

**Escuela Superior de Artillería y Cohetería "Mariscal Jefe N.N.
Voronov" de Penza, condecorada con la Orden Estrella Roja**

Cátedra No. 22

Exemplar 1

Título do Trabalho Final de Doutorado

(ОТЧЕТ по НИР) No B8-76

**SISTEMA DE DIAGNÓSTICO, MANUTENÇÃO E
EXPLORAÇÃO DOS INSTRUMENTOS OPTICO-
MECÂNICOS E OPTO-ELETRÔNICOS
CONSIDERANDO AS PARTICULARIDADES MEIO
AMBIENTAIS DA REPÚBLICA DE CUBA.**

ORIENTADOR: Coronel- Engenheiro Mijail Feodorovich Vocharnikov

AUTOR: Capitão-Engenheiro Walfrido Alonso Pippo

Penza, 1975-1979

RESUMO (АННОТАЦИЯ)

No trabalho foi levada a cabo a avaliação da influência dos fatores meio ambientais e condições de exploração na confiabilidade dos instrumentos de artilharia considerando a experiência do manuseio nas Forças Armadas da República de Cuba. Foram obtidas conclusões sobre o grau de agressividade dos fatores do meio ambiente nas condições de trabalho de Cuba. Baseado no levantamento estatísticos de dados foram elaborados modelos de prognóstico sobre a confiabilidade dos instrumentos ópticos.

O trabalho está composto de dois capítulos. No primeiro capítulo é levada a cabo a análise dos indicadores de desempenho da confiabilidade e avaliou-se a influência que neles têm as condições meio ambientais de Cuba. No segundo capítulo foi elaborada a fundamentação sobre a escolha dos indicadores de desempenho da confiabilidade. Foi feita uma análise sobre os tipos de falhas no funcionamento e elaborados os modelos matemáticos para o prognóstico da probabilidade de falhas dos instrumentos, assim como uma avaliação sobre a influência da complexidade construtiva dos instrumentos na sua confiabilidade.

O trabalho tem como objetivo a elaboração de recomendações para o aumento do grau de confiabilidade dos instrumentos ópticos em geral e também para a realização de um planejamento mais objetivo dos prazos e dos estoques de peças de reposição para a manutenção e o reparo considerando as condições meio ambientais e as condições de exploração destes tipos de instrumentos nas Forças Armadas Revolucionárias da República de Cuba.



Пензенское высшее артиллерийское инженерное
ордена Красной Звезды училище
имени Главного маршала артиллерии Н. Н. Воронова

Научно-исследовательский отдел

Кафедра № 22

Экз. №

ОТЧЕТ по НИР

№ В-8/76

Пенза—1979 г.

Зак. 297. Тип. ПСАИУ

Пензенское высшее артиллерийское инженерное
ордена Красной Звезды училище
имени Главного маршала артиллерии Н. Н. Воронова

Научно-исследовательский отдел

Кафедра № 22

УТВЕРЖДАЮ

_____ 19 г.

Экз. № _____

ОТЧЕТ по ВНР № В-8/76

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЁЖНОСТИ
Артиллерийских оптических приборов
по опыту их эксплуатации в революционных
вооружённых силах Республики Куба

Научный руководитель:

[ответственный исполнитель]
полковник-инженер

(БОЧАРНИКОВ)

Исполнители:

капитан-инженер

(АЛОНСО ПИППО)

П е н з а
197 7 г.

Пензенское высшее артиллерийское инженерное училище
имени Главного маршала артиллерии Н. Н. Воровского
ордена Красной Звезды училище

«СОГЛАСЕН»

Научно-исследовательский отдел

Начальник 4 факультета

ПОЛКОВНИК-ИНЖЕНЕР

(МИШЕНИН) *Мишенин*

« » 19 г.

УТВЕРЖДАЮ

«СОГЛАСЕН»

Начальник

ОТЧЕТ по ВНР №

« » 19 г.

Научный руководитель

[ответственный преподаватель]

Начальник НИО

ПОЛКОВНИК-ИНЖЕНЕР

Парталя **(ПАРТАЛЯ)**

«20» декабрь 1977 г.

Зак. 295. Тип. ПВАИУ

Пенза
1977

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Аннотация.....	1
Введение.....	2
I. Оценка влияния факторов окружающей среды и условий эксплуатации на работоспособность артиллерийских оптических приборов.....	4
I.1. Основные показатели работоспособности артиллерийских оптических приборов.....	4
I.2. Параметры, определяющие визуальные свойства оптических приборов.....	5
I.3. Параметры и характеристики определяющие измерительные свойства оптических приборов.....	11
I.4. Особенности климатических условий и микрофлоры республики Кубы.....	15
I.5. Влияние факторов окружающей среды на работоспособность артиллерийских оптических приборов.....	19
Выводы.....	28
2. Исследование надёжности артиллерийских оптических приборов по опыту их эксплуатации в РВС республики Кубы.....	29
2.1. Выбор и обоснование методов оценки надёжности.....	29
2.2. Оценка видов и причин неисправностей по результатам экспертного опроса.....	30
2.3. Сравнительная оценка результатов экспертного опроса с объективными данными ремонтных органов.....	37
2.4. Выбор и обоснование показателей надёжности артиллерийских оптических приборов, применительно к условиям эксплуатации в РВС республики Кубы.....	42
2.5. Статистическая оценка надёжности артиллерийских оптических приборов.....	48

2

+ 2.6. Оценка влияния конструкции артиллерийских оптических приборов на их надёжность при эксплуатации в РВС республики Кубы.....	65
2.7. Оценка возможности прогнозирования отказов на основе закона распределения генеральной совокупности оптических приборов.....	73
Выводы.....	75
Заключение.....	76
Литература.....	77

А Н Н О Т А Ц И Я

В работе проведена оценка влияния факторов окружающей среды и условий эксплуатации на работоспособность артиллерийских оптических приборов по опыту эксплуатации в революционных Вооружённых Силах республики Кубы.

Получены выводы о степени агрессивности факторов окружающей среды в условиях Кубы. На основе статистических данных были разработаны модели для прогнозирования надёжности оптических приборов.

Работа состоит из двух глав. В первой главе проводится анализ показателей работоспособности приборов и оценивается влияние на них факторов окружающей среды в условиях республики Кубы. Во второй главе обосновываются выбор показателей надёжности приборов, проводится анализ видов и прочих неисправностей, выводятся математические модели для прогноза вероятности отказа оптических приборов и оценивается влияние конструкции на их надёжность.

Работа предназначена для использования при разработке мер по повышению надёжности оптических приборов, а также для объективности при планировании ремонта и снабжение приборами и запасными деталями применительно к условиям эксплуатации в революционных Вооружённых Силах республики Кубы.

В В Е Д Е Н И Е

В программной платформе принятой на I-ом съезде Коммунистической Партии Кубы говорится: партия уделяет и впредь будет уделять особое внимание, укреплению обороноспособности страны, поддержанию боевой и мобилизационной готовности революционных Вооружённых Сил, активному участию всего народа в защите революционных завоеваний, отечественной независимости и суверенитета.

Укрепление обороноспособности невозможно без повышения надёжности образцов вооружения и боевой техники.

В РВС республики Кубы стоят на вооружении современные оптические приборы, они являются самыми массовыми средствами разведки и прицеливания.

От технического состояния приборов во многом зависит время выполнения многих огневых задач и эффективность их выполнения. Для условий РВС Кубы особенно надо считаться с этим обстоятельством, так как при эксплуатации приборы подвергаются разрушительным воздействиям влажно-тропического климата и выходят из строя чаще, чем в условиях умеренного климата.

Проблема защиты оптических приборов при эксплуатации в условиях влажно-тропического климата, представляющая собой проблему международного значения, в настоящее время не решена. Хотя и существуют различные способы повышения стойкости приборов к воздействию влаги, микрофлоры и других факторов (в частности связаны с применением фунгицидных плёнок, более эффективных влагопоглощающих средств), но на практике они не нашли ещё широкого применения из-за больших технико-экономических трудностей и трудностей, связанных с особыми требованиями техники безопасности.

Даже в том случае, когда эти меры станут осуществимыми на практике, вопрос о надёжности приборов при эксплуатации в условиях республики Кубы не будет полностью исчерпан. Дело в том, что приборы могут иметь очень высокую безотказность, но время на их ремонт может оказаться значительным, а следовательно большим будет и время неработоспособного состояния.

