

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА ВОДОСНАБЖЕНИЯ, ВОДООТВЕДЕНИЯ
И ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Методические указания

к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Метрология, стандартизация и сертификация»

*для студентов специальности
1-700403 – «Водоснабжение, водоотведение
и охрана водных ресурсов»*

УДК 006.07, 0006.022

Методические указания подготовлены для студентов, изучающих курс «Метрология, стандартизация и сертификация».

Настоящее пособие содержит порядок выполнения практических работ по вариантам, необходимые методические рекомендации, а также перечень требуемой литературы.

Составители: Мороз В. В., к.т.н., доцент
Рыбак Е. С., ст. преподаватель
Сенчук Д. Д., ассистент
Новосельцева А. Г., ассистент

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ИЗУЧЕНИЕ СТАНДАРТА УО БрГТУ 01-2002.....	5
2 ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ РАЗМЕРНОСТЕЙ	7
3 ВЫБОР МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ И ПРИБОРОВ. ПОДСЧЕТ ОШИБОК ИЗМЕРЕНИЙ.....	11
4 ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ ЧИСЛА. РЯДЫ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫХ ЧИСЕЛ.....	16
5 ВЛИЯНИЕ ОТКАЗОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ.....	19
6 ОБРАБОТКА СТАТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ.....	21
7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПРОСТЕЙШИХ РЕЗЕРВИРОВАННЫХ СИСТЕМ ИЗ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	26
8 МЕТОДЫ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВОДОПРОВОДОВ БЕЗ ПЕРЕМЫЧКИ	28

ВВЕДЕНИЕ

В нашей жизни в связи с развитием науки, техники, разработкой новых технологий, эталонов и средств измерений, измерения охватывают более современные физические величины, расширяются диапазоны измерений. Постоянно растут требования к точности измерений.

В таких условиях, чтобы разобраться с вопросами и проблемами измерений, метрологического обеспечения и обеспечения единства измерений, нужен единый научный и законодательный фундамент, обеспечивающий в практической деятельности высокое качество измерений, независимо от того, где и с какой целью они проводятся. Таким фундаментом является метрология.

Метрология занимает особое место среди технических наук, т. к. метрология впитывает в себя самые последние научные достижения и это выражается в совершенстве ее эталонной базы и способов обработки результатов измерений. Метрология стала наукой, без знания которой не может обойтись ни один специалист любой отрасли.

Лабораторная работа № 1

Изучение стандарта УО «БрГТУ» 01-2002

Цель: Ознакомиться со стандартом БрГТУ.

1 Основные требования к оформлению пояснительной записки

1.1 Общие положения

Пояснительная записка является текстовым документом проекта (работы) и должна содержать исчерпывающие и систематизированные сведения об объекте проектирования или исследования, обеспечивать четкость и логическую последовательность изложения материала, конкретность, краткость и точность изложения результатов по завершению каждого этапа работы, обоснованность всех предложений и рекомендаций.

1.2 Структура

В состав пояснительной записки входят:

- титульный лист;
- задание на проектирование или исследование;
- реферат;
- содержание;
- основная часть, содержащая введение, материал по главам, разделам и подразделам (согласно заданию) и заключение;
- список используемой литературы;
- приложения.

1.3 Реферат

Очередность изложения:

Данные об объеме, количестве иллюстраций, таблиц, используемых источников, перечень ключевых слов (5... 15 слов в именительном падеже через запятую).

Текст реферата (120... 2000 знаков) должен содержать сведения об объекте проектирования, поставленные цели и задачи, методику исследований, полученные результаты и др. Например: Расчет конструкций одноэтажного промышленного здания: Пояснительная записка к курсовому проекту (работе) по дисциплине "Строительные конструкции": 70.02.01 / БрГТУ; Иванов А.В.; РП-2; Кафедра СК. – Брест, 2001. – 142 с.: 13 ил., 8 табл., 14 источн.

Ключевые слова: рама, стропильная ферма, колонна, фундамент, преднапряженная арматура.

Содержит результаты расчета и конструирования железобетонных конструкций одноэтажного промышленного здания. Расчет выполнен: по первой группе предельных состояний при проектировании колонн, фундамента и сегментной фермы; по второй группе предельных состояний – для сегментной фермы.

1.4 Содержание

Содержание включает наименование всех глав, разделов, подразделов и пунктов с указанием номеров страниц, на которых размещается начало изложения материала. Введение, заключение, список литературных источников и приложения не нумеруются.

1.5 Основная часть текстового документа

Введение. Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, дается характеристика объекта и предмета исследования, определяются цели

и задачи проектирования и их взаимосвязь. Объем введения 3...5 страниц машинописного текста.

Главы, разделы и подразделы. Разделы имеют порядковую нумерацию в пределах текстового документа, а подразделы – в пределах раздела.

Например: 2.1 – первый подраздел второго раздела.

Заключение. Текст заключения должен содержать краткое и четкое изложение результатов работы, предложения по направлениям и путям решения поставленной проблемы. Объем заключения 3...5 страниц.

1.6 Список использованных источников

Приводятся источники, которые были использованы в работе, на которые имеются ссылки по тексту, располагая их в порядке появления в текстовом документе. Например: Миронов С. А. Бетоны, твердеющие на морозе / С. А. Миронов. – М. : Стройиздат, 1975. – 170 с.

1.7 Приложения

Материал, размещаемый в приложении, излагается с учетом тех же требований, что и основной материал пояснительной записки, за исключением нумерации. Например: рис. А1. – первый рисунок приложения А; табл. В2. – вторая таблица приложения В; (Б7.) – седьмая формула приложения Б.

2 Требования по изложению основной части

2.1 Оформление формул

Ссылки на формулы указывают порядковый номер формулы в скобках.

Например:

$$V=C\sqrt{RI}, \quad (2.1.)$$

где V – скорость течения воды, м/с;

C – скоростной коэффициент;

R – гидравлический радиус, м;

I – гидравлический уклон.

2.2 Оформление таблиц

На все таблицы должна быть ссылка в тексте, при этом слово «Таблица» в тексте пишут полностью, если она не имеет номера, и сокращенно, если имеет номер (в табл. 1.2, см. табл. 1.2)

Например:

«Таблица 1.2»..., «Продолжение табл. 1.2», «в табл. 1.2; см. табл. 1.2».

2.3 Оформление иллюстраций

Ссылки на иллюстрации указывают, приводя порядковый номер иллюстрации.

Например:

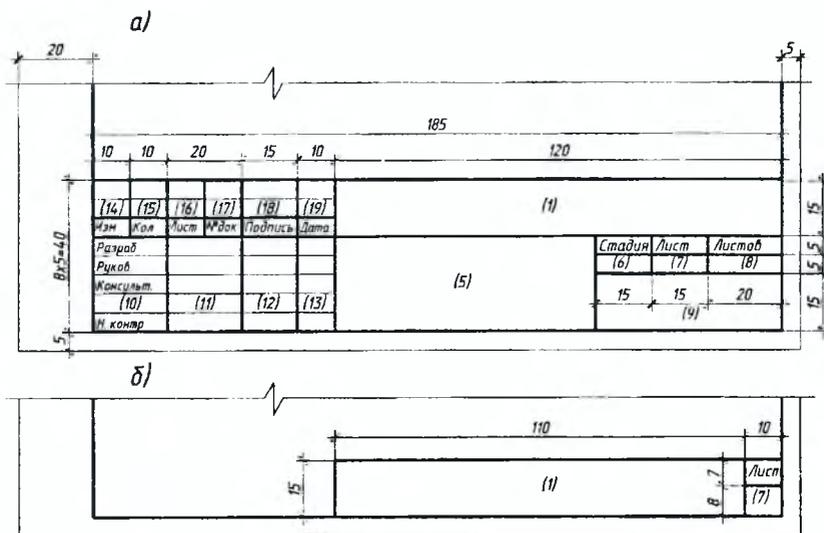
Рис.2.1 (Рисунок 1...)

3 Масштабы

Таблица 1.1 – Масштабы изображений

Масштабы уменьшения	Рекомендуемая область применения
1:2; 1:2.5; 1:4; 1:5; 1:10; 1:15; 1:20; 1:25; 1:50	Рабочие чертежи арматурных, закладных, соединительных деталей; чертежи узлов и деталей основного комплекта рабочих чертежей
1:20; 1:50; 1:100; 1:25; 1:40; 1:75	Виды, разрезы, сечения, схемы армирования железобетонных элементов, фрагменты планов, разрезы зданий и сооружений
1:200; 1:400; 1:500; 1:800	Планы, разрезы зданий и сооружений, схемы расположения элементов сборных конструкций

4 Основная надпись для текстовых документов



5 Требования по заполнению титульного листа (см. приложение 1).

