программируемый логический контроллер (ПЛК) или программируемый контроллер — специализированный цифровой компьютер, используемый для автоматизации технологических процессов. В отличие от компьютеров общего назначения, ПЛК имеют развитые устройства ввода-вывода сигналов датчиков и исполнительных механизмов, приспособлены для длительной *работы* без серьёзного обслуживания, а также для работы в неблагоприятных условиях окружающей среды. ПЛК являются устройствами реального времени.

Резервированная система В/В (входов/выходов)

- Семейство В/В РМ
- Резервированные В/В
- Оптоволоконные соединения
- До 64 резервированных В/В на С300
- Предохраняет от обрыва существующего кабеля
- Удаленные В/В на расстоянии до 8 км от контроллера
- Модули входов и выходов HART

Резервированная система В/В

Под словом резервированная система понимается запасная или аварийная система входов и выходов. При сбое основной системы всегда можно положиться на запасную и это концепция играет не маловажную роль на производствах.

ЦАП, АЦП - это такие преобразовательные блоки, в функции которых входит цифро-аналоговое и аналого-цифровое преобразование параметров чтоб была возможность обмениваться информацией с управляющей ЭВМ. В преобразователь встроен небольшой процессор.

Модули входов/выходов - распределяют информацию приходящая с поля по контроллеру. Модуль условно подразделяется на карты и каналы, для более быстрой проработки и распределения в контроллере.

***Fieldbus* - протокол предназначен в основном для связи программируемых контроллеров друг с другом и станциями оператора.** Он используется в тех областях, где высокая степень функциональности более важна нежели чем быстрое время реакции системы.

Основная нагрузка в протоколе FMS приходится на уровень приложений. Им предоставляются коммуникационные службы, которые могут использоваться непосредственно пользователем, которые отвечают за выполнение запросов в системе клиент-сервер. Коммуникационная модель PROFIBUS FMS допускает объединение распределенных процессов приложений в общий процесс с использованием коммуникационных связей. Часть процесса приложения в полевом

устройстве, которая может быть достигнута через коммуникацию называется виртуальным полевым устройством VFD. В нем находится словарь так называемых коммуникационных объектов, через которые и происходит связь между устройствами с помощью служб.

Foundation Fieldbus

- Надежный модуль связи Fieldbus, устанавливаемый на шасси
 - Разработано и построено Honeywell
- Дополнительное резервирование от шасси к шасси
- Единая, интегрированная база данных
- Простой в использовании построитель
 - Такой же построитель как и для C200 (Control Builder) – Не надо изучать новые инструменты
 - Оптимизированный для быстрой реакции
- Соединяемые между собой блоки FF и системные функциональные блоки на тех же чертежах
- Использование устройств FF с/без контроллера C200 (специальные решения Fieldbus)

HART

- **Интегрированный с Менеджером Конфигурации Полевых Устройств**

Протокол HART - широко известный промышленный стандарт для усовершенствования токовой петли 4-20 мА до возможности цифровой коммуникации. Использование этой технологии быстро растет, так как Заказчики уже оценили преимущества интеллектуального оборудования. Протокол HART позволяет передавать одновременно аналоговый и цифровой сигнал по одной и той же паре проводов. При этом сохраняется полная совместимость и надежность существующих аналоговых линий 4-20 мА. HART это:

Открытый стандарт, работающий с любой системой управления. Протокол HART поддерживается всеми ведущими производителями оборудования и программного обеспечения в области промышленной автоматизации.

Одновременная аналоговая и цифровая коммуникация HART-протокол позволяет передавать одновременно аналоговый и цифровой сигнал по одной и той же паре проводов.

Совместимость с существующим оборудованием 4-20 мА и линиями связи. Фактически, датчики с HART можно ставить на место аналоговых и с помощью средств HART-коммуникации использовать все преимущества цифрового обмена уже в существующих аналоговых системах.

Возможность подключения к одной линии нескольких датчиков. Объединение интеллектуальных датчиков в систему с цифровой передачей данных позволяет сократить расходы на кабельную продукцию, установку, наладку и на текущее техническое обслуживание.

Передача нескольких параметров одновременно. HART-протокол удобен при работе с многопараметрическими приборами (например, расходомерами), т.к. позволяет получать информацию о нескольких переменных процесса по одной паре проводов.

Использование во взрывоопасных зонах. Приборы, поддерживающие HART-протокол, могут устанавливаться во взрывоопасных зонах класса 0, класса 1 и класса 2.