Вопрос уменьшения времени, необходимого для ремонта оптических приборов, связан с организацией и планированием эксплуатации и требует информации о качественной и количественной сторо-

нах надёжности приборов при эксплуатации.

На Кубе до настоящего времени не изучалась надёжность артиллерийских оптических приборов при эксплуатации в условиях РВС, и не существует научной оценки причин и закономерностей возникновения отказов и путей из возможного предотвращения. С другой стороны не существуют и научно обоснованные критерии для планирования обеспечения материалами и запасными частями сложного процесса ремонта большого количества различных видов оптических приборов, стоящих на вооружении, что создает определённые трудности при планировании и организации работы ремонтных органов.

Настоящая работа является попыткой дать ответ на перечисленные выше вопросы. В ней проводится анализ и оценка факторов окружающей среды и их влияния на надёжность приборов, предлагаются вероятностные модели для заблаговременного прогноза отказов и для их использования при планировании.

1. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ Артиллерийских оптических приборов

1.1. Основные показатели работоспособности артиллерийских оптических приборов

В современном бою для выполнения целого ряда боевых задач применяются оптические приборы. Опыт войны во Вьетнаме, на Ближнем Востоке и совсем недавно в Анголе показывает, что применение других более современных средств наблюдений, измерения и прицеливания (радиолокационные станции, лазерные приборы, тепловизионаторы и другие) не может заменить оптических приборов, а лишь дополняет их и расширяет возможности разведки.

К задачам решаемым с помощью оптических приборов относятся:

- обнаружение и распознавание целей;
- определение координат целей;
- осуществление целеуказания, подготовка исходных данных, управление огнём и в целом боевыми действиями;
- наведение орудий миномётов, гранатомётов, реактивных и ракетных установок, стрелкового оружия.

Исходя из основного назначения оптических приборов разведки и прицеливания следует, что основными показателями эффективности наблюдения (видимости) через оптические приборы считается дальность видимости и время обнаружения и распознавания объектов.

Дальность видимости и время необходимое для обнаружения объектов определяется параметрами объектов разведки: размеры, подвижность, светотехнические характеристики объекта, яркость фона, яркость (освещённость) пространства объектов, метеорологическая дальность видимости, маскировки, а также параметров прибора наблюдения (увеличение, разрешающая способность и интегральный коэффициент светопропускания) и контрастной чувствительностью органов зрения наблюдателя.

Как видно, условия видимости зависят от большого количества случайных факторов, которые тесно взаимосвязаны друг с дру-

гом и удельный вес, которых (в зависимости от конкретных условий и характера выполняемых задач) является тоже случайным.

Зависимость от столь многих случайных факторов и чрезвычайная сложность взаимосвязей и взаимозависимостей в сильной степени затрудняют вывод аналитической зависимости между вероятностью выполнения боевой задачи и любым из перечисленных факторов.

Кроме того, для выполнения различных боевых задач военная промышленность изготавливает различные по конструктивному оформлению и по своим характеристикам приборы. Разнообразие конструкций и характера выполняемых задач затрудняет сравнение приборов между собой и определение обобщенных критериев для оценки работоспособности прибора.

С другой стороны особенностью оптического прибора является то, что приемником световой энергии, прошедшей через него является глаз человека, и следовательно заключение о работоспособности или неработоспособности прибора зависит от субъективной оценки каждого индивидуального наблюдателя.

Перечисленные факторы и особенности создают серьезные трудности для определения показателей работоспособности. Для оценки работоспособности приборов условимся считать, что работоспособным оптическим прибором является такой прибор, техническое состояние которого удовлетворяет требованиям технических условий при ремонте в войсковых условиях, или по другому если его техническое состояние удовлетворяет минимальным допустимым тактико-техническим требованиям к боевому применению.

На рис. I показана схема технического состояния прибора и чем оно определяется.

Визуальные свойства оптического прибора играют наиболее важную роль в работоспособности прибора в целом, так как от них зависят и измерительные свойства прибора.

Визуальные и измерительные свойства прибора характеризуются техническими параметрами, по отклонению которых за пределы допусков можно оценивать их работоспособность.

1.2. Параметры, определяющие визуальные свойства оптических приборов.

Визуальные свойства оптических приборов выражаются их оптическими характеристиками на некоторые из которых сущест-

вуют определённые допуски, обусловленные производственно-экономическими возможностями I (таблица I).

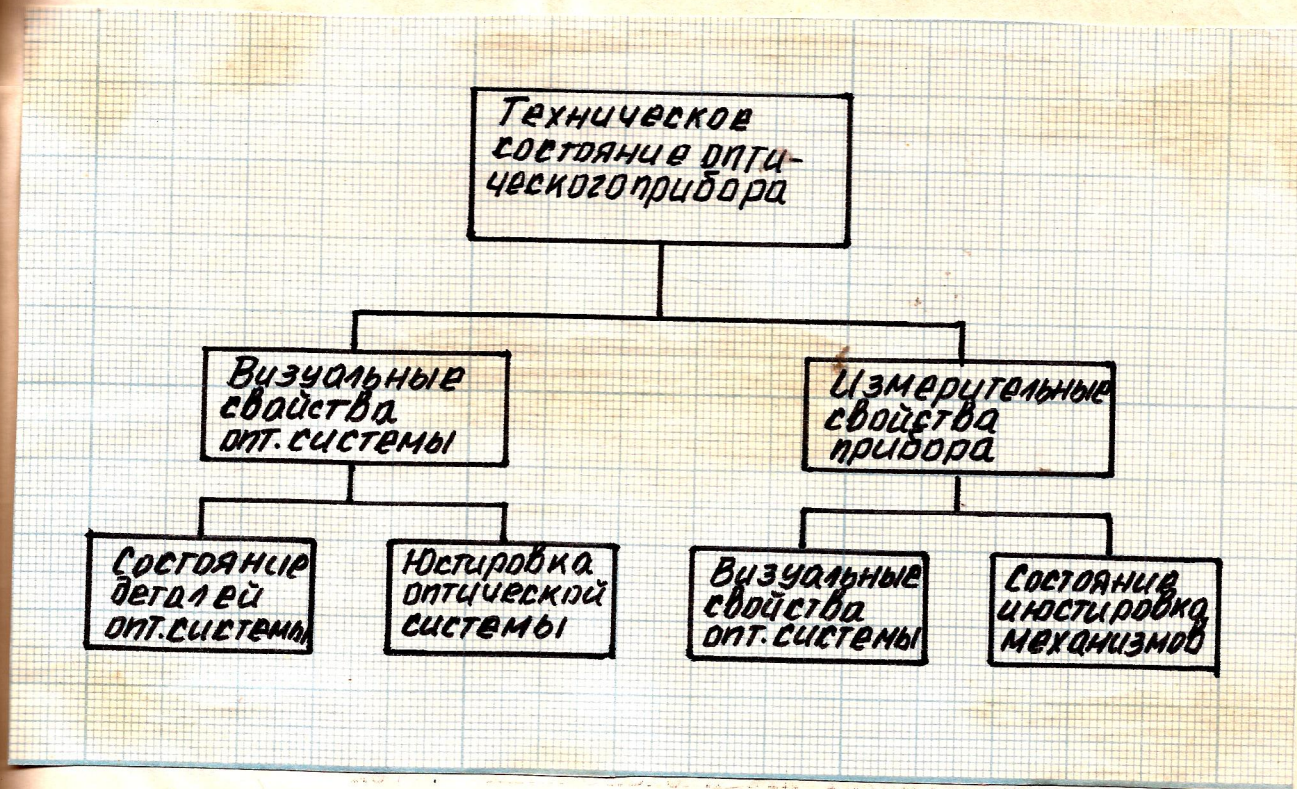


Рис. I. Схема зависимости технического состояния оптического прибора.