Лабораторная работа № 2

Физические величины. Применение теории размерностей

Цель работы: Научить студентов пользоваться международной системой физических единиц и приобрести практические навыки применения теории размерностей.

Общие сведения.

Общепринятые или установленные законодательным путём характеристики (меры) различных свойств, общих в качественном отношении для многих физических объектов (физических систем, их состояний и происходящих в них процессов), но в количественном отношении индивидуальных для каждого из них, называются физическими величинами.

Таким образом, под термином «физическая величина» понимают свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Количественным выражением этого свойства в объекте является размер физической величины, а числовой оценкой её размера – значение физической величины. Физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное единице, называют единицей физической величины.

В любой системе единиц существует лишь одна основная единица данной физической величины.

Международная система единиц (СИ) была принята в 1960г. на Генеральной конференции по мерам и весам. В нашей стране данная система введена

в действие с 1 января 1982г в соответствии с ГОСТ 8.417-81 «ГСИ. Единицы физических величин».

В настоящее время она характеризуется как когерентная система единиц, состоящая из семи основных, двух дополнительных и ряда производных единиц, число которых не ограничено.

Основные и дополнительные единицы СИ приведены в табл. 1.

Производные единицы Международной системы единиц образуются из основных и дополнительных единиц СИ на основании законов, устанавливающих связь между физическими величинами, или уравнений, по которым определяют физическую величину.

Единицы могут быть дольными и кратными от единиц СИ.

Кратной единицей называют единицу, которая в целое число раз больше системной или внесистемной единицы.

Дольной единицей называют единицу, которая в целое число раз меньше системной или внесистемной единицы.

Таблица 2.1

Физическая величина		Единица СИ		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	
			Международное	русское
Основные				
Длина	L	метр	m	м
Масса	M	килограмм	Kg	кг
Время	T	секунда	S	с
Сила электрического тока	I	ампер	A	А
Термодинамическая температура	Q	Кельвин	K	К
Количество вещества	N	моль	mol	моль
Сила света	J	кандела	cd	Кд
Дополнительные				
Плоский угол	-	радиан	rad	рад
Телесный угол	-	стерадиан	Sr	ср

Все приставки пишутся слитно с наименованием основной единицы, к которой они присоединяются (килограмм, миллиметр). Присоединение двух и более приставок не допускается.

Для образования наименьших кратных и дольных единиц физических величин используют приставки, изложенные в табл. 2.

Качественной характеристикой измеряемых величин является их размерность. Она отражает её связь с основными величинами и зависит от выбора последних.

Размерность обозначается символом dim, происходящим от слова dimension, которое в зависимости от контекста может переводится как размер и размерность.

Размерность основных физических величин обозначается соответствующими заглавными буквами. Для длины, массы, времени, например $\dim l=L$; $\dim m=M$; $\dim t=T$.

Таблица 2.2

Множитель	Приставка				
	Наименование	Происхождение		Обозначение	
		от какого слова	из какого языка	международное	русское
$1000000000000000000 = 10^{18}$	экса	шесть раз по 10^3	греч.	Е	Э
$10000000000000000 = 10^{15}$	пета	пять раз по 10^3	греч.	Р	П
$100000000000000 = 10^{12}$	тера	огромный	греч.	Т	Т
$1000000000 = 10^9$	гига	гигант	греч.	G	Г
$1000000 = 10^6$	мега	большой	греч.	M	М
$1000 = 10^3$	кило	тысяча	греч.	k	к
$100 = 10^2$	гекто	сто	греч.	h	г
$10 = 10^1$	дека	десять	греч.	da	да
$0,1 = 10^{-1}$	деци	десять	лат.	d	д
$0,01 = 10^{-2}$	санти	сто	лат.	c	с
$0,001 = 10^{-3}$	милли	тысяча	лат.	m	м
$0,000001 = 10^{-6}$	микро	малый	греч.	μ	мк
$0,000000001 = 10^{-9}$	нано	карлик	лат.	n	н
$0,000000000001 = 10^{-12}$	пико	пикколо	итал.	p	п
$0,000000000000001 = 10^{-15}$	фемто	пятнадцать	дат.	f	ф
$0,00000000000000001 = 10^{-18}$	атто	восемнадцать	дат.	a	а

При определении размерности производных величин руководствуются следующими правилами:

1. Размерность левой и правой части не могут не совпадать, так как сравниваться между собой могут только одинаковые свойства, объединяя левые и

правые части уравнений. Отсюда можно прийти к выводу, что алгебраически суммироваться могут только величины, имеющие одинаковые размерности.

2. Алгебра размерностей мультипликативна, т. е. состоит из одного единственного действия – умножения.

2.1 Размерность произведения нескольких величин равна произведению их размерностей. Так, если зависимость между значениями величин Q, A, B, C имеет вид $Q = A \cdot B \cdot C$, то

$$\dim Q = \dim A \cdot \dim B \cdot \dim C.$$

2.2 Размерность частного при делении одной величины на другую равна отношению их размерностей, $Q = A / B$, то

$$\dim Q = \dim A / \dim B.$$

2.3 Размерность любой величины, возведённой в некоторую степень, равна её размерности в той же степени, так, если

$$Q = A^n, \text{ то}$$

$$\dim Q = \prod_1^n \dim A = \dim^n A.$$

Например, если скорость определять по формуле $V = l / t$, то

$$\dim V = \frac{\dim l}{\dim t} = \frac{L}{T} = LT^{-1}$$

Если сила по второму закону Ньютона $F = m \cdot a$, где $a = V / t$ – ускорение тела, то

$$\dim F = \dim m \cdot \dim a = \frac{ML}{T^2} = LMT^{-2}.$$

Таким образом, всегда можно выразить размерность производной физической величины за размерность основных физических величин с помощью степенного одночлена $\dim Q = L^\alpha \cdot M^\beta \cdot T^\gamma$, где L, M, T, ... – размерности соответствующих основных физических величин; α, β, γ , – показатели размерности. Каждый из показателей размерности может быть положительным или отрицательным, целым или дробным числом, нулём. Если все показатели размерности равны нулю, то такая величина называется безразмерной. Теория размерностей повсеместно применяется для оперативной проверки правильности сложных формул. Если размерности правой и левой частей уравнений не совпадают, т. е. не выполняется правило 1, то в выводе формулы следует искать ошибку.

Порядок выполнения работы

Охарактеризовать общие правила конструирования систем единиц. Далее следует ознакомиться с основными и производными единицами системы СИ, с правилами написания обозначений единиц:

– обозначения единиц ставят после их числовых значений и помещают в строку с ними;

– в обозначениях единиц точку и знак сокращения не ставят;

– в буквенных обозначениях отношений единиц в качестве знака деления должна применяться только одна черта: косая или прямая. При применении

косой черты обозначения единиц в числителе и знаменателе помещают в строку, произведение обозначений единиц в знаменателе заключают в скобки, например Вт/(м² · К). Допускается вместо знака черты применять обозначения единиц в виде произведений единиц, возведенных в степени $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$; Вт · м⁻² · К⁻¹.

Затем ознакомиться с принципом образования наименьших кратных и дольных единиц.

В конце занятия следует выполнить ряд заданий, представленных преподавателем по применению теории размерностей, ответить на вопросы, касающиеся данной темы. Оформить отчет.

Для проверки качества усвоения материала по теории размерностей рекомендуется выполнять следующие задания.

По определяющим уравнениям выразить размерности физических величин:

скорость	$V = l / t$
ускорение	$A = V / t$
сила	$F = m \cdot a$
плотность	$\rho = m \cdot V$
давление	$P = F / S$
работа	$A = F \cdot l$
мощность	$P = A / t$

По размерности физических величин определить основные формулы и обозначить единицы измерений:

кинематическая вязкость	$L^2 T^{-1}$
удельный вес	$L^3 M^{-1}$
динамическая вязкость	$L^{-1} M T^{-1}$
поверхностное натяжение	$M T^{-2}$
магнитная проводимость	$L^2 M T^{-2} I^{-2}$
удельное электрическое сопротивление	$L^3 M T^{-2} I^{-2}$

Лабораторная работа № 3

Выбор методов измерений и приборов. Подсчет ошибок измерений

Цель работы: На теоретическом уровне ознакомиться:

- 1) с видами и классификациями ошибок;
- 2) с основными показателями ошибок в классической теории ошибок – среднеквадратическое отклонение, эмпирический стандарт;
- 3) со способами определений необходимого количества измерений (при известной среднеквадратической ошибке и при неизвестной среднеквадратической ошибке);

- 4) со способами исключения грубых ошибок (при известной среднеквадратической ошибке и при неизвестной среднеквадратической ошибке);
- 5) с оценкой точности произведенных опытных измерений.