АСЕ

- **Платформа основанная на Windows для оптимизации, запуска/останова узлов, и т.д.**
- **Программное обеспечение основанное на C200 CEE (Среда Выполнения Управления)**
- **Равноправное соединение с**
 - Серверами
 - Контроллерами Процесса

- Модулем Интерфейса Fieldbus
- Узлами Интеграции с TPS
- Серверами OPC сторонних производителей

ACE

ACE (сокр. от англ. Automatic Computing Engine, **Автоматическая вычислительная машина**) — первый компьютер разработанный в Великобритании. Выполнен по проекту Алана Тьюринга в 1946 году.

Противоаварийный Контроллер

FSC основано на Четырехкратном Модульном Резервировании (QMR) – технология 2oo4D

- Архитектура 2oo4D может работать с приложениями уровня SIL3 (AK6) в конфигурации с одиночным или резервированным контроллером, неограниченный период времени
- Подтвержденная TUV возможность модификации в реальном времени для
 - Критических Приложений Управления
 - Миграции/Обновления Программного обеспечения в реальном времени
 - Снижение времени и стоимости Инжиниринга
- Дистанционная поддержка через спутники и маршрутизаторы.

ОХРАНА ТРУДА

В разделе «Охрана труда» ВКР проекта рассматриваются вопросы обеспечения безопасности труда. В этой части рассматриваются проблемы, возникающие при проектировании и выборе варианта автоматизации линии технологического объекта. Большая часть технологических процессов, осуществляемых при помощи этой линии, представляет опасность для человека. Известно, что значительные отклонения от заданных технологических параметров - температуры, давления, уровня - могут при-

вести к крупным авариям. Автоматический контроль предельных значений технологических параметров, сигнализация, защита, управление различными процессами и их регулирование обеспечивают надежную и безопасную эксплуатацию установок, дают возможность предупредить или исключить возникновение аварийных ситуаций.

Для обеспечения безопасности труда, основными нормативными документами, являются Правила техники безопасности масложировой промышленности.

Анализ опасных и вредных производственных факторов

При эксплуатации линии по производству существует ряд опасных и вредных производственных факторов. Одним из таких факторов является шум. Человек постоянно подвергается воздействию шума. Источником шума являются электродвигатели, транспортеры, парогенераторы и др. Повышенный уровень шума на рабочих местах оказывает вредное воздействие на организм человека. В результате длительного воздействия шума нарушается нормальная деятельность сердечно-сосудистой и нервной системы, пищеварительных и кроветворных органов, развивается профессиональная тугоухость, прогрессирование которой может привести к полной потере слуха. Под влиянием интенсивного шума и вибрации наступают повышенная утомляемость и раздражительность, плохой сон, головная боль, ослабление памяти, внимания и остроты зрения, что ведет к снижению производительности труда и часто является причиной травматизма.

Немалую роль в обеспечении безопасных условий труда играют метеорологические условия производственной среды. Метеорологические условия производственной среды - температура, влажность и скорость движения воздуха, определяют теплообмен организма человека и оказывают существенное влияние на функциональное состояние различных систем организма, самочувствие, работоспособность и здоровье. Кроме того нарушение теплообмена (охлаждение или перегрев) усугубляет действие на человека вредных веществ, вибрации и других производственных факторов. Метео-

рологические условия производственной среды цеха, в котором установлена линия по производству рыбной муки зависят от физического состояния воздушной среды и характеризуются основными метеорологическими элементами, а также тепловым излучением нагретых поверхностей оборудования. Совокупность этих факторов, характерных для данного производственного участка, называется производственным микроклиматом. Метеорологические факторы, как каждый в отдельности, так и в различных сочетаниях, оказывают огромное влияние на функциональную деятельность человека, его самочувствие и здоровье. Для производственного цеха с линией по производству рыбной муки характерное суммарное действие метеорологических факторов. А именно, увеличение скорости движения воздуха ослабляет неблагоприятное действие высокой температуры и усиливает действие низкой; повышение влажности воздуха усугубляет действие как высокой, так и низкой температуры.

Рациональное освещение помещения и рабочих мест - один из важнейших элементов благоприятных условий труда. При правильном освещении повышается производительность труда, улучшаются условия безопасности, снижается утомляемость. При недостаточном освещении рабочий плохо видит окружающие предметы и плохо ориентируется в производственной обстановке. Успешное выполнение рабочих операций требует от него дополнительных усилий и большого зрительного напряжения. Неправильное и недостаточное освещение может привести к созданию опасных ситуаций. Наилучшие условия для полного зрительного восприятия создает солнечный свет.