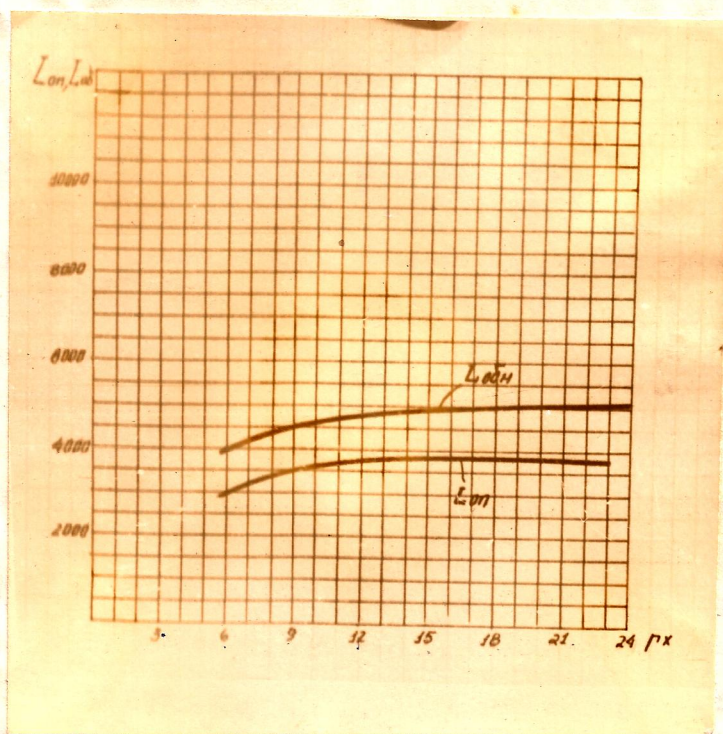


Рис. 2. Зависимость дальности обнаружения и опознания объектов от увеличения наблюдательного прибора (для метеорологической дальности видимости 6-8 км).

Таблица I

Порядковый номер	Характеристика	Условное обозначение	Допуск изменений	Примечание
1	Увеличение	γ (Г)	$\pm 5\% \gamma$	
2	Поле зрения	$2\omega'$	$\pm 5\% (2\omega')$	
3	Диаметр выходного зрачка	ϕ	10% ϕ	
4	Удаление выходного зрачка	p'	10% p'	
5	Разрешающая способность	δ'	-	Указывается конкретно на техн. условия.
6	Светопропускание	τ	-	"

Разница в кратности увеличения бинокулярных приборов приводит к двоению изображения и оказывает влияние на непараллельность оптических осей.

Отклонение кратности увеличения прибора от номинального значения не оказывает существенное влияние на дальность обнаружения и распознавание объектов. На рис. 2 показано, что в интервале от 8^x до 20^x (интервал увеличения наблюдательных приборов) отклонения увеличения даже больше, чем на 5% существенно не влияет. Однако следует учесть, что такие характеристики прибора, как кратность увеличения, диаметр и удаления выходного зрачка, поле зрения прибора в процессе эксплуатации практически остаются неизменными и допуска на них существуют, только как нормативные данные реализуемые в процессе производства и ремонта.

Из всех перечисленных в таблице I характеристик наиболее существенным изменениям в процессе эксплуатации могут подвергаться светопропускаемость и разрешающая способность, которые оказывают существенное влияние на дальность обнаружения и распознавание объектов.

В реальных оптических системах качество изображения зависит от аберрации самой системы и от разрешающей способности прибора.

Аберрации обычно учитываются и устраняются при расчёте самой оптической системы, а также в процессе производства и ремонта приборов, следовательно, качество изображения, возможность обнаружения и распознавания цели зависит от степени изменения разрешающей способности прибора в процессе его эксплуатации.

Разрешающая способность зависит от состояния самих оптических деталей и от юстировки прибора. Разрешающая способность тесно связана с коэффициентом светопропускания прибора и прямо пропорциональна ему:

$$\delta = \frac{140''}{D_{зрвх}}, \tag{I.2}$$

$$D_{зрвх} = f' \sqrt{\frac{H}{\tau}}, \tag{I.3}$$

тогда

$$(\delta')^2 = \frac{(140'')^2 \tau}{f'^2 H}, \tag{I.4}$$

где δ - величина разрешаемого угла в минутах;

$D_{зрвх}$ - диаметр входного зрачка;

f - фокусное расстояние объектива;

H - физическая светосила прибора.

Причину ухудшения разрешающей способности могут быть:

- ухудшение технического состояния деталей оптической системы;

- разюстировка (разфокусировка) прибора;

- пережим деталей оптической системы.

Техническое состояние оптических деталей при эксплуатации может ухудшиться за счёт загрязнения оптики и механических повреждений, за счёт возникновения налётов, проникновения влаги внутри прибора, **появление** смазки на оптические поверхности, осыпка, расклеивание и т.д.

Грязь или налёты на объективе в призмах, зеркалах и линзах оборачивающей системы (не стоящие в плоскости построения изображения), при налюдении в прибор в случае, если частицы не превышают определённых размеров и их плотность достаточно мала, практически не влияют на видимость.

При возникновении налётов на деталях, размещенных в фокальной плоскости объектива (плоскость сетки) или в плоскости

сопряжённой с ней видимость через прибор резко ухудшается, несмотря на тщательную отделку и чистку внутренних поверхностей приборов, мельчайшие стружки, кусочки лака, или волокна ваты могут при сборке остаться внутри прибора и в результате толчков и трясок попасть на поверхность оптических деталей.

Однако, после ремонта приборы подвергаются испытанию тряской и поэтому вероятность загрязнения оптики по причинам внутренних осыпок невелика. [I3, I4]

Обычно загрязнение оптики происходит вследствие нарушения герметичности приборов при эксплуатации, благодаря чему, внутри прибора могут попасть в первую очередь влага, споры микроорганизмов и пыль.

Точность юстировки оптической системы выражается следующими основными параметрами [I2]:

- параллакс изображения;
- наклон изображения;
- наклон сетки;
- увод линии визирования;
- непараллельность оптических осей.

В таблице 2 показаны допуски этих параметров согласно тактико-техническим требованиям и влиянию их превышении на работоспособность прибора.

Превышение допуска перечисленных параметров может быть только при смещении линз, призм, зеркал и других деталей оптической системы. Такое смещение оптических деталей может быть только при грубом нарушении правил эксплуатации или неумение личного состава обращаться с приборами. Однако, такие случаи не являются типичными.

Из всех перечисленных причин ухудшения визуальные свойства прибора наиболее часто встречаемыми являются загрязнения оптических деталей.

Светопропускание характеризуется коэффициентом светопропускания прибора, который определяется по формуле (I.5)

$$\tau = \frac{\Phi}{\Phi_0}, \quad (I.5)$$

где τ - коэффициент светопропускания;
 Φ - световой поток после прибора;
 Φ_0 - световой поток подающий на прибор.

Таблица 2

№ № п/п	Параметры юсти- ровки оптической системы	Размер- ность	Допус- ки	Влияние на работоспособ- ность прибора при пре- вышении допуска
1.	Параллакс	мин. или диоптр.	$\Delta p \leq 1' \pm 2'$	Приводит к ошибкам при измерении углов и к уменьшению резкости изображения.
2.	Наклон изображения	мин.	$\Delta \beta \leq 30' \pm 60'$	Приводит к ошибкам при измерении углов горизонтальных и вертикальных
3.	Наклон сетки	мин.	$\Delta \beta \leq 30'$	Приводит к ошибкам при измерении углов горизонтальных и вертикальных
4.	Непараллельность оптических осей	мин.	расхож. $20'$ схожд. $60'$ по верти- кали $\pm 15'$	Вызывает утомление наблюдателя и двоение изображения
5.	Увод линии визи- рования	мин.	$\Delta \alpha \leq 1' \pm 3'$	Вызывает ошибку при измерении горизонтальных и вертикальных углов.

Влияние снижения светопропускания на работоспособность мало изучено. Дело в том, что на практике обычно прибор теряет работоспособность раньше за счёт закрытия поля зрения, или сильного мешания наблюдению, чем за счёт уменьшения коэффициента светопропускания. Именно по этой причине после ремонта, проверка коэффициента светопропускания не предусматривается.

Коэффициент светопропускания учитывается особенно для ночных приборов и для тех приборов, которые могут работать при сумеречных условиях. Однако понятие сумеречных условий весьма широко и для военных приборов необходимо учитывать возможности применения именно в этих условиях.

Исследования проводимые в 1973 г. Л.П.ОСИПОВОЙ, показывают как влияет коэффициент на основные факторы видимости.

Основные факторы видимости следующие:

- острота зрения (разрешающая способность); (δ).
- пороговый контраст; (ϵ)
- устойчивость ясного видения; (σ)
- скорость зрительного восприятия (I/t).