2. Для заданного ряда значений измеряемой величины (по заданию преподавателя) определить:

- 1) среднеквадратическое отклонение, эмпирический стандарт;
- 2) необходимое количество измерений (при известной среднеквадратической ошибке и при неизвестной среднеквадратической ошибке);
- 3) исключить грубую ошибку (при известной среднеквадратической ошибке и при неизвестной среднеквадратической ошибке);
- 4) оценить точность произведенных опытных измерений.

Теоретические сведения

1. Произвести измерение физической величины абсолютно точно невозможно:

- 1) нет приборов, дающих абсолютно точные значения измеряемых величин;
- 2) наши органы чувств несовершенны.

Следовательно, любые измерения сопровождаются теми или иными ошибками или погрешностями, которые, если не считать грубых промахов, бывают *систематическими* и *случайными*.

Систематические погрешности (ошибки) вызваны:

- 1) несовершенством, неисправностью или неправильной установкой измерительных приборов;
- 2) посторонним внешним воздействием (изменением температуры, атмосферного давления и т. п.).

Устранение систематических ошибок:

- 1) проверкой приборов, совершенствованием методов измерения;
- 2) внесением поправок в результате измерений.

Случайные ошибки возникают вследствие:

- 1) нечувствительности приборов;
- 2) неправильностью проведения отсчетов экспериментатором из-за несовершенства его органов чувств.

Исключить случайные ошибки невозможно, но их можно уменьшить:

- 1) применением более чувствительных приборов;
- 2) применением приборов с меньшей ценой деления шкалы и приборов, снабженных приспособлениями, увеличивающими точность отсчета показаний прибора;
- 3) применением приборов с зеркальной шкалой;
- 4) искусственным увеличением измеряемой величины;
- 5) увеличением количества измерений одних и тех же величин при одинаковых условиях проведения опыта.

Для уменьшения случайной ошибки измерений какой-либо величины нужно увеличивать число измерений этой величины.

Необходимое количество измерений n в каждом конкретном случае можно определить используя разделы математической статистики и теории вероятностей, причем чем больше будет произведено измерений, тем меньше будет отклоняться осредненный результат \bar{X} от истинного X , т. е.

$$\Delta X = |\bar{X} - X|_{n \rightarrow \infty} \rightarrow 0.$$

Предположим, что произведено n измерений величины X и получены значения $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$. Наиболее вероятным значением величины X , т. е.

наиболее близким к истинному, будет среднее арифметическое всех измеренных величин, а именно

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i.$$

Разности между каждым измерением и средним арифметическим всех измеренных величин представляет собой абсолютные ошибки отдельных измерений, т. е.

$$X_1 - \bar{X} = \pm \Delta X_1;$$

$$X_2 - \bar{X} = \pm \Delta X_2;$$

...

$$X_n - \bar{X} = \pm \Delta X_n.$$

2. Основными показателями ошибок в классической теории ошибок являются среднее квадратическое отклонение σ или эмпирический стандарт S .

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2};$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}.$$

3. При равнооточных и независимых измерениях необходимое количество измерений можно определить в том случае, если требуется достигнуть точности ε и надежности P и известна средняя квадратическая ошибка измерений квадратического отклонения σ по формуле:

$$n \geq \left[\frac{t(P)}{\varepsilon} \right]^2 \cdot \sigma^2,$$

где $t(P)$ – коэффициент Стьюдента, определяемый по таблице 1в зависимости от надежности P .

Таблица 3.1

P	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
t(P)	1,960	2,054	2,170	2,326	2,576

ε – точность измерений, $\varepsilon > |X - \bar{X}|$,

где X – истинное значение измеряемой величины;

\bar{X} – среднеарифметическое значение измеряемой величины;

σ – средняя квадратическая ошибка измерений. Принимается в зависимости от класса точности прибора (1; 0,5). Например, если класс точности прибора 1, то это означает, что показания прибора правильны с точностью 1% от всей действующей шкалы.

Если средняя квадратическая ошибка измерений заранее неизвестна, то необходимое количество измерений можно определить в зависимости от надежности P и от отношения $q = \frac{\varepsilon}{S}$, то можно принять $\varepsilon = S \Rightarrow q = 1$. В большинстве инженерных исследований $P=0,95$. Для определения n можно пользоваться таблицей 3.1.

Таблица 3.2

q	P	0,9	0,95	0,98	0,99	0,99
1,0		5	7	9	11	17
0,5		13	18	25	31	50
0,4		19	27	37	46	74
0,3		32	46	64	78	127
0,2		70	99	139	171	277
0,1		273	387	545	668	1029

4. Исключение грубых ошибок.

При экспериментировании очень часто получают такие данные опытных измерений, достоверность которых вызывают сомнения. Исключение таких данных производится по определенным правилам.

1) В случае известного значения среднеквадратической ошибки σ .

Обозначаем «выскакивающее» значение через X_x , а все остальные через $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$.

Подсчитаем среднее арифметическое значение (без X_x)

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot (X_1 + X_2 + \dots + X_n)$$

и вычислим

$$t = \frac{|X_x - \bar{X}|}{\sigma \cdot \sqrt{\frac{n+1}{n}}}$$

Вероятность P того, что случайная ошибка выйдет за границы $\pm t \cdot \sigma$ ($t > 0$) можно определить по формуле

$$P = 1 - 2 \cdot \Phi(t),$$

где $\Phi(t)$ – интеграл вероятности, определяется по таблице 3.3.

Таблица 3.3

t	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
$\Phi(t)$	0,4938	0,4953	0,4965	0,4974	0,4981

Если подсчитанная по заданному значению t вероятность окажется малой, то «выскакивающее» значение содержит грубую ошибку и его следует исключить. Какую вероятность считать малой зависит от того, какое явление исследуется и какую точность измерений возможно и целесообразно обеспечить. Обычно применяют один из трех уровней вероятностей 5 % уровень (исключаются ошибки,

вероятность появления которых меньше 0,05); 1% уровень (то же меньше 0,01); 0,1% уровень (то же меньше 0,001).

2) В случае неизвестного значения среднеквадратической ошибки σ Вычисляют эмпирический стандарт S .

Далее вычисляют t по формуле:

$$t = \frac{|X_x - \bar{X}|}{S}$$

Сравнивают полученное значение с критическим $t_{кр}(P)$ из таблицы 3.4. Если при данном числе приемлемых результатов значение t оказывается между критическими значениями при надежностьях P_1 и P_2 с надежностью вывода, большей P_1 , можно считать, что «выскакивающее» значение содержит грубую ошибку и его следует исключить.

Заметим, что если надежность окажется недостаточной, то это свидетельствует не об отсутствии грубой ошибки, а лишь об отсутствии достаточных оснований для исключения «выскакивающего» значения.

Таблица 3.4

n	P	0,95	0,98	0,99	0,999
5		3,04	4,11	5,04	9,43
6		2,78	3,64	4,36	7,41
7		2,62	3,36	3,96	6,37
8		2,51	3,18	3,71	5,73
10		2,37	2,96	3,41	5,01
12		2,29	2,88	3,23	4,62
14		2,24	2,74	3,12	4,37
16		2,20	2,68	3,04	4,20
18		2,17	2,64	2,98	4,07
20		2,14	2,60	2,93	3,98

4. Оценка точности произведенных опытных измерений.

Планируемая и произведенная точность опытных измерений могут не совпасть. При наличии опытного ряда измеренных величин всегда следует произвести оценку точности произведенных измерений. Эта точность выражается с помощью доверительных оценок. При определении доверительных оценок принято, что они имеют симметричный характер, т. е.

$$\bar{X} - \varepsilon < a < \bar{X} + \varepsilon \text{ или } |a - \bar{X}| < \varepsilon$$

Величина ε определяется по заданной доверительной вероятности (надежности оценки) P . Обычно надежность P задается в виде одного из трех уровней: 0,95, 0,99, 0,999.