Основная опасность при эксплуатации герметичных емкостей, работающих под давлением заключается в возможности их разрушения при внезапном расширении паров (физический взрыв). При физическом взрыве энергия сжатой среды в течении малого промежутка времени реализуется в кинетическую энергию осколков разрушенной емкости и ударную волну. Сеть трубопроводов является источником повышенной опасности; так как вследствие тяжелых условий эксплуатации происходит разрушение материала

труб и разгерметизация фланцевых соединений, а из-за большой протяженности и разветвленности сети контроль за ее состоянием затруднен, тем более в судовых условиях.

При работе в производственном цехе существует опасность поражения электрическим током. Действие электрического тока на живую ткань носит своеобразный и разносторонний характер. Проходя через организм, электрический ток производит термическое, электролитическое и биологическое действия. Любое из этих действий тока может привести к электрической травме, т.е. к повреждению организма, вызванному воздействием электрического тока.

ЭКОЛОГИЯ

Эко́логия (от [др.-греч.](#) *эко́с* — обиталище, жилище, дом, имущество и *λόγος* — понятие, учение, наука) — [наука](#) об отношениях живых организмов и их сообществ между собой и с окружающей средой. Термин впервые предложил немецкий биолог [Эрнст Геккель](#) в [1866 году](#) в книге «Общая морфология организмов» («Generelle Morphologie der Organismen»).

Современное значение понятия *экология* имеет более широкое значение, чем в первые десятилетия развития этой науки. В настоящее время чаще всего под экологическими вопросами ошибочно понимаются, прежде всего,

вопросы [охраны окружающей среды](#) (см. также [энвайронментализм](#)). Во многом такое смещение смысла произошло благодаря всё более ощутимым последствиям влияния человека на [окружающую среду](#), однако необходимо разделять понятия *ecological* («относящееся к науке экологии») и *environmental* («относящееся к окружающей среде»). Всеобщее внимание к экологии повлекло за собой расширение первоначально довольно чётко обозначенной Эрнстом Геккелем области знаний (исключительно биологических) на другие естественнонаучные и даже гуманитарные науки.

Классическое определение экологии: наука, изучающая взаимоотношения живой и неживой природы.

Два альтернативных определения данной науки:

- Экология — познание экономики природы, одновременное исследование всех взаимоотношений живого с органическими и неорганическими компонентами окружающей среды... Одним словом, экология — это наука, изучающая все сложные взаимосвязи в природе, рассматриваемые [Дарвином](#) как условия борьбы за существование.

Экология — биологическая наука, которая исследует структуру и функционирование систем надорганизменного уровня (популяции, сообщества, экосистемы) в пространстве и времени, в естественных и изменённых человеком условиях.

Второе определение дано на 5-м Международном экологическом конгрессе (1990) с целью противодействия размыванию понятия экологии, наблюдаемому в настоящее время. Однако это определение полностью исключает из компетенции экологии как науки аутоэкологию (см. ниже), что в корне неверно.

На всех стадиях своего развития человек был тесно связан с окружающим миром.

Но с тех пор как появилось высоко-индустриальное общество, опасное

вмешательство человека в природу резко усилилось, расширился объем этого вмешательства, оно стало многообразнее и сейчас грозит стать глобальной опасностью для человечества. Расход невозобновимых видов сырья повышается, все больше пахотных земель выбывает из экономики, так на них строятся города и заводы. Человеку приходится все больше вмешиваться в хозяйство биосферы – той части планеты, в которой существует жизнь. Биосфера Земли в настоящее время подвергается нарастающему антропогенному воздействию. При этом можно выделить несколько наиболее существенных процессов, любой из которых не улучшает экологическую ситуацию на планете.

Наиболее масштабным и значительным является химическое загрязнение среды несвойственными ей веществами химической природы. Среди них газообразные и аэрозольные загрязнители промышленно-бытового происхождения. Прогрессирует и накопление углекислого газа в атмосфере. Дальнейшее развитие этого процесса будет усиливать нежелательную тенденцию в сторону повышения среднегодовой температуры на планете. Вызывает тревогу у экологов и продолжающееся загрязнение Мирового океана нефтью и нефтепродуктами, достигшее уже 1/5 его общей поверхности.

Нефтяное загрязнение таких размеров может вызвать существенные нарушения газо- и водообмена между гидросферой и атмосферой. Не вызывает сомнений и значение химического загрязнения почвы пестицидами и её повышенная кислотность, ведущая к распаду экосистемы. В целом все рассмотренные факторы, которым можно приписать загрязняющий эффект, оказывают заметное влияние на процессы, происходящие в биосфере.

Развитие промышленности и транспорта, увеличение населения, проникновение человека в космос, интенсификация сельского хозяйства (применение удобрений и средств защиты растений), развитие нефтеперерабатывающей промышленности, захоронение опасных химических веществ на дне морей и океанов, а также отходов атомных

электростанций, испытания ядерного оружия - все это источники глобального и увеличивающегося загрязнения природной среды – земли, воды, воздуха.