Все эти факторы зависят от яркости и от других условий, но при оценке влияния светопропускания, принимают во внимание только яркость при уровне 100 нт., ибо превышение данного уровня яркости мало сказывается на изменении всех названных факторов. Это облегчает оценку влияния светопропускания на факторы видимости.

На рис.3 показаны относительные изменения факторов в зависимости от изменения τ [2].

Наиболее чувствительны к изменению τ , скорость зрительного восприятия, пороговый контраст и разрешающая способность. При изменении τ от 60% до 30% скорость зрительного восприятия сокращается на 15%, пороговый контраст возрастает на 7-8% и разрешаемый угол увеличивается на 7-8%.

Это свидетельствует о существенном влиянии светопропускания на видимость через приборы и следовательно на работоспособность.

Кроме того, снижение коэффициента светопропускания влияет на длительность периода оптимальных условий наблюдений. На рис. 4 показан характер изменений периода оптимальных условий наблюдения T_0, T_c и периода светлого времени суток от τ на широте 55° в пасмурную погоду [2]

Из рис.4 видно, что при уменьшении коэффициента светопропускания от 50% до 30% в периоде декабрь-январь, относительное уменьшение периода оптимальных условий наблюдения $\Delta T_0/T_0$ достигает 100 % или иначе при уменьшении τ от 50% до 30% в названном периоде (декабрь-январь) отсутствуют оптимальные условия наблюдений. В более светлые месяцы (февраль-ноябрь) периода оптимальных условий наблюдений уменьшается примерно на 50-55%.

1.3. Параметры и характеристики, определяющие измерительные свойства оптических приборов

Измерительные свойства оптического прибора, выражается через параметры и характеристики механической части, к числу которых относятся:

- величина мертвого хода;
- величина несоответствия измерительного угла с действительным углом;
- плавное действие механизмов;
- точность юстировки уровней прибора;

- исправность магнитной стрелки.

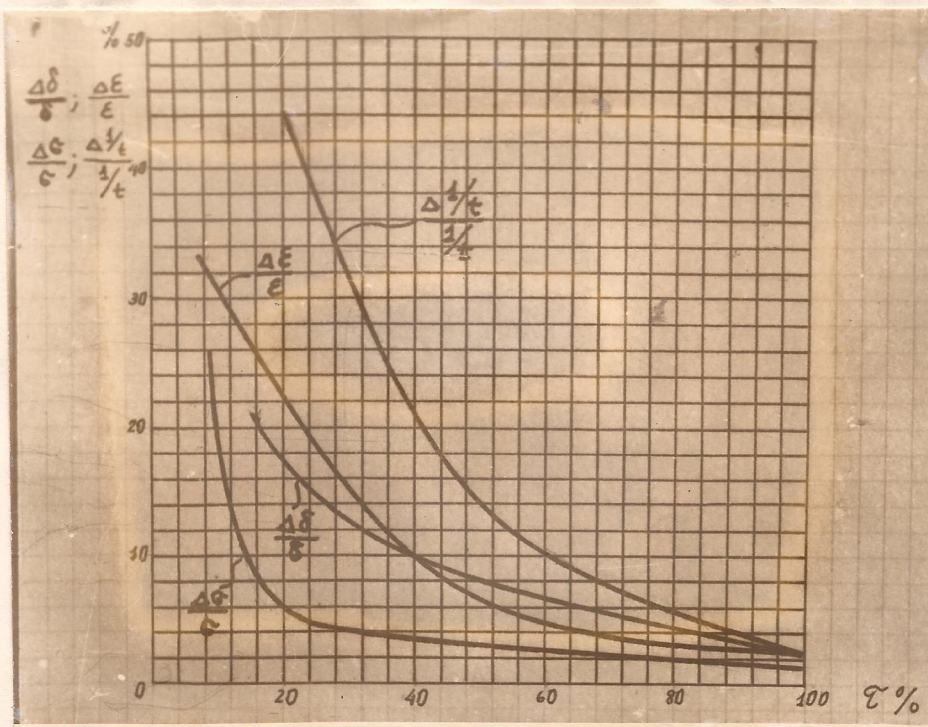


Рис. 3. Зависимость изменения факторов видимости относительно величин при яркости поля зрения 100 нт.

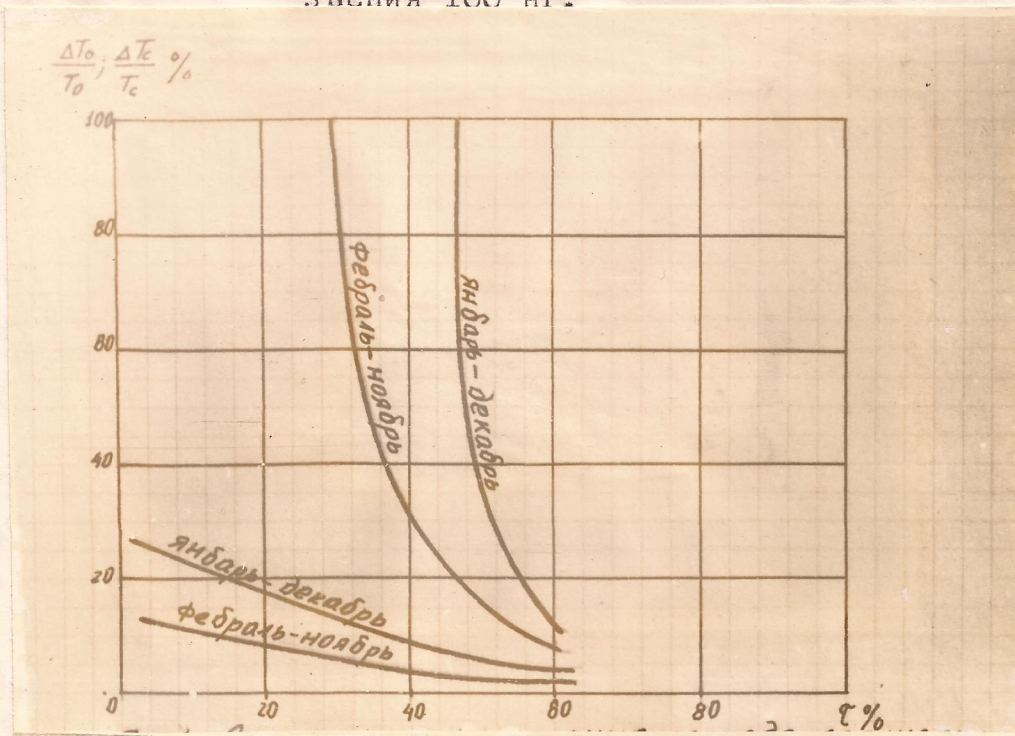


Рис. 4. Относительное уменьшения периода оптимальных условий наблюдения $\frac{\Delta T_0}{T_0}$ (яркость менее 100 нт.) при разных значениях коэффициента светопропускания прибора τ на широте 55° в пасмурную погоду.

Их влияние на измерительные свойства прибора показано в таблице 3.

Таблица 3

№ п/п	Параметры и условия определяющие измерительные условия	Размерность	Допуск	Влияние на работоспособность при превышении допуска или несоблюдение условий
1.	Величина мертвого хода	Деление угломера (тысяч)	0-01	Вызывает ошибки в измерении углов и определении координат.
2.	Величина несоответствия действительным и измерительным углом	Деление угломера (тысяч)	0-01	-"
3.	Действие механизмов		-	Затрудняет работу с прибором, иногда становится невозможно работать с ним.
4.	Юстировка уровней прибора		-	Вызывает ошибки в измерении углов и координат.
5.	Действие магнитной стрелки		-	Вызывает ошибки в измерении маг. азимута

Мертвый ход снижает точность работы измерительных механизмов. Почти во всех отчетных механизмах оптических приборов применяются, обычно червячные передачи, поэтому мертвый ход является основной ошибкой в этих механизмах.

Основными причинами мертвого хода в червячных передачах являются:

- 1) Зазор между зубцами червячного колеса и червяком.
- 2) Аксальный зазор в подшипниках червяка или между червяком и подшипником.

Мертвый ход по первой причине может возникать в результате износа зубцов или в результате неправильной сборки механизма. Вообще износ зубцов и неправильная сборка механизма не являются характерными дефектами при эксплуатации.