1) В случае известного значения среднеквадратической ошибки σ . Доверительная оценка имеет вид

$$|a - \bar{X}| < t(P) \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

где значение $t(P)$ определяется по заданной доверительной вероятности P по таблице 3.5.

Таблица 3.5

P	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
t(P)	1,960	2,054	2,170	2,326	2,576

2) В случае неизвестного назначения среднеквадратической ошибки σ .

Вместо среднеквадратической ошибки используют эмпирический стандарт S.

При этом доверительная оценка имеет вид

$$|a - \bar{X}| < t(P, K) \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}$$

где $t(P, K)$ – коэффициент Стьюдента, определяемый по таблице 3.6 в зависимости от $K = n - 1$.

Таблица 3.6

K = n-1	Доверительные уровни			K = n-1	Доверительные уровни		
	95%	99%	99,9%		95%	99%	99,9%
1	12,71	63,66	-	15	2,13	2,95	4,07
2	4,30	9,93	31,6	20	2,09	2,85	3,85
3	3,18	5,84	12,94	30	2,04	2,75	3,65
4	2,78	4,60	8,61	50	2,01	2,68	3,50
5	2,57	4,03	6,86	100	1,98	2,63	3,39
6	2,45	3,71	5,96	200	1,97	2,60	3,34
8	2,31	3,36	5,04	500	1,96	2,59	3,31
10	2,23	3,17	4,59	1000	1,96	2,58	3,29

Лабораторная работа № 4

Предпочтительные числа. Ряды предпочтительных чисел.

Цель работы: 1. На теоретическом уровне ознакомиться с принципами построения системы предпочтительных чисел и стандартными рядами предпочтительных чисел. 2. Научиться практически работать с рядами предпочтительных чисел.

Общие сведения

В различных видах практической деятельности используются ряды чисел, характеризующие однородные величины (бумажные денежные знаки, масса штучных хлебобулочных изделий, масса фасованных продуктов питания и др.), должна быть общая основа всех рядов чисел, используемых в стандартизации. С этой целью разработана и применяется система предпочтительных чисел, на основе которой выбираются значения самых различных параметров.

Принципы построения системы предпочтительных чисел

Ряды предпочтительных чисел должны:

- представлять рациональную систему градации, максимально соответствующую потребностям производства и эксплуатации;
- быть бесконечными как в сторону малых, так и больших величин, т. е. допускать неограниченное развитие параметров;
- включать все десятикратные значения любого числа ряда и единицу;
- быть простыми и легко запоминаемыми.

Основой построения рядов предпочтительных чисел являются арифметические и геометрические прогрессии.

Арифметическая прогрессия характерна тем, что разность значений двух соседних членов остается неизменной во всем диапазоне ряда, т. е.

$$N_n - N_{n-1} = d = \text{const} \text{ или } N_n = N_1 + d \cdot (n-1),$$

где N_n и N_{n-1} – значение смежных чисел ряда (N_1 – первое число);

d – интервал (разность) значений двух соседних чисел;

n – порядковый номер числа ряда.

Достоинства ряда арифметической прогрессии: прост, не требует округления чисел. Недостаток ряда арифметической прогрессии: относительная неравномерность, т. е. нецелесообразная разреженность значений в зоне малых величин и их сгущенность в зоне больших величин. Поэтому арифметические прогрессии в стандартизации применяются редко.

Ступенчато-арифметические ряды – ряды, в которых интервал значений является постоянным не для всего ряда, а лишь для определенной его части. При этом для малых типоразмеров интервал применяется меньшим, а для больших – большим.

Опыт стандартизации показал, что наиболее удобными являются ряды предпочтительных чисел, представляющие геометрическую прогрессию.

Геометрические ряды – ряды чисел с постоянным отношением двух смежных членов ряда; каждый член ряда является произведением предыдущего члена и постоянной для данного ряда величины, называемой знаменателем геометрической прогрессии.

$$N_n = C \cdot d^{n-1},$$

где C – любое число;

d – знаменатель прогрессии;

n – порядковый номер члена ряда.

Задача № 1. Найти диаметры метрических резьб (по ГОСТ 8724-81) с применением ступенчато-арифметической прогрессии.

Решение.

Таблица 4.1

Диапазон группы номинальных размеров, мм	Разность между смежными размерами, мм	Диаметры метрических резьб, мм
1–1,1	0,1	
1,2–2,2	0,2	
2,5–6,0	0,5	
7–12	1	
12–24	2	
24–48	3	
48–80	4	
80–150	5	

Задача № 2. Сделать сравнительный анализ использования арифметической и геометрической прогрессии для установления ряда диаметров круглого проката, состоящего из семи членов, при равномерно уваливающемся значении диаметров, в интервале величин от 3,15 до 50 мм.

Стандартные ряды предпочтительных чисел

Многолетним международным опытом установлено, что для удовлетворения нужд промышленного производства достаточно положить в основу ряда предпочтительных чисел геометрическое прогрессии со знаменателями, представленными в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Обозначение основного/вспомогательного ряда	Знаменатель ряда	
	Округление значения Q_0	Точное значение Q_T
R5	1,6	$\sqrt[5]{10}$
R10	1,25	$\sqrt[10]{10}$
R20	1,12	$\sqrt[20]{10}$
R40	1,06	$\sqrt[40]{10}$
R80	1,03	$\sqrt[80]{10}$
R160	1,015	$\sqrt[160]{10}$

Данные ряды регламентированы ГОСТ 8032-84 «Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел».

Число в условном обозначении ряда (R5, R40 и др.) представляет собой степень корня из 10 и в то же время показывает число членов прогрессии в одном десятичном интервале.

Предпочтительные числа представляют собой округленные значения членов ряда данной прогрессии.

Члены прогрессии, расположенные в интервале от 1,00 до 10,00, составляют исходный ряд (см. табл. приложение 2).

Ряды предпочтительных чисел не ограничиваются в обоих направлениях, при этом предпочтительные числа менее 1 и более 10 получают делением или умножением членов исходного ряда на число 10, 100, 1000 и т. д.

При необходимости ограничения основных рядов в их обозначениях указываются предельные члены, которые всегда включаются в ограниченные ряды.

Задача № 3. Написать ряды:

R5 (1,0... ..25,0);

R10 (0,125... ..1,25);

R40 (56,0... ..118).

Выборочные ряды предпочтительных чисел

Выборочные ряды предпочтительных чисел получают отбором каждого 2, 3, 4, ... n-ого члена основного или дополнительного ряда, начиная с любого члена ряда. Обозначение выборочного ряда состоит из обозначения исходного основного ряда, после которого ставится косая черта и число 2, 3, 4, ... n (R40/4, K 80/3). Если ряд ограничен, обозначение должно содержать члены, ограничивающие ряд; если ряд не ограничен, должен быть указан хотя бы один его член.

Задача № 3. Написать ряд:

R5/2 (1,0 100,0);

R10/3 (... .. 80... ..);

R20/4 (40,0... ..).

Таблица 4.3 – Предпочтительные выборочные ряды предпочтительных чисел

Выборочные ряды	R 5/3	R 5/2	R 10/3	R 10/2	R 40/8	R 20/3	R 20/2	R 40/4	R 40/3	R 40/2	R 80/3
Округленное значение знаменателя ряда Q_0	4	2,5	2	1,6	1,6	1,4	1,25	1,25	1,18	1,12	1,09
Основные ряды, имеющие тот же знаменатель				R5	R5		R10	R10		R20	

Из выборочных рядов с одинаковым знаменателем предпочтение следует отдавать ряду, содержащему 1 или число, единственной значащей цифрой которого является 1 (например: 0,1; 0,01; 10; 100 и др.).

Задача № 5. Выбрать соответствующий предпочтительный ряд при следующих исходных данных: параметр – масса; интервал градации 7,4 до 21 кг; плотность градации 7 ступеней в пределах интервала градации.

Задача № 6. Выбрать соответствующий предпочтительный ряд при следующих исходных данных: параметр – диаметр; интервал градации 0,3 до 4,4 дм; плотность градации 9 ступеней в пределах интервала градации.

Лабораторная работа № 5

Влияние отказов на показатели качества функционирования систем водоснабжения

Цель работы: 1. На теоретическом уровне изучить определение и виды отказов в системах водоснабжения (классификация в зависимости от полноты и качества отказа, классификация в зависимости от отказов внешних систем), схему процесса функционирования системы водоснабжения и возможность её перехода из одного состояния в другое, виды нарушений нормального качества водообеспечения объекта в результате отказов в системах водоснабжения. 2. На практическом уровне изучить влияние отказов на показатели качества функционирования систем водоснабжения.