Все это результат великих изобретений и завоеваний человека.

В основном существуют три основных источника загрязнения атмосферы: промышленность, бытовые котельные, транспорт. Доля каждого из этих источников в общем загрязнении воздуха сильно различается в зависимости от места. Сейчас общепризнанно, что наиболее сильно загрязняет воздух промышленное производство. Источники загрязнений – теплоэлектростанции, которые вместе с дымом выбрасывают в воздух сернистый и углекислый газ;

металлургические предприятия, особенно цветной металлургии, которые выбрасывают в воздух окислы азота, сероводород, хлор, фтор, аммиак, соединения фосфора, частицы и соединения ртути и мышьяка; химические и цементные заводы. Вредные газы попадают в воздух в результате сжигания топлива для нужд промышленности. Отопления жилищ, работы транспорта, сжигания и переработки бытовых и промышленных отходов. Атмосферные загрязнители разделяют на первичные, поступающие непосредственно в атмосферу, и вторичные, являющиеся результатом превращения последних.

Так, поступающий в атмосферу сернистый газ окисляется до серного ангидрида, который взаимодействует с парами воды и образует капельки серной кислоты. При взаимодействии серного ангидрида с аммиаком образуются кристаллы сульфата аммония. Подобным образом, в результате химических, фотохимических, физико-химических реакций между загрязняющими веществами и компонентами атмосферы, образуются другие вторичные признаки.

Основными вредными примесями являются следующие:

а) Оксид углерода. Получается при неполном сгорании углеродистых веществ. В Воздух он попадает в результате сжигания твердых отходов, с выхлопными газами и выбросами промышленных предприятий. Ежегодно

этого газа поступает в атмосферу не менее 250млн.т. Оксид углерода является соединением, активно реагирующим с составными частями атмосферы, и способствует повышению температуры на планете, и созданию парникового эффекта.

б) Сернистый ангидрид. Выделяется в процессе сгорания серосодержащего топлива или переработки сернистых руд. Часть соединений серы выделяется при горении органических остатков горнорудных отвалах. Только в США общее количество выброшенного в атмосферу сернистого ангидрида составило 65% от общемирового выброса.

в) Серный ангидрид. Образуется при окислении сернистого ангидрида.

Конечным продуктом реакции является аэрозоль или раствор серной кислоты в дождевой воде, который подкисляет почву, обостряет заболевания дыхательных путей человека. Выпадение аэрозоля серной кислоты из дымовых факелов химических предприятий отмечается при низкой облачности и высокой влажности воздуха.

Листовые пластинки растений произрастающих на расстоянии менее 1 км от таких предприятий, обычно бывают густо усеяны мелкими некротическими пятнами, образовавшихся в местах оседания капель серной кислоты.

г) Сероводород и сероуглерод. Поступают в атмосферу отдельно или вместе с другими соединениями серы. Основными источниками выброса являются предприятия по изготовлению искусственного волокна, сахара; коксохимические, нефте-перерабатывающие, а также нефтепромыслы. В атмосфере при взаимодействии с другими загрязнителями подвергаются медленному окислению до серного ангидрида.

д) Окислы азота. Основными источниками выброса являются предприятия, производящие азотные удобрения, азотную кислоту, нитраты, анилиновые красители, нитросоединения, вязкий шелк, целлулоид.

Количество окислов азота, поступающих в атмосферу составляет 20 млн т/год.

е) Соединения фтора. Источниками загрязнения являются предприятия по производству алюминия, эмалей, стекла, керамики, стали, фосфорных удобрений.

Фторсодержащие вещества поступают в атмосферу в виде газообразных соединений –фтороводорода или пыли фторида кальция и натрия. Соединения характеризуются токсическим эффектом. Производные фтора являются сильными инсектицидами.

ж) Соединения хлора. Поступают в атмосферу от химических предприятий, производящих соляную кислоту, хлорсодержащие пестициды, органические красители, гидролизный спирт, хлорную известь, соду. В атмосфере встречаются как примеси молекул хлора и паров соляной кислоты. Токсичность хлора определяется видом соединений и их концентрацией. В металлургической промышленности при выплавке чугуна и при переработке его на сталь происходит выброс в атмосферу различных тяжелых металлов и ядовитых газов. Так, в расчете на одну тонну чугуна выделяется кроме 2,7 кг сернистого газа и 4,5кг пылевых частиц определяющих количество соединений мышьяка, фосфора, сурьмы, свинца, паров ртути и редких металлов, смоляных веществ и цианистого водорода.