Наиболее часто встречаемый вид причин возникновения мертвого хода в механизмах оптического прибора являются аксиальными зазорами между червяком и эксцентриковым подшипником.

Аксиальные зазоры возникают вследствие недовинчивания гаек подшипника или их ослаблении в процессе работы и боевого применения, неправильной установки пружинного подпятника или усталости пружинного подпятника.

Все эти дефекты встречаются в результате неправильной сборки механизма. Аксиальные зазоры обычно не возникают при эксплуатации, они встречаются после ремонта.

Причинами несоответствий показаний шкал механизмов действительными величинами измеренных углов могут быть:

- изгиб червяка;
- местный износ зубьев червячного колеса.

По первой причине несоответствие может получиться в результате неправильного обращения с прибором или в результате боевых повреждений.

По второй причине несоответствие обычно встречается в тех приборах, в которых механизм используется только в диапазоне $\pm 3-00$ или в результате износа червячного колеса.

Этот дефект не характерен при эксплуатации в наших условиях и встречается очень редко.

Ненормальная работа механизмов прибора проявляется в виде:

- слабого неплавного хода;
- тугого хода и заедания;
- свободное падение труб;
- радиальной и продольной шаткостей деталей.

Слабый ход возникает в результате износа трущихся плоскостей или поверхностей механизма.

Неплавный, тугой ход или заедание механизма получается в результате:

- загрязнение механизма или высыхание смазки;
- забоин на витках червяка или зубьях червячного колеса;
- задиры на трущихся поверхностях деталей механизма.

Все эти причины возникновения неплавного тугого хода встречаются часто на практике и возникают из-за нарушения правил эксплуатации.

Свободное падение труб обычно получается в механизмах шарнирного типа в результате износа трущихся плоскостей ушков.

Радиальная или осевая шаткость встречается в механизмах вследствие износа или недовинчивания гаек. Особенно вредна радиальная шаткость окуляров, т.к. она может вызывать заметное на глаз двоение изображения.

Разъюстировка уровней прибора встречается в результате тряски при транспортировке. [REDACTED]. От юстировки уровней прибора зависит в основном точность всех последующих измерений.

Действие магнитной стрелки может быть нарушено вследствие:

- размагниченности стрелки;
- трещины в подпятнике стрелки;
- притупления шпилья.

Все эти причины встречаются довольно часто на практике.

Как уже отмечалось из всех перечисленных дефектов, влияющих на работоспособность артиллерийских оптических приборов, наиболее распространенными в условиях республики Кубы является загрязнение оптических деталей, возникающее главным образом вследствие специфических климатических и микробиологических условий эксплуатации.

1.4. Особенности климатических условий и микрофлоры республики Кубы

В отличие от большинства территории СССР на Кубе преобладает влажно-тропический климат, наиболее важными при эксплуатации оптических приборов являются:

- 1) Относительная влажность;
- 2) Температура воздуха;
- 3) Микрофлора;
- 4) Солнечная радиация;
- 5) Атмосферное давление.

Относительная влажность. Среднегодовая относительная влажность согласно измерениям национальной обсерватории составляет 80% [3]. Причём надо отмечать, что на Кубе различаются два периода в году: дождливый период и засушливый период. Средняя относительная влажность в дождливом составляет 81,1%, а в засушливом 77,5 %.

Как видно разница в относительных влажностях обоих периодов мала. Поэтому можно пользоваться среднегодовыми показателями влажности.

Осадки на Кубе, хотя и резко различаются в дождливом и засушливом периодах не оказывают большое влияние на изменение относительной влажности, которая приблизительно держится на одном уровне. С другой стороны относительная влажность воздуха равномерна по всей территории.

Температура воздуха. По данным национального обсерватория о температуре воздуха за 39 лет наблюдений, условно климат кубинской республики можно разделить на четыре района 3 рис.5.

а) район "холодного" воздуха со среднегодовой температурой $24,2^{\circ}\text{C}$;

б) район умеренного "теплого" воздуха со среднегодовой температурой 25°C ;

в) район теплого воздуха со среднегодовой температурой 26°C .

г) район жаркого воздуха со среднегодовой температурой 27°C .

Как видно из рис.5 основная часть страны имеет среднегодовую температуру $25^{\circ}\text{C}-26^{\circ}\text{C}$. В каждом районе температура воздуха мало отличается от среднегодовых показателей, отклонения от среднегодового составляют $+1,5^{\circ}\text{C}$; $+1,6^{\circ}\text{C}$; $+2,6^{\circ}\text{C}$ и $2,7^{\circ}\text{C}$ (таблица 4).

Микрофлора. На Кубе имеются благоприятные условия для развития плесневых грибов. Плесневые грибки размножаются путём скорообразования при относительной влажности 95-100% и температуре 15-37°C. [11]. Кроме географического положения, сама конфигурация острова способствует тому, что ветры как с северо-запада, так и с юго-запада, пересекая остров, переносят огромное количество спор микроорганизмов.

Многие наблюдения подтверждают, что количество спор грибов в районах субтропика в 3 раза больше чем в воздухе умеренного климата [4]. Причём в субтропиках имеется огромное количество разных видов грибов. Опыт эксплуатации приборов на Кубе показывает, что действию налётов подвергаются даже новые



Рис. 5.

Абсолютные значения температур и величины их отклонения
в представительных пунктах климатических районов относятся
к данным национальной обсерватории

18 -

Климатический район	Месяцы												Средне- годовая
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Средняя по Кубе	22,6	23,4	24,4	25,6	26,4	27,2	27,6	27,8	27,4	25,6	25,0	23,5	25,5
Средняя в национальной обсерватории	21,5	21,1	24,3	25,2	25,6	26,4	27,1	27,4	26,6	24,6	23,7	22,8	24,7
Район холодного климата	21,1	21,3	22,8	24,4	25,2	26,3	26,8	27,1	26,1	24,8	23,2	21,5	24,2
Район умеренного климата	21,9	22,7	24,5	25,3	25,9	26,6	27,1	27,4	26,8	25,8	24	22,4	25,0
Район теплого климата	23,3	23,7	24,6	25,8	26,6	27,6	28,4	28,7	28	27,1	25,5	24,1	26,1
Район жаркого климата	23,8	25,2	25,7	26,4	27,5	28,2	28,8	28,8	28,5	27,3	26,3	24,6	26,8
Отклонения средней температур на Кубе	+1,1	+2,3	+0,1	+0,4	+0,8	+0,8	+0,5	+0,4	+0,8	+2,0	+1,3	+0,7	+0,8
Район холодного климата	-0,4	+0,2	-1,5	-0,8	-0,4	-0,1	+0,3	-0,3	+0,5	+0,2	-0,5	-1,3	-0,5
Район умеренного теплого	+0,4	+1,6	+0,2	+0,1	+0,3	+0,2	0	0	+0,2	+1,2	+0,3	-0,4	+0,3
Район теплого	+1,8	+2,6	+0,3	+0,6	+1,0	+1,2	+1,3	+1,3	+1,4	+2,5	+1,8	+1,3	+1,4
Район жаркого	+2,3	+4,1	+1,4	+1,2	+2,0	+1,8	+1,7	+1,4	+1,9	+2,7	+2,6	+1,8	+2,1

только что полученные приборы и их запасные части, особенно при хранении в войсках или в центральных складах.

Солнечная радиация. Куба расположена вблизи экватора, поэтому в течение всего года солнце находится близко к зениту. В отличие от районов умеренного климата солнечные лучи проходят по наиболее короткому пути. Но нельзя учитывать действие солнечной радиации не имея в виду облачность, т.к. она именно уменьшает действие прямого солнечного излучения. На Кубе наименьшая облачность имеет место с февраля до мая, когда облаками закрыто 40% купола неба, в остальные месяцы года закрыто 60% кроме сентября, когда небо закрыто на 70%.

Имея в виду, что в году бывает относительно большая облачность можно прийти к выводу, что солнечная радиация не играет существенную роль. Однако металлические корпуса приборов, находящихся в открытой атмосфере, нагреваются лучами солнца. Нагреваются до температуры значительно превышающей температуру окружающей среды.

Атмосферное давление. В таблице 5 [5] показан суточный ход среднего атмосферного давления. Как видно из таблицы и рис. 6 суточный ход среднего годового атмосферного давления составляет более 1,5 мм ртутного столба. Такой скачок не имеет существенного влияния и почти незаметен, однако в случае оптических приборов достаточна эта разница, чтобы ускорить проникновение влаги внутри прибора.