Общие сведения

1. *Отказы системы водоснабжения* – события, заключающиеся в нарушении нормального выполнения ею функций водообеспечения снабжаемого объекта.

Нарушения могут состоять:

- в недопустимом снижении уровня водообеспечения;
- полном прекращении подачи воды потребителям (полный отказ);
- недопустимом ухудшении качества подаваемой воды;
- превышении фактической потребности воды над запланированной.

Отказ природного источника представляет собой опасность для нарушения работы системы водоснабжения, использующей один источник, и может привести к полному отказу систем водоподдачи.

Отказ системы подачи электроэнергии нарушает работу насосных станций, может вызвать временный перерыв в подаче воды потребителям (должен быть предусмотрен резервный источник электропитания).

Отказ по внутренним причинам – в результате повреждения и аварий отдельных сооружений или элементов системы (наиболее частый вид отказа).

Все рассмотренные виды повреждений различных элементов системы водоснабжения вызывают снижение качества ее функционирования. Если эти снижения превосходят допустимые пределы снижения водообеспечения, то происходит отказ системы.

2. Факт отказа может быть установлен лишь в результате сравнения фактических показателей качества с нормативными. Характер процесса функционирования систем водоснабжения и возможность их переходов из одного состояния в другое различны для различных видов систем. В системах с детерминированным и управляемым процессом водопотребления фактический режим водопотребления при нормальной работе совпадает с запланированным. На рис. 5.1 показана схема такого процесса. Численные показатели функционирования системы заданы: прямая 1 – график подачи заданного (постоянного) расхода; прямая 2 – график фактической подачи воды системой водоснабжения (при её исправном состоянии); прямая 3 – предельно допустимый уровень временного снижения (по условиям технологического процесса); прямая 4 – полное прекращение подачи воды.

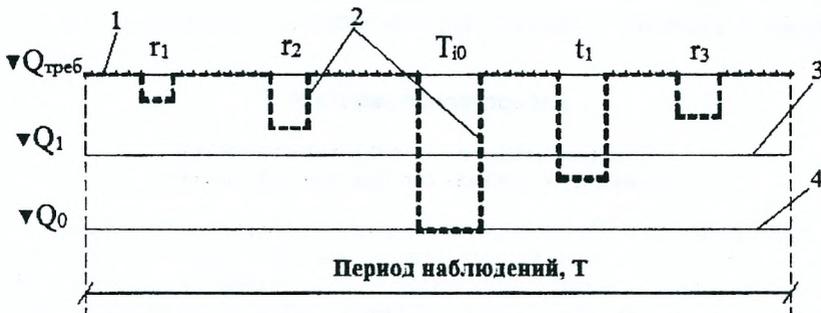


Рис. 5.1

3. В результате отказов в системе водоснабжения могут происходить следующие виды нарушений нормального качества водообеспечения объекта:

а) *временное снижение подачи, не достигающее предельно допустимого уровня.* Пусть длительность этих периодов будет r_1, r_2, r_3 ; для каждого периода глубина снижения $h_i < h_{\text{норм}}$.

б) *временное снижение подачи ниже предельно допустимого уровня, т. е. частичные отказы системы.* Длительность этих периодов будет t_1, t_2, \dots и т. д.; глубина снижения $h_i > h_{\text{норм}}$.

в) *перерывы подачи воды потребителям.* В качестве оценки функционирования в данном случае может использоваться критерий ΣT_{10} (в год).

Задача № 1. Изобразить математическую модель функционирования отдельного элемента системы водоснабжения (т. е. поток отказов), если известно, момент включения элемента в работу наступает через 6 ч. после наступления 1-го отказа; момент 2-го отказа произошел через 18 ч. после наступления 1-го отказа; длина отказа 5 часов; через 11 часов после 2-го отказа нарушилось нормальное функционирование элемента. Данную модель представить на графике подачи заданного расхода (прямая 1).

Задача № 2. Изобразить предыдущую модель с условием, что временное снижение подачи (отказ № 1) не достигло предельно допустимого уровня; отказ № 2 происходит ниже допустимого уровня; отказ №3 представляет собой перерыв подачи воды.

Задача № 3. Начертить схему функционирования элемента системы водоснабжения и определить продолжительность проведения наблюдений, если наступление отказа № 1 произошло через 48 ч после начала наблюдений, 2-го и 3-го отказов – через 24 ч после восстановления функционирования системы соответственно из-за 1-го и 2-го отказов. Период каждого отказа составляет соответственно 2, 4 и 1 ч. Окончание наблюдений наступило через 6 ч после восстановления функционирования системы из-за 3-го отказа. Отказ № 1 – ниже предельно допустимого уровня, отказ № 2 – полное прекращение подачи воды, отказ № 3 – выше предельно допустимого уровня.

$Q_{\text{треб}} = 100\%$, $Q_1 = 15\%$ от требуемого, $Q_0 = 0$.

Лабораторная работа № 6

Обработка статистических материалов по результатам наблюдений за функционированием элементов системы водоснабжения.

Цель работы: На теоретическом уровне изучить понятие дискретной и непрерывной случайной величины, понятия: математическое ожидание, дисперсия, среднеквадратическое значение, стандартное отклонение случайной величины.

Общие сведения

Случайные величины могут быть дискретными или непрерывным. Случайная величина ξ называется дискретной, если имеется конечное или счетное число значений x_1, x_2, \dots, x_n , каждое из которых случайная величина ξ может принимать с соответствующими вероятностями их появления p_1, p_2, \dots, p_n , причем $\sum p_k = 1$. Выражение вида

$$\begin{pmatrix} x_1, x_2, \dots, x_n, \dots \\ p_1, p_2, \dots, p_n, \dots \end{pmatrix}$$

называется рядом распределения случайной величины ξ .

Математическое ожидание (среднее значение) случайной величины определяется по формуле

$$M\xi = \sum_k x_k p_k .$$

Дисперсия случайной величины ξ определяется по формуле

$$D\xi = M(\xi - M\xi)^2 = M\xi^2 - (M\xi)^2 .$$

Дисперсия является мерой разброса возможных значений случайной величины.

Случайная величина ξ называется непрерывной, если она может принимать любые численные значения из некоторого интервала (A, B) , который мо-

жет быть и бесконечным, с вероятностями

$$P_{(a,b)} = \int_a^b f(x) dx \quad A \square a \square b \square B,$$

где $f(x)$ – плотность вероятности, $f(x) \geq 0$.

Функция распределения случайной величины ξ определяется выражением

$$F(x) = \int_A^x f(x) dx.$$

Среднее значение (математическое ожидание) случайной величины равно:

$$M\xi = \int_A^B xf(x) dx.$$

Среднеквадратическое значение случайной величины (момент второго порядка)

$$M\xi^2 = \int_A^B x^2 f(x) dx.$$

Для положительных случайных величин при $A = 0$ и $B = \infty$ может быть приведена к виду

$$M\xi^2 = 2 \int_0^{\infty} xP(x) dx, H(x) = 1 - F(x).$$

Положительный квадратный корень из дисперсии

$$\sigma_{\xi} = \sqrt{D\xi}$$

называют стандартным отклонением случайной величины ξ . Стандартное отклонение имеет ту же размерность, что и случайная величина.

Режим отбора воды потребителями из системы городского водопровода, т. е. колебание во времени суммарного расхода воды, зависит от разнообразных событий и установление каких-либо численно выраженных причинных связей между этими событиями и количеством отбираемой воды в отдельные моменты времени не представляется возможным. Поэтому величины суммарных объемов расхода воды городом в отдельные периоды времени, и в частности в отдельные часы суток, могут рассматриваться как случайные величины. Процесс функционирования подобной системы массового обслуживания должен рассматриваться как случайный процесс.

Изучение и соответствующий анализ фактической работы действующих систем водоснабжения позволяет получить некоторые численно выраженные характеристики изменения во времени часовых объемов водопотребления для городов, различных по численности населения, климатической зоне, степени индустриализации и т. п. На основании собранных и обработанных статистических материалов можно получить некоторые закономерности изменения во времени объемов водопотребления, оценить численно вероятность появления их различных величин, а также повторяемость и длительность.

Полученное в результате наблюдений или опыта число аварий рассматриваемого элемента за определенный период времени есть случайная величина.