Аэрозольное загрязнение атмосферы Аэрозоли – это твердые или жидкие частицы, находящиеся во взвешенном состоянии в воздухе. Твердые компоненты аэрозолей в ряде случаев особенно опасны для организмов, а у людей вызывают специфические заболевания. В атмосфере аэрозольные загрязнения воспринимаются в виде дыма, тумана, мглы или дымки. Значительная часть аэрозолей образуется в атмосфере при взаимодействии твердых и жидких частиц между собой или с водяным паром.

Средний размер аэрозольных частиц составляет 1 – 5мкм. В атмосферу Земли ежегодно поступает около 1 куб.км. пылевидных частиц искусственного происхождения.

К атмосферным загрязнителям относятся углеводороды – насыщенные и ненасыщенные, включающие от 1 до 13 атомов углерода. Они

подвергаются различным превращениям, окислению, полимеризации. Взаимодействуя с другими атмосферными загрязнителями после возбуждения солнечной радиацией. В результате этих реакций образуются перекисные соединения, свободные радикалы, соединения углеводородов с оксидами азота и серы и часто в виде аэрозольных частиц. При некоторых погодных условиях могут образовываться особо большие скопления вредных газообразных и аэрозольных примесей в приземном слое воздуха. Обычно это происходит в тех случаях, когда в слое воздуха непосредственно над источниками газопылевой эмиссии существует инверсия – расположение слоя более холодного воздуха под теплым, что препятствует воздушным массам и задерживает перенос примесей вверх. В результате вредные выбросы сосредотачиваются подслоем инверсии, содержание их у земли резко возрастает, что становится одной из причин образования ранее неизвестного в природе фотохимического тумана.

Фотохимический туман (смог) – представляет собой многокомпонентную смесь газов и аэрозольных частиц первичного и вторичного происхождения. В состав основных компонентов смога входят озон, оксиды азота и серы, многочисленные органические соединения называемые в совокупности фотооксидантами.

Фотохимический смог возникает в результате фотохимических реакций при определенных условиях: наличии в атмосфере высокой концентрации оксидов азота, углеводородов и других загрязнителей, интенсивной солнечной радиации и безветрия или очень слабого обмена воздуха в приземном слое при мощной и в течение не менее суток повышенной инверсии.

Смоги – нередкое явление над Лондоном, Парижем, Лос-Анжелесом, Нью-Йорком и другими городами Европы и Америки. По своему физиологическому воздействию на организм человека они крайне опасны для дыхательной и кровеносной системы и часто бывают причиной преждевременной смерти городских жителей с ослабленным здоровьем.

ГРАЖДАНСКАЯ ЗАЩИТА

Обучение населения защите от воздействия оружия массового поражения и других средств нападения противника — одна из основных задач Гражданской обороны Узбекистана. Оно организуется и проводится на основании указаний старших начальников ГО и их штабов, а также указаний и решений местных партийных и советских органов по вопросам ГО.

Обучение по ГО является всеобщим для всех граждан Узбекистана. Сегодняшние события в Косово еще раз доказывают, то что никто в наше время не застрахован от нападения. Поэтому вопрос ОБУЧЕНИЕ

НАСЕЛЕНИЯ ПО ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЕ актуален и по сей день. Ответственность за обучение руководящего состава ГО, рабочих и служащих по ГО на объекте, а также населения, проживающего в ведомственном жилом секторе, возлагается на начальника ГО объекта. Через штаб ГО объекта он организует, обеспечивает и руководит проведением учебных мероприятий, осуществляет постоянный контроль за своевременным и качественным проведением занятий и учений.

На объекте в соответствии с функциональными обязанностями по гражданской обороне рабочие и служащие условно подразделяются на следующие категории обучаемых: руководящий состав гражданской обороны; формирования; рабочие и служащие; население, не занятое в сферах производства и обслуживания, проживающее в ведомственном жилом секторе.

Сегодня мир обладает новейшими технологиями в области связи, вычислительной и бытовой техники. Человечество радуется достижениям науки и техники, однако не надо забывать что и военная промышленность не стоит на месте. Кроме того от того, что у каждого пятого человека сейчас дома компьютер и у каждого второго телефон , люди не стали добрее.

Алчность, стремление к власти - это то чувство, которое заставляет людей начинать войну, и этого не избежать никогда. Ежедневно где-либо в мире идет перестрелка и гибнут люди, и когда-нибудь это “где-то” может быть и у нас. Не стоит думать, что мы свое перетерпели и нас это больше не коснется, надо быть готовым ко всему. А потому обучение населения по гражданской обороне должно проводиться во всех учебных заведениях.