Анализ каждого фактора в отдельности не даёт полного представления об агрессивности среды. Для того, чтобы судить о последней нужно рассматривать совместное воздействие всех факторов на приборы при эксплуатации.

1.5. Влияние факторов окружающей среды на работоспособность артиллерийских оптических приборов.

При рассмотрении совместного воздействия влажности температуры и микрофлоры на артиллерийские приборы, особо важное значение приобретают вопросы связанные с образованием росы. Дело в том, что многие виды налётов в том числе, гигроскопические, биологические, налёт в виде пятен или просто влажность конденцированная внутри оптической системы, имеют место только за счёт появ-

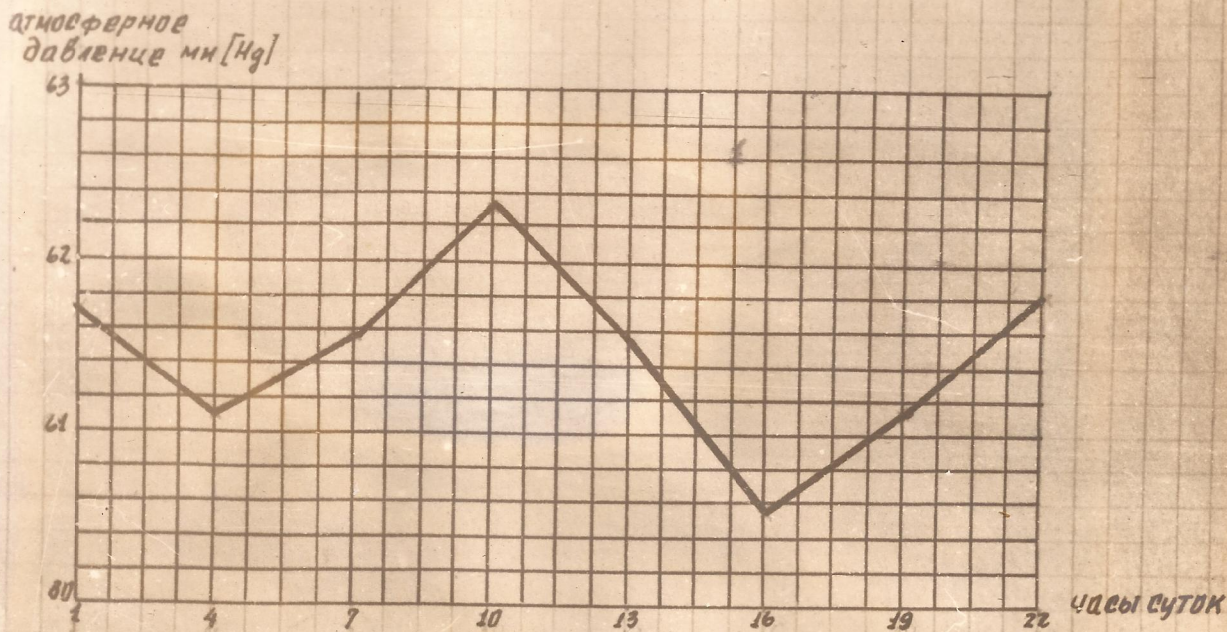


Рис. 6 суточный ход среднегодового атмосферного давления

ления воды (росы) на поверхности оптических деталей прибора. Роса может выпадать на оптические детали по двум причинам: 1) вследствие понижения температуры воздуха, относительная влажность воздуха достигает 100% и избыток влаги выпадает в виде росы;

2) при понижении температуры поверхности деталей ниже температуры воздуха (влаги выпадает вследствие достижения точки росы).

Наряду с указанными причинами, для того, чтобы влага выпадала в виде капель воды, необходимо выполнение другого условия: присутствие внутри прибора влажного воздуха. Пока внутри прибора сухой воздух выпадение влаги в виде капельки воды практически невозможно, однако в виду того, что приборы не полностью герметичны постоянно происходит обмен воздуха между внутренней полостью прибора и окружающей средой. Это явление так называемое "дыхание" прибора зависит от перепадов температуры и атмосферного давления в течение суток.

Процесс проникновения воздуха из окружающей среды можно рассматривать как течение воздуха через капилляр. Это процесс подчиняется закону Пуазеля:

$$\omega = \frac{1}{\eta} \frac{\pi}{8} \frac{R^4}{L} \cdot \Delta P = a \cdot \Delta P \quad (I.6)$$

- где ω - скорость течения воздуха через капилляр;
 η - коэффициент внутреннего трения;
 R - радиус капилляра;
 L - длина капилляра;
 ΔP - перепад давления по обоим концам капилляра.

Воздух с влагой попадают во внутреннюю полость прибора, когда давление внутри его ниже окружающего давления. Влага тоже проникает во внутреннюю полость прибора и вследствие диффузии. К этому надо добавить, что в процессе эксплуатации оптических приборов при установке диоптрии окуляра действует как поршень. При перемещении обоймы вперед, давление в приборе повышается и часть воздуха покидает его через имеющиеся неплотности. При движении обоймы назад происходит подсасывание наружного воздуха в прибор и внутрь прибора может попасть влага и споры микроорганизмов.

На рис.7 показана зависимость температуры точки росы от относительной влажности и температуры воздуха. Как видно из графика выпадание воды за счёт первой причины (понижение температуры) хотя и может иметь место в наших условиях. Особенно зимой, не является характерной причиной выпадания влаги. С другой стороны температура точки росы всегда лежит в непосредственной близости к дневным температурам рис.7 и если в течение дня влажность составляет 80%, то температура точки росы на $3 \pm 5^\circ\text{C}$ ниже соответствующих им температур [6]. Температурные перепады на Кубе в течение суток показаны в рис.7, они составляют ($5,5 \pm 6^\circ\text{C}$), между 6-ю часами утра и 12 часами дня.

При таком перепаде температуры (при средней температуре воздуха 27°C и относительной влажности 80%) поверхность оптических деталей может оказаться холоднее температуры воздуха и достигать температуры точки росы, т.е. влага выпадает на поверхность деталей прибора в виде капельки воды. При применении конденционированного воздуха следует следить за влажностью в поме-

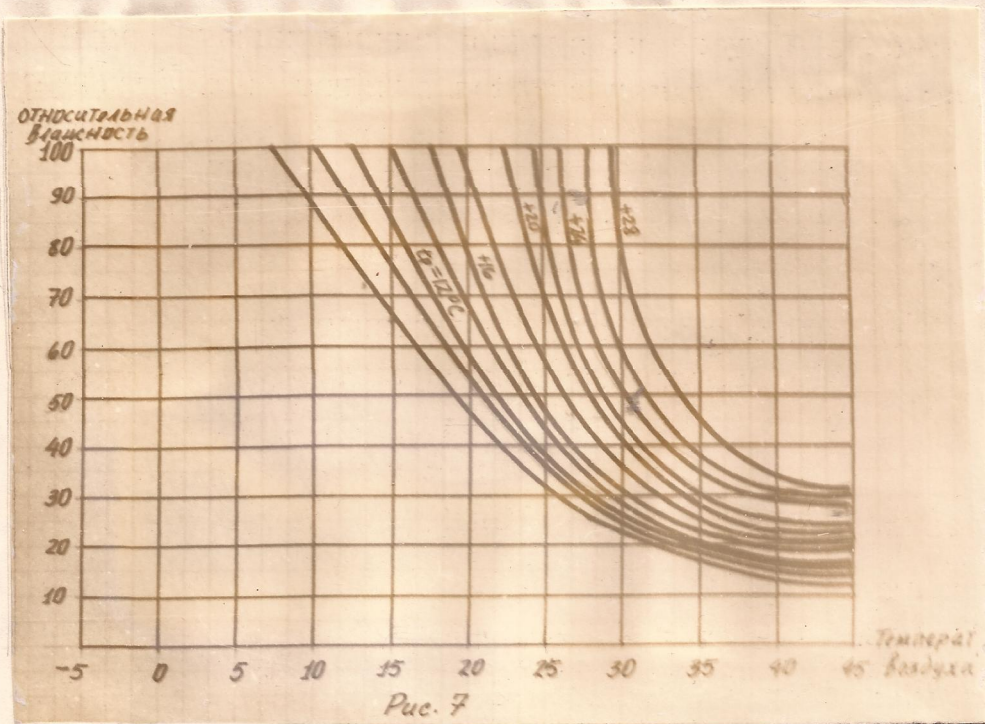


Рис. 7. Зависимость температуры точки росы от относительной влажности и температуры воздуха.