При наблюдении изменений объемов водопотребления или расходов воды природного источника полученные численные значения их являются случайными величинами. Объем водопотребления, расход воды источника, уровень воды в реке суть непрерывные случайные величины. Число отказов (аварий) элементов систем водоснабжения является дискретной случайной величиной.

В качестве численного примера обработки статистических материалов рассмотрим построение графика функции распределения такой случайной величины, как число снижений (ниже допустимого) объема подачи воды некоторому потребителю, т. е. число отказов. Наблюдения велись в течение 20 лет. Результаты наблюдений приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Годы наблюдений	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й	9-й	10-й
Число отказов в год	1	2	5	3	2	1	0	2	1	0
Годы наблюдений	11-й	12-й	13-й	14-й	15-й	16-й	17-й	18-й	19-й	20-й
Число отказов в год	2	3	1	4	2	7	8	4	2	1

Эта первичная запись числа отказов позволяет для каждого такого значения вычислить соответствующую величину статистической вероятности ее появления.

Запись вычислений приведена в табл.6.2.

Таблица 6.2

Число отказов в год	Число лет, в которых наблюдалось данное число отказов	Статистическая вероятность $P_i = m_i/n$ появления отказов, %	Накопленная частота отказов, N
0	2	0,1	0,1
1	5	0,25	0,35
2	6	0,3	0,65
3	2	0,1	0,75
4	2	0,1	0,85
5	1	0,05	0,9
6	0	0	0,9
7	1	0,05	0,95
8	1	0,05	1

На рис. 6.1 показан график статистической функции

$$F^*(x) = \sum_k P^*(\xi = x_k) \text{ при } x_k < x.$$

Ордината первой точки графика, соответствующая 0, будет 0,1; далее для каждого следующего значения абсциссы (в порядке возрастания) ордината графика будет равняться сумме предшествующих значений p^* ; при значении абсциссы, равной 8, произойдет последний скачок ординаты до значения 1.

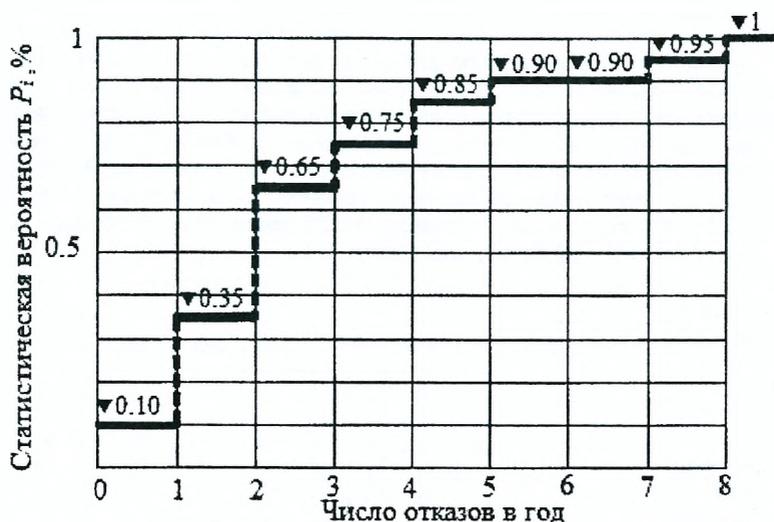


Рис. 6.1

При большом числе замеров случайных величин обработку полученных статистических материалов целесообразнее производить с построением гистограмм. Для этого всю массу замеренных значений наблюдаемой случайной величины разбивают на некоторые интервалы или разряды: от x_1 до x_2 , от x_2 до x_3 и т. д. Определяется число замеров, вошедших в каждый интервал, и для каждого интервала определяется частота m_i/n , где m_i – число значений наблюдаемой случайной величины, попадающих в каждый из интервалов, n – общее число замеров.

Рассмотрим в качестве примера обработку подобным образом замеренных значений паводковых расходов воды в реке, используемой в качестве источника водоснабжения. Наблюдения проводились в течение 50 лет. Все замеренные величины расходов разбиты на семь интервалов (разрядов). Длина интервалов, т. е. в данном случае диапазон изменения величин замеренных расходов, принята одинаковой для всех интервалов, а именно $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Число замеренных расходов в каждом интервале приведено в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Интервалы значений замеренных расходов, $\text{м}^3/\text{ч}$	Число замеренных расходов в интервале m_i	Частота появления отказов $p^* = m_i/n$	Ордината статистической кривой распределения
0–1000	4	0,08	0,08
1000–2000	16	0,32	0,4
2000–3000	18	0,36	0,76
3000–4000	6	0,12	0,88
4000–5000	4	0,08	0,96
5000–6000	1	0,02	0,98
6000–7000	1	0,02	1

Для построения гистограммы по оси абсцисс откладываются в масштабе последовательно длины всех интервалов рис. 6.2.

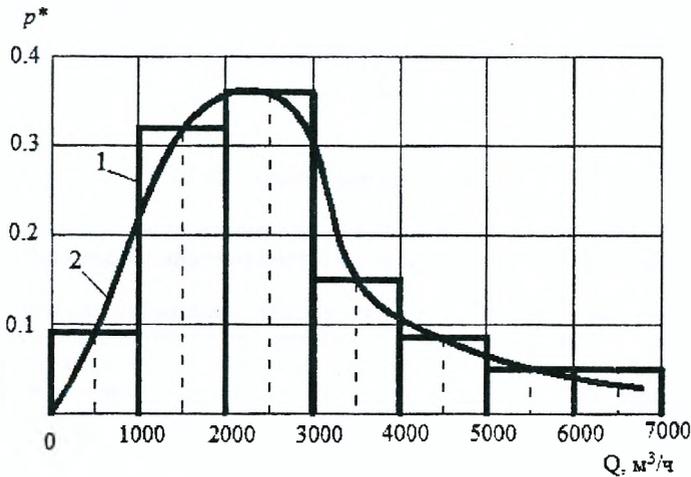


Рис. 6.2

На всех интервалах строятся прямоугольники высотой, равной соответствующим частотам появления отказов (здесь предполагается, что интервалы примерно равны). Полученный таким образом ступенчатый график 1 и есть гистограмма.

По тем же статистическим данным (табл. 6.3), использованным для получения гистограммы, может быть построена и функция распределения $F^*(x)$. Для этого путем последовательного суммирования величин частот от первого интервала до последнего получим ординаты искомого графика 1. Кривая 2 на рис. 6.2 аппроксимирует ступенчатый график 1.

Рассмотренные графики статистических закономерностей, устанавливающих зависимость между отдельными значениями случайной величины и частотой (статистической вероятностью) m_i / n ее появления, выполняются на основе фактически проведенных замеров в определенной серии наблюдений или опытов. Соответствие получаемых таким образом законов распределения теоретическим в значительной степени зависит от длительности наблюдений, достоверности и точности исходных данных. Чем длиннее ряд проведенных наблюдений и чем выше их точность, тем ближе будут полученные статистические зависимости к тому объективному закону распределения, который существует для рассматриваемой категории случайных событий.

Задание 1. Указать процессы (явления) системы водоснабжения, которые можно рассматривать как случайные величины.

Задание 2. Построить график функции распределения величины числа отказов. Наблюдения велись в течение 15 лет. Результаты наблюдений:

Год наблюдений	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й	9-й	10-й	11-й	12-й	13-й	14-й	15-й
Число отказов	2	5	3	0	6	2	7	1	3	1	6	2	3	3	2

Задание 3. Обработать данные значений паводковых расходов в реке, используемой в качестве источника водоснабжения. Обработку материалов произвести с построением гистограммы. Результаты измерений по интервалам расходов, м³/ч:

0–500	500–1000	1000–1500	1500–2000	2000–2500	2500–3000	3000–3500
2	12	6	4	1	3	5

Лабораторная работа № 7

Определение показателей надежности простейших резервированных систем из восстанавливаемых элементов

Цель работы: 1. На теоретическом уровне ознакомиться с понятиями резервированная и нерезервированная система, восстанавливаемый объект, с показателями надежности – интенсивность отказов, время безотказной работы, время восстановления; 2. Практически определить показатели надежности резервированных систем из восстанавливаемых элементов (по заданию преподавателя).

Общие сведения

В общем случае техническая система включает как основные элементы, минимально необходимые для выполнения системой её функций, так и резервные, которые могут заменить любой из основных элементов в случае его отказа.