Гражданская оборона (ГО) представляет собой систему общегосударственных оборонных мероприятий, осуществляемых с целью защиты населения и народного хозяйства в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени, повышения устойчивости функционирования объектов народного хозяйства, а также проведения спасательных и других

неотложных работ при ликвидации последствий стихийных бедствий, аварий (катастроф) и в очагах поражения.

Для организации работ по ликвидации последствий стихийных, бедствий, аварий (катастроф), обеспечения постоянной готовности органов управления и сил для ведения этих работ, а также для осуществления контроля за разработкой и реализацией мер по предупреждению чрезвычайных ситуаций в мирное время создаются Государственная комиссия по чрезвычайным ситуациям. Они работают под руководством соответствующих органов, вышестоящих КЧС, а также правительственных (государственных) комиссий, создаваемых для расследования причин и ликвидации последствий особо крупных аварий (катастроф) или стихийных бедствий.

Работа КЧС организуется во взаимодействии с органами ГО, МВД, СНБ, военного командования и организациями государственного надзора и контроля. При них создается постоянный рабочий орган на базе штабов и служб ГО.

Решения КЧС во время чрезвычайных ситуаций являются обязательными для выполнения всеми организациями и предприятиями, расположенными на соответствующей территории.

Организационная структура ГО РУЗ определяется общегосударственным и политико-административным устройством, возможным характером чрезвычайных ситуаций, возникающих в мирное и военное время, и задачами, возложенными на нее.

Вся практическая деятельность ГО в республиках, краях, городах, районах и на объектах народного хозяйства осуществляется под руководством исполкомов Советов народных депутатов, а также органов военного управления. Непосредственное руководство ГО в союзных и автономных республиках, краях, областях, городах, городских и сельских районах осуществляется председателями Советов народных депутатов, которые являются начальниками ГО.

ГО организуется по территориально-производственному принципу.

Территориальный принцип организации означает, что независимо от ведомственной принадлежности ГО объектов народного хозяйства организационно входит в структуру ГО соответствующих республик, краев, областей, городов, районов, на территории которых они расположены.

Производственный принцип организации заключается в том, что ГО объектов народного хозяйства организационно входит также в структуру ГО соответствующих министерств, ведомств, руководители которых несут полную ответственность за состояние ГО в этих учреждениях.

ГО опирается на материальные и людские ресурсы всей страны.

Организация ГО предусматривает сочетание централизованного и децентрализованного управления силами и средствами.

ГО в РУз является не только частью системы общегосударственных оборонных мероприятий, но и всенародным делом. Каждый советский гражданин обязан активно участвовать в проведении мероприятий ГО.

Меняются политические устройства государств, социально-экономические условия, технологии производств и системы оружия, соответственно им и военные доктрины.

ПРЕЖДЕ ВСЕГО ЭТО ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ ОПАСНОСТИ. Несмотря на принимаемые Меры, вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в России остается высокой. Обстановка, складывающаяся во многих регионах, сегодня сложная. Растет ущерб от чрезвычайных ситуаций. Остаются высокими санитарные и безвозвратные потери среди людей. Наносится вред окружающей природной среде. Например, только от наводнений в Якутии пострадал каждый второй житель, в Великом Устюге вообще не было человека, которому бы стихия не принесла беды.

Несмотря на то, что Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций довольно молодая, уже назрела

необходимость ее совершенствования. Так сложилось, что МЧС РУз руководит МЧС, выполняющей функции по защите населения и территорий от природно-техногенных опасностей в мирное время, и гражданской обороной, обеспечивающей защиту населения в военное время. А как показывает опыт, риски мирного и военного времени в значительной степени схожи, методы защиты населения почти одинаковы. Это сходство наводит на мысль о целесообразности и возможности решения задач мирного и военного времени в рамках одной системы.

Поэтому в перспективе представляется необходимым сформировать унифицированную, на единых принципах построенную систему, способную решать весь комплекс задач по противодействию чрезвычайным ситуациям в мирное и военное время. Такую систему можно было бы назвать системой гражданской защиты (СГЗ). Она могла бы заниматься предупреждением и ликвидацией ЧС природного и техногенного характера, а также успешно действовать в период опасностей, появляющихся при возникновении военных конфликтов и в ходе военных действий.

На этом пути придется преодолеть определенные трудности. Например, вопросы ГО являются предметом федерального ведения, а защита населения от чрезвычайных ситуаций в мирное время — совместного ведения Российской Федерации и ее субъектов. Опираясь на одни и те же органы управления, силы и организации, ГО и СЧС имеют пока различную правовую базу.