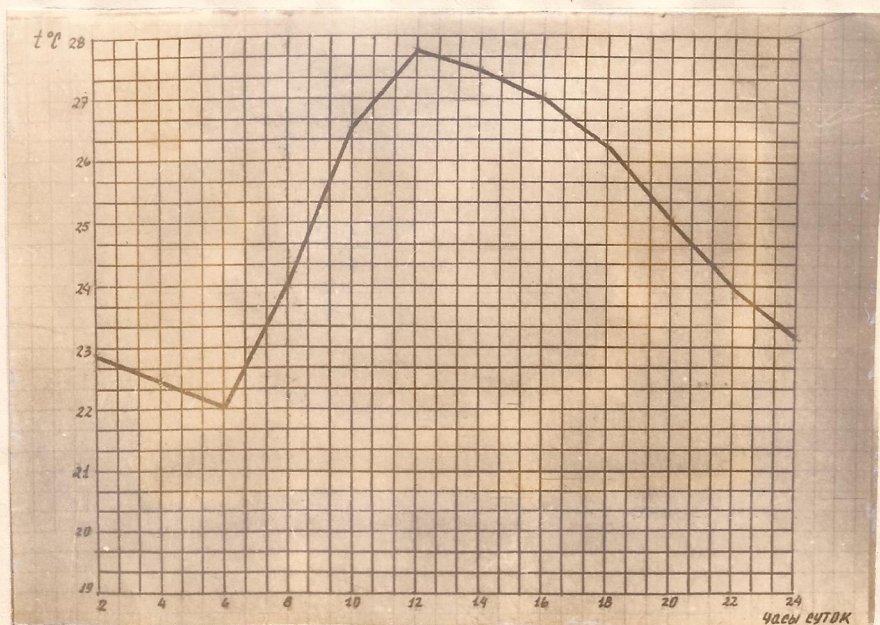


Рис. 8. Суточный ход среднегодовой температуры по данным национальной обсерватории за 39 лет наблюдений.

700

чении т.к. видно из рис.7 при уменьшении температуры воздуха влажность повышается и может достигать до 100% относительной влажности. Достижение температуры точки росы зависит от большого числа факторов, например: изотермических свойств помещения где лежат приборы, положение самого прибора внутри помещения и т.д., но в основном температура точки росы должна быть достигнута в интервале времени от 6 часов утра до 12 часов дня, т.к. в этом интервале температура воздуха повышается резко, а температура поверхности оптических деталей не успевает меняться с этой скоростью рис.8.

При высоко относительной влажности толщина слоя конденсированной влажности резко увеличивается. На рис.9 показано как изменяется толщина молекулярных слоев воды в зависимости от относительной влажности при температуре 20°C на стекле 7

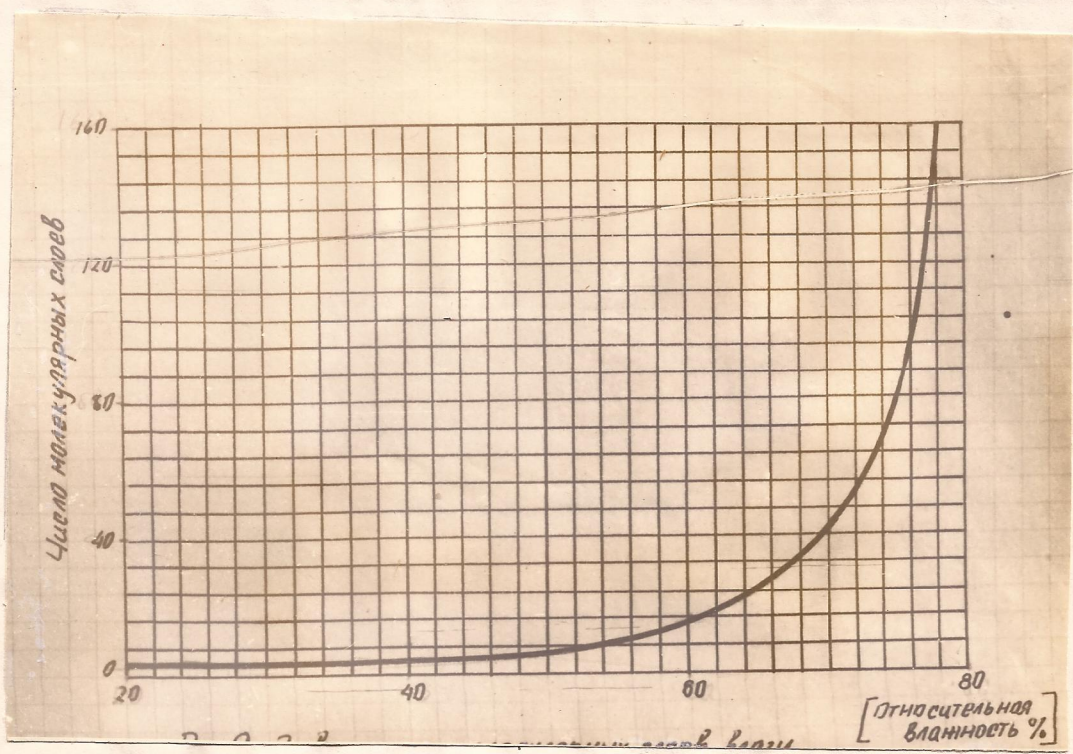


Рис.9. Зависимость молекулярных слоев влаги (воды) на поверхности стекла от относительной влажности при 20°C.

Как видно из рис. 9 при относительной влажности 80% и более образуются молекулярные слои воды толщиной 100-200 молекулярных слоев. В одной кубической микроне воды имеется 10^{16} молекул, следовательно достаточно 100-300 таких циклов для того, чтобы на поверхности деталей появились капли воды 1-3 мк.

Образование капель воды на поверхности окуляра, объектива призм, линз **оборачивающих** системы влияет на коэффициент светопропускания прибора. Образование таких капель на сетке может привести к снижению работоспособности прибора. В этом можно убедиться на следующем примере. В районе обороны роты, морской пехоты США имеются следующие объекты, которые должны будут обнаруживаться оптическими наблюдательными приборами: пулемётов - 6; 88,9 мм реактивных противотанковых ружей - 6; 40 мм гранатомётов - 6 до 4-х командно-наблюдательных пунктов, до 8-8I мм миномётов до 8 безотказных орудий, 2-3 радиолокационных поста и до 6 танков [9]

Линейные размеры перечисленных объектов составляют 1-2 м, а их удаление от наших наблюдательных пунктов будет составлять примерно 1,5-3 км. Тогда наиболее мелким из типичных целей (пулемёт) будет изображён на сетке линейным размером порядка 0,03-0,06 мм. Линейные размеры целей на сетке мы рассчитывали по формуле (I.7), предполагая, что на кнпб и кнпр применяются для наблюдения АСТ, ПАБ-2 и В8х30 и принимая $f'_{0\sigma}$ в среднем равен 100 мм.

$$a_{\max} = f'_{0\sigma} \operatorname{tg} \omega = f'_{0\sigma} \frac{\ell}{L} \quad (I.7)$$

где a_{\max} - линейные размеры изображения на сетке;

ℓ - линейные размеры объекта;

L - расстояние из точки наблюдения до объекта.

Следовательно наряду с понижением контраста изображения, повышением рассеяния света, уменьшением светопропускаемости прибора при появлении таких 10 капель близко расположенных мы можем не обнаружить цели противника и резко увеличиваются трудности его распознавания.

С другой стороны конденционированная на поверхности оптических деталей влага является необходимым условием для развития плесневых грибов [7]. Оптимальная температура для развития плесени лежит в интервале 24-30°C.

Среднегодовая температура Кубы лежит в пределах этого интервала. Следовательно, температурный режим вместе с высокой относительной влажностью способствуют быстрому развитию плесневелых грибов.

Плесневые грибки вызывают сильное рассеивание света и уменьшение светопропускания. На рис. IО и II показано, как меняется светорассеивание и светопропускание в зависимости от развития плесени в условиях имитирующих влажно-тропический климат [IО].