Если общее число элементов системы n и число основных элементов m , то могут рассматриваться следующие возможные типы их комбинаций:

– *нерезервированные системы*, в которых $n = m$, т. е. для их безотказной работы необходима одновременная работа всех элементов; отказ любого элемента вызывает отказ системы;

– *резервированные системы* – для безотказной работы системы достаточна работа одного из её элементов, т. е. система включает один основной элемент, остальные $n-1$ элементов являются резервными.

В системах водоснабжения используется принцип облегченного резерва – применяется постоянная работа соответственно параллельно включенных элементов и предусматривается возможность форсирования их работы при отказе одного или нескольких элементов.

Восстанавливаемый объект – объект, работоспособность которого, в случае возникновения отказа, подлежит восстановлению в рассматриваемой ситуации. Процесс функционирования восстанавливаемого элемента представляет собой чередование периодов: исправной работы, отказа и восстановления, после чего наступает период исправной работы.

Рассмотрим резервированную систему, состоящую из n восстанавливаемых элементов ($n > 1$). Каждый элемент работает, затем отказывает, восстанавливается, включается в работу, снова отказывает и т. д. Пусть m – минимальное число элементов, отказ которых приводит к отказу системы ($m \geq 1$). Примем, что отказы этих элементов образуют минимальное неисправное состояние системы. Таких состояний может быть несколько, например s ($s \geq 1$). Элементы, отказы которых образуют минимальное неисправное состояние,

обозначим символами ij , где $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, s$. Будем считать, что интенсивность отказов λ_{ij} таких элементов являются постоянными величинами.

Интенсивность отказа элемента (λ) – среднее число отказов элемента в единицу времени (1/год, 1/час). *Время безотказной работы элемента (t)* – величина обратная интенсивности отказа (год, час).

$$\lambda = \frac{1}{t}, [1/\text{год}, 1/\text{час}]; \quad t = \frac{1}{\lambda}, [\text{год}, \text{час}].$$

Принимая продолжительность восстановления поврежденного элемента η , при расчетах используют *среднее время восстановления* $t_s = M\eta$.

Время ремонта значительно меньше времени безотказной работы $t_b \ll t$.

Интенсивность отказов резервированных систем, состоящих из восстанавливаемых элементов, определяется по формулам:

– при одной ремонтной бригаде

$$\Delta = m \cdot M\eta^{m-1} \cdot \sum_{j=1}^s \lambda_{1j} \cdot \lambda_{2j} \cdot \dots \cdot \lambda_{mj};$$

$$M\eta^2 = (M\eta)^2 + \frac{1}{\lambda^2}; \quad M\eta^3 = \frac{13}{8} \cdot (M\eta)^3;$$

– при $m-1$ ремонтной бригаде

$$\Delta = m \cdot M\eta^{m-1} \cdot \sum_{j=1}^s \lambda_{1j} \cdot \lambda_{2j} \cdot \dots \cdot \lambda_{mj}.$$

Задача

Рассчитать показатели надежности – интенсивность отказов (Δ) и время безотказной работы (T) – для отдельных простейших восстанавливаемых систем, у которых интенсивность отказов одного водовода постоянна и равна λ ($\lambda = 2$ 1/год), время ремонта $t_b = 18$ ч.

Задание № 1

Вода подается объекту снабжения по системе из двух ($n = 2$) параллельно уложенных водоводов одинаковой длины и диаметра (рис. 7.1, а), при исправной работе оба водовода подают требуемое количество воды (работа в облегченном режиме). Отказ любого из водопроводов вызывает снижение подачи воды не ниже допустимого. Отказ системы (полное прекращение подачи воды) происходит только тогда, когда во время ремонта одного водовода отказывает второй водовод.

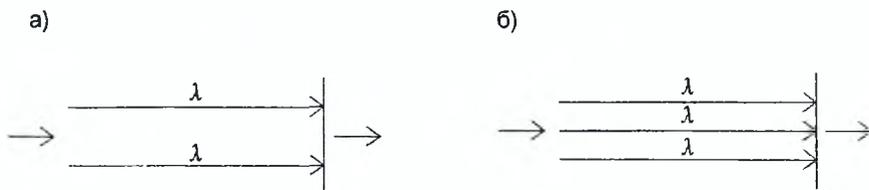


Рис.7.1

Задание № 2

Три водовода работают одновременно (рис. 7.1, б). Предположим: 1. Отказ системы происходит тогда, когда во время ремонта одного водовода отказывают оба оставшихся. 2. Отказ системы происходит тогда, когда во время ремонта одного водовода отказывает любой из двух оставшихся. Улучшит ли показатель надежности наличие второй ремонтной бригады?

Задание № 3

Два водовода с перемычкой (рис. 7.2). Перемычки имеют весьма малую длину по сравнению с линиями водоводов и работают в относительно более благоприятных условиях. В связи с этим их надежность во много раз превышает надежность самих водоводов, и в расчетной схеме обычно вообще пренебрегают вероятностью отказа перемычки. Поэтому на расчетной схеме рассматриваемой системы, приведенной на рис. 7.2 б, перемычка заменена абсолютно надежным узлом А. Рассмотреть все возможные состояния этой системы. Сравнить полученные результаты с результатами расчета задания № 1.

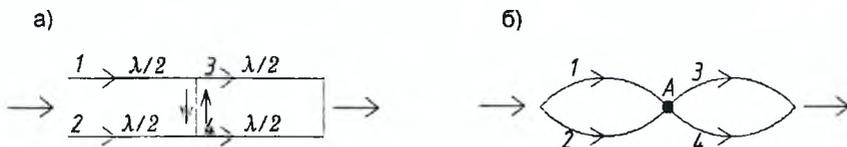


Рис.7.2

Задание № 4

Три водовода с перемычкой (рис. 7.3). Рассмотреть все возможные состояния этой системы.

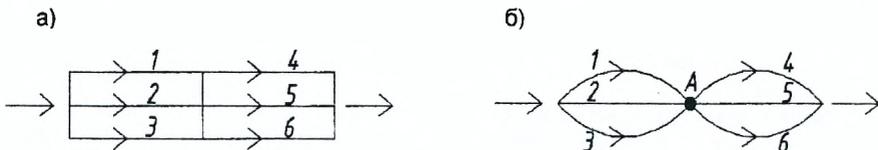


Рис.7.3

Лабораторная работа № 8

Методы оптимального резервирования системы водопроводов без перемычки.

Цель работы: 1. На теоретическом уровне ознакомиться с методами оптимального резервирования системы водопроводов. 2. Практически найти оптимальный вариант резервированной системы водопроводов для различных вариантов.

Общие сведения

При выборе и оценке возможных методов резервирования водопроводов необходимо прежде всего четко определить условия нормального уровня функционирования системы и допустимых пределов его снижения в аварий-

ной ситуации, т. е. чётко определить состояние отказа. Для нормального функционирования системы водоводов необходима подача объекту расчетного расхода воды Q . В период аварийной ситуации система должна обеспечивать подачу воды не менее чем $Q_a = \alpha \cdot Q$, где α устанавливается нормативными требованиями и может меняться в пределах от 0 до 1.

Основным типом структурного резервирования водоводов является использование группы параллельно уложенных линий водоводов, основных и резервных, рассчитанных для транспортирования заданных количеств воды. Оптимальное резервирование системы водоводов сводится фактически к нахождению такого числа основных и резервных элементов (линий), которые бы при минимальной стоимости системы выполняли заданные функции и одновременно обеспечивали её требуемую надежность.

Надежность системы возрастает при увеличении числа резервных линий n_r , или, при увеличении кратности резервирования $K = n_r / n_0$. В любой резервированной системе водоводов $n = n_0 + n_r$, где n – общее число линий водоводов, n_0 – число основных линий водоводов. Если обозначить через m – минимальное число линий, отказ которых вызывает отказ системы, то получим $n_r = m - 1$.

Различают следующие возможные режимы работы резервных элементов:

- *ненагруженный резерв* – резервные элементы при обычной работе вообще не несут нагрузку;
- *нагруженный резерв* – резервные элементы работают в том же режиме, что и основные;
- *облегченный резерв* – резервные элементы находятся в облегченном режиме по сравнению с основными.

Процесс сравнения вариантов может производиться путем определения и сравнения как стоимостных (экономических), так и показателей надежности всех целесообразных с инженерной точки зрения вариантов. Как стоимостные, так и надёжностные показатели системы трактов подачи воды зависят от допустимого изменения функций системы в результате возможных аварий, характеризующихся величиной $\alpha = Q_a / Q$, видом используемого резерва, кратностью резервирования K и общим числом параллельных линий n .