Назрела необходимость более активного влияния государства на управление рисками. Для этого разрабатываются принципиально новые положения, соответствующие международным стандартам, где главная роль принадлежит предупреждению чрезвычайных ситуаций, снижению рисков их возникновения. Образно говоря, аварию надо не ждать, а предупреждать. Вот почему так активно разрабатывается проект основ государственной политики в области управления рисками.

В последние годы в ряде зарубежных стран (ФРГ, США, Франция и др.) в связи с изменившейся военно-политической обстановкой происходит трансформация взглядов на роль гражданской обороны и порядок ее ведения.

Так, новая политика США определяет, что силы и средства гражданской обороны должны готовиться не столько к действиям в условиях ядерной войны, сколько уметь эффективно решать задачи, возникающие в мирное время, уделяя при этом особое внимание мобилизационному планированию.

Коренные изменения в характере военных конфликтов, средствах вооружения, социально-экономической обстановке требуют нового, более обстоятельного и всеобъемлющего отношения к защитным мероприятиям.

Гражданская оборона XXI века будет существенно отличаться от современной.

Во-первых, должен измениться ее статус: утрачивая былое стратегическое значение и сугубо военно-оборонную сущность, ГО приобретает большую социальную направленность; основной целевой установкой становится не столько участие в достижении военного стратегического успеха, сколько сохранение жизни человека и среды его обитания. В силу этого Гражданская оборона, видимо, постепенно отойдет от военной организации и приобретет самостоятельность.

Во-вторых, настает время постепенно отказываться от военных элементов в ее организации, в том числе и от услуг военнослужащих. Это, в частности, согласуется и с одним из направлений военной реформы России. Но делать это надо с большой осторожностью, т.к. части и соединения ГО — это ее самое организованное и боеготовое ядро.

В-третьих, ГО в XXI веке будет становиться все более значимой структурой для общества не только в военное, но и в мирное время. Активное участие ее сил и средств в ликвидации любых чрезвычайных ситуаций станет необходимым, как, скажем, кислород для человека.

Актуальным и современным станет лозунг: "Все, что делается для укрепления гражданской обороны, полезно народному хозяйству и необходимо человеку".

В-четвертых, она должна стать менее затратной для государства, чем раньше. В XXI веке надо менять принципы защиты населения. Например, защитные сооружения создавать не за счет их специального строительства в мирное время, как это было ранее, а накапливать путем освоения подземного пространства городов, приспособления для этих целей подвальных и других заглубленных сооружений.

Вызывает сомнение и целесообразность массовой эвакуации населения из крупных городов. На наш взгляд, возможна только частичная эвакуация (отселение) населения из прогнозируемых зон поражения и заражения, когда другие способы защиты невозможны. Массовая эвакуация будет рассматриваться как исключительный вариант.

Видимо, отпадет необходимость и накапливать, хранить средства индивидуальной защиты для всего населения страны. Они потребуются в первую очередь для личного состава формирований, участвующих в спасательных и других неотложных работах, а также персоналу радиационно- и химически опасных объектов и населению, проживающему в зонах вероятного заражения (загрязнения).

Исходя из этого придется пересмотреть стратегию подготовки и ведения гражданской обороны, что, естественно, повлечет изменения в системе финансирования. Она, конечно, будет более гибкой, рациональной и рачительной. Раз ГО является всенародной, служит интересам всех граждан, значит и в финансировании ее должны участвовать все органы власти, коммерческие структуры, а не только федеральное правительство.

В-пятых, значительно повышается роль и значимость мобилизационной готовности гражданской обороны. При угрозе применения ядерного оружия мероприятия по защите населения должны

осуществляться повсеместно, на территории всей страны, в массовом порядке, с привлечением всех людских и материальных ресурсов.

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ
СМЕТА РАСХОДОВ НА АВТОМАТИЗАЦИЮ**

В таблице оценена полная стоимость нижнего уровня.

Таблица 1. Общая стоимость приборной конфигурации нижнего уровня

Наименование	Цена за ед., €	Кол.	Всего, €
--------------	-------------------	------	-------------

Ввинчивающийся термометр сопротивления низкого давления с соединительной головкой	98	2	196
Термометр сопротивления для монтажа в трубопроводы и резервуары.	89	1	89
Измерительный преобразователь для монтажа в головку зонда «SITRANS TK-L»	59,7	3	179,1
Магнитно-индуктивный измерительный датчик MAGFLO MAG 1100 Food со встроенным измерительным преобразователем MAG 6000 I	218	5	1090
Частотный преобразователь MICROMASTER 410. Мощность 0,75кВт	256	1	256
Поточный сверхвысокочастотный влагомер MICRORADAR-114C	1288	1	1288
Электропневмопреобразователь ЭП3211 с входным сигналом – 4...20мА.	60	1	60
The Probe - компактный ультразвуковой уровнемер	760,5	1	760,5
Весоизмерительная платформа весового дозатора муки	4037	1	4037
ИТОГО по нижнему уровню:	7955,6 €		

В таблице 1. Представлена стоимость верхнего и среднего уровней.

Таблица 1. Общая стоимость среднего и верхнего уровней

Наименование	Цена за ед.,€	Кол.	Всего, €
Контроллер SIEMENS S7-312, рабочая память 32 кб	292	1	292
Карта памяти ММС для МПК на 2 Мб	238,7	1	238,7

Модуль ввода аналоговых сигналов (AI, 8 каналов) SM 331 с входным унифицированным сигналом 4...20 мА	516	1	516
Модуль вывода аналоговых сигналов (АО, 4 канала) SM 332 с выходным унифицированным сигналом 4...20 мА	459	1	459
Модуль ввода дискретных сигналов (DI, 8 каналов) SM 321 с входом по напряжению =24В	126	1	126

Продолжение (Таблица 7)

Наименование	Цена за ед.,€	Кол.	Всего, €
Модуль вывода дискретных сигналов (DO, 8 каналов) SM 322 с выходным сигналом по напряжению =24В, релейный выход	170	1	170
Фронтальный штекер на 20 клемм с контактами- защелками	21	2	42
Фронтальный штекер на 40 клемм с контактами- защелками	33	2	66
Блок питания PS 307 на 5А со входным напряжением ~120/230В и выходным =24В	130	1	130
Блок питания SITOP modular =24 В/5 А	130	2	260
Блок бесперебойного питания фирмы SIEMENS – DC-UPS 6 А	130	1	130
Модуль батареи для DC-UPS 6 А на 12 Ач	130	1	130
Коммуникационный процессор Industrial Ethernet CP 343-1 Lean 10/100Мбит/с, TCP+UDP, RJ-45	620	1	620
DIN-рейка длиной 830 мм	42,9	1	42,9
Пакет программного обеспечения STEP 7 v. 5.4	1631	1	1631

SCADA-система SIMATIC WinCC v. 6.2 RunTime на 128 переменных	2115	1	2115
Промышленный компьютер 19" стоечного исполнения SIMATIC Rack PC 547B: <ul style="list-style-type: none"> - процессор – Core 2 Duo E6600(2.4 ГГц); - ОЗУ – DDR SDRAM Dual channel 1024 Мб; - жесткий диск – 250 Гб serial ATA; - DVD/CD-RW – 16/48-скоростной; - встроенный Ethernet 10/100 Мбит/с (RJ 45); - floppy дисковод. 	1587	1	1587
Монитор 19" Fujitsu-Siemens SCENICVIEW P19-3	270	1	270
USB клавиатура	69	1	110
USB мышь	30	1	30
Источник бесперебойного питания IPPON Smart Power Pro 1400	70	1	70
Операционная система Microsoft Windows XP Professional SP2	160	1	160
Черно-белый лазерный принтер HP LaserJet 1200	150	1	150
ИТОГО по среднему и верхнему уровню:	9345,6 €		

Итого получаем, что общая стоимость составляет **27301,2 €** или **43010783,2 сум** по курсу ЦБ РУз от 23.05.15.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автоматизация технологических процессов является одним из решающих факторов повышения производительности и улучшения условий труда. Все существующие или строящиеся промышленные объекты в той или иной степени оснащаются средствами автоматизации.

Система автоматизации и управления производит сбор и обработку информации с технологического оборудования и выработку управляющих воздействий с целью оптимизации процесса.

Современный уровень развития микроэлементной и вычислительной техники позволяет внедрять высокоточные измерительные приборы и средства контроля, что в свою очередь производит к повышению эффективности управления технологическим процессом.

Список использованной литературы

1. Острейковский В.А. Теория надежности: учеб. для вузов / В.А. Острейковский. – М.: Высшая школа, 2003. – 463 с.: ил.
2. Диллон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем; перев. с англ. – М.: Мир, 1984. – 318 с., ил.
3. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности: практикум. СПб: БХВ – Петербург, 2006. – 560 с.: ил.
4. Решетов Д.Н. и др. Надежность машин: учеб. пособие для машиностр. спец. вузов / Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев / под ред. Д.Н. Решетова. – М.: Высшая школа, 1988. – 238 с.: ил.
5. Хазов Б.Ф., Дидусев Б.А. Справочник по расчету надежности машин на стадии проектирования. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.: ил.