Из графика видно, что на 21-е сутки испытания ещё при сравнительно слабом развитии плесневых грибов (коэффициент светопропускания).

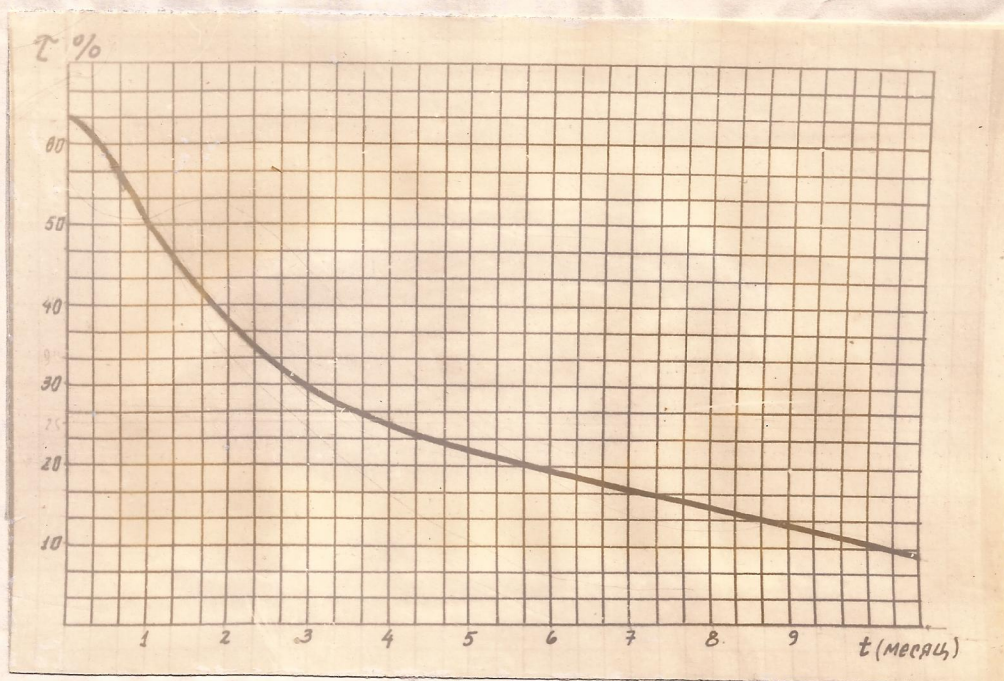


Рис. IО. Изменение коэффициента светопропускания в зависимости от развития плесени.

уменьшился с 69% до 36-40% или в среднем на 28%, а коэффициент светорассеивания за этот же период значительно увеличился с 6-9% до 30-42%. По окончании 100 суточного испытания на оптических деталях наблюдался умеренный рост грибов, в результате чего коэффициент светопропускания уменьшился с 69% до 20-40% и коэффициент светорассеивания (5) увеличился с 6-9% до 45-48%. Кроме того при развитии плесневых грибов мицелии могут достигать более 30 мк длины [I] и в случае развития на сетке, кроме названных воздействий следует добавить закрывание целей в поле

зрения прибора. На все виды оптического стекла по скольку их шлифованная поверхность может служить питательной средой, за-растают в благоприятных условиях плесневелыми грибами II .

Плесневые грибы типичные возбудители окислительного бро-жения. При обмене веществ плесневых грибов в присутствии кис-лорода воздуха образуются органические кислоты (глюконовая, фу-маровая, щавелевая, янтарная и лимонная) [II] . Эти кислоты вызывают разъедание стекла. Опыт показывает, что вдоль мице-лей плесневых грибов при определенном времени, получается глу-бокое разъедание поверхности стекла, которое остаётся и после устранения плесневых грибов в виде рельефного отпечатка, кото-рый требует полирования и шлифовки для восстановления деталей или вообще приводит к негодности детали.

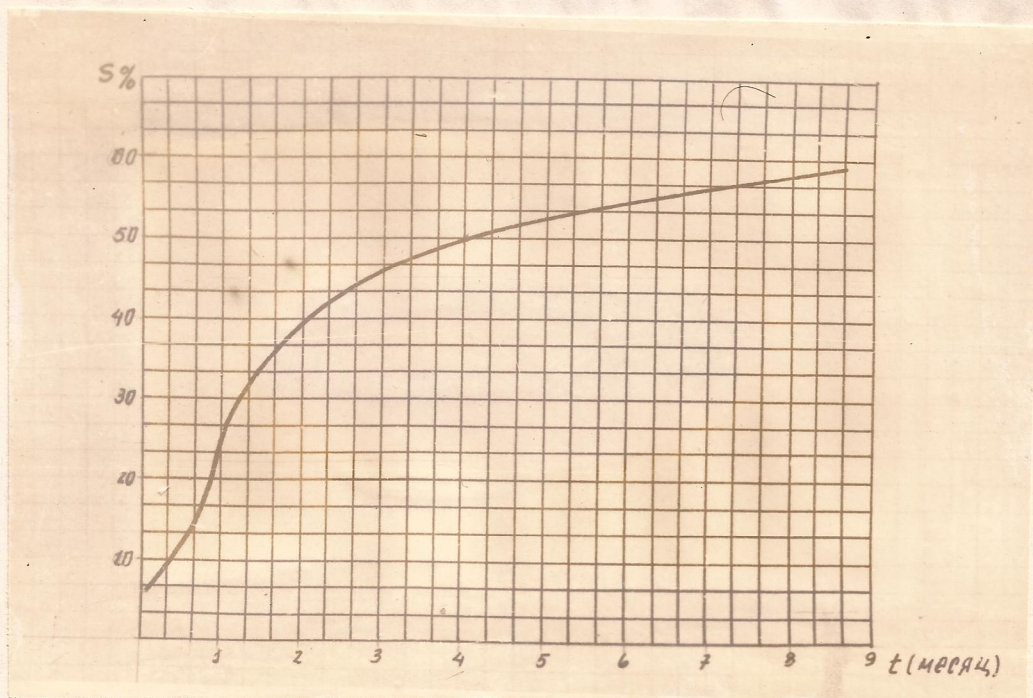


Рис. II. Изменение коэффициента светорассивания в зависимости от развития плесени.

Наряду с указанными воздействиями относительной влажности, температуры воздуха и микрофлоры, плесневые грибы атакуют кау-чук из которого сделаны наглазники и другие части оптических при-боров, плесневеют также смазки и лаки и бумажные прокладки, кожа и даже некоторые виды пластмассы. Хотя действие плесневелых гри-бов на перечисленные материалы не оказывает прямого воздействия при определённом времени на работоспособность прибора, они могут

являться источниками заряжения внутренней полости прибора.

Кроме того, органические кислоты выделяются грибами в результате их обмена веществ, вызывают коррозию металлических частей приборов, особенно штепсельных и других разъёмов. В условиях повышенной влажности и высокой температуры хуже работают высоковольтные блоки питания инфракрасных приборов, т.к. влага поглощает часть магнитной энергии и понижает изоляционные свойства материалов. Длительное воздействие влажности и температуры связано со старением пластмассовых деталей оптических приборов и с разрушением каучуковых изделий. Старение пластмассовых деталей связано с изменением их объема, в результате чего появляются трещины в материале. Каучуковые изделия в свою очередь становятся хрупкими и теряют пластичность.

ВЫВОДЫ

1. За основные показатели работоспособности артиллерийских оптических приборов можно принять дальность видимости, время обнаружения и распознавания объектов и точность определения их угловых и линейных координат, эти показатели зависят от визуальных и измерительных свойств прибора.

2. Измерительные свойства приборов во многом зависят от его визуальных свойств, которые характеризуются такими параметрами оптических систем, как увеличение, поле зрения, диаметр и удаление выходного зрачка, коэффициент светопропускания и разрешающая способность.

Из параметров, определяющих визуальные свойства приборов, наиболее чувствительными к действию окружающей среды, являются коэффициент светопропускания и разрешающая способность.

3. Коэффициент светопропускания и разрешающая способность зависят главным образом от технического состояния поверхностей оптических деталей, особенно тех, которые находятся в фокальной плоскости объектива или вблизи неё.

4. Анализ факторов окружающей среды показывает, что наиболее вредное влияние на разрешающую способность и коэффициент светопропускания оказывают следующие факторы