Задача

Найти оптимальный вариант резервированной системы водоводов для различных вариантов при следующих исходных данных: укладка водоводов из стальных труб, длина трассы подачи 4800 м, расчётный расход $Q = 600$ л/с, стоимость 1 м водовода: для $d = 800$ мм – 58 руб., $d = 700$ мм – 47,8 руб., $d = 500$ мм – 36,4 руб., $d = 450$ мм – 32 руб., $d = 400$ мм – 27,4 руб. Интенсивность отказов для линий труб длиной 4,8 км: при $d = 400 + 500$ мм $\lambda = 2,4$ 1/год, при $d = 600 + 800$ мм $\lambda = 2$ 1/год. Время восстановления повреждённых линий: $d = 400 + 500$ мм $t_b = 18$ ч, или 0,002 года, при $d = 600 + 800$ мм $t_b = 20$ ч или 0,0023 года.

Вариант № 1. Используется принцип нагруженного резерва. Заданная суммарная расчетная производительность системы водоводов Q равномерно распределяется при их нормальной работе между всеми линиями системы ($\alpha = 0,5$).

Вариант № 2. Используется принцип облегченного резерва. Линии водоводов будут нести меньшую нагрузку (при нормальной работе), чем та расчетная нагрузка по которой определен их диаметр ($\alpha = 0,7 + 0,75$).

Вариант № 3. Используется принцип ненагруженного резерва ($\alpha = 1$).

Все варианты рассматриваются при общем числе водоводов $n = 2,3,4$.

Расчётные данные сводятся в табличную форму. $K = \frac{n_r}{n_0}$.

Таблица 8.1 – Расчётные данные.

№ варианта	Число линий				α	$K = \frac{n_z}{n_0}$	d, мм	C, тыс. руб.	Δ, 1/год	T, год
	n ₀	n _p	n	m						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1а	1	1	2	2	0,5	1	500	350	0,023	43,5
1б	2	1	3	2	0,5	0,5	450	460	0,07	14
1в	2	2	4	3	0,5	1	400	526	0	∞
2а	1	1	2	2	0,75	1	700	459	0,018	56
2б	2	1	3	2	0,75	0,5	500	524	0,07	14
2в	2	2	4	3	0,75	1	500	700	0	∞
3а	1	1	2	2	1	1	800	557	0,018	56
3б	1	2	3	3	1	2	800	835	0	∞
3в	1	3	4	4	1	3	800	1074	0	∞
3г	2	1	3	2	1	0,5	500	524	0,07	14
3д	2	2	4	3	1	1	500	700	0	∞

$$1а \Delta = 2 \cdot \lambda^2 t_в;$$

$$\Delta = 6 \cdot \lambda^2 t_в;$$

$$1б \Delta = 6 \cdot \lambda^2 t_в;$$

$$\Delta = 12 \cdot \lambda^3 t_в^2;$$

$$1в \Delta = 12 \cdot \lambda^3 t_в^2;$$

$$2а \Delta = 2 \cdot \lambda^2 t_в;$$

$$2б \Delta = 6 \cdot \lambda^2 t_в;$$

$$2в \Delta = 12 \cdot \lambda^3 t_в^2;$$

$$3а \Delta = 2 \cdot \lambda^2 t_в;$$

$$3б \Delta = 3 \cdot \lambda^3 t_в^2;$$

$$3в \Delta = 4 \cdot \lambda^4 t_в^3.$$

3г

3д

Примечание:

1. Диаметр трубопроводов принимается в зависимости от расхода по справочной литературе.

2. Строительная стоимость системы определяется по формуле:

$$C = C_1 \cdot L \cdot n, \text{ тыс. руб.},$$

где C_1 – стоимость 1 м водовода, руб;

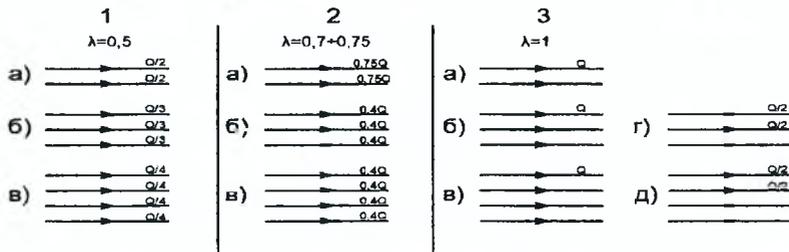
L – длина трассы подачи, м;

n – общее число линий водоводов.

3. Формулы для расчёта интенсивности отказов (Δ, 1/год) и времени безотказной работы (T, год) приведены в предыдущей лабораторной работе.

$$\Delta = m \cdot t_в^{m-1} \cdot \sum_{j=1}^m \lambda_{1j} \cdot \lambda_{2j} \cdot \dots \cdot \lambda_{mj}, \text{ 1/год}$$

$$T = \frac{1}{\Delta}, \text{ год}$$



Выводы:

1. Чем больше α, тем выше стоимость строительства, т. е. ненагруженный резерв является самым дорогим.

2. Чем больше линий, тем выше стоимость, но надёжность также выше.

3. Чем выше коэффициент резервирования, тем выше надёжность системы.

Требования к заполнению титульного листа

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
"Брестский государственный технический университет"
Кафедра бухгалтерского учета, анализа и аудита

К ЗАЩИТЕ
Зав. кафедрой
_____ (_____)
" ____ " _____ 20 ____ г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломной работе на тему
"Значение финансовых результатов в деятельности
коммерческого банка"
(на примере АКБ «Белобизнесбанк»)

шифр разработки (заполняется при необходимости)

Зав. кафедрой	_____	_____	_____
	(подпись)	(дата)	(Ф.И.О.)
Руководитель	_____	_____	_____
	(подпись)	(дата)	(Ф.И.О.)
Консультант	_____	_____	_____
	(подпись)	(дата)	(Ф.И.О.)
Консультант	_____	_____	_____
	(подпись)	(дата)	(Ф.И.О.)
Дипломник	_____	_____	_____
	(подпись)	(дата)	(Ф.И.О.)

Брест 2002

**Основные ряды предпочтительных чисел
(члены рядов в интервале от 1 до 10)**

R5	R10	R20	R40
1,0	1,0	1,0	1,0
			1,06
		1,12	1,12
			1,18
	1,25	1,25	1,25
			1,32
		1,40	1,40
			1,50
1,60	1,60	1,60	1,60
			1,70
		1,80	1,80
			1,90
	2,00	2,00	2,00
			2,12
		2,24	2,24
			2,36
2,50	2,50	2,50	2,50
			2,65
		2,80	2,80
			3,00
	3,15	3,15	3,15
			3,35
		3,55	3,55
			3,75
4,00	4,00	4,00	4,00
			4,25
		4,50	4,50
			4,75
	5,00	5,00	5,00
			5,30
		5,60	5,60
			6,00
6,30	6,30	6,30	6,30
			6,70
		7,10	7,10
			7,50
	8,00	8,00	8,00
			8,50
		9,00	9,00
			9,50
10,0	10,0	10,0	10,0

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оформление материалов курсовых, дипломных проектов и работ, отчетов по практике. Общие требования и правила оформления: СТ БГТУ 01-2002. – Брест: УО БГТУ, 2002. – 47 с.
2. Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел: ГОСТ 8032-84. – Введ. 1984-08-09 – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 19 с.
3. Основные требования к документации строительного проекта: СТБ 2255-2012.
4. Радкевич, Я. М. Метрология, стандартизация и сертификация / Радкевич Я. М., Схиладзе А. Г., Лактионов Б. И. – М. : Высшая школа, 2007 – 790 с.
5. Лифиц, И. И. Стандартизация, метрология и сертификация / Лифиц И. М. – М. : Юрайт, 2007 – 399 с.

Учебное издание

Составители:

Мороз Владимир Валентинович

Рыбак Екатерина Сергеевна

Сенчук Дарья Дмитриевна

Новосельцева Анна Геннадьевна

Методические указания

к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Метрология, стандартизация и сертификация»

для студентов специальности

*1-700403 – «Водоснабжение, водоотведение
и охрана водных ресурсов»*

Ответственный за выпуск: Мороз В. В.

Редактор: Митлошук М. А.

Компьютерная верстка: Рогожина Ю. А.

Корректор: Дударук С. А.

Подписано в печать 22.06.2021 г. Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага «Performer».
Гарнитура «Arial». Усл. печ. л. 2,09. Уч. изд. л. 2,25. Заказ № 654. Тираж 22 экз.
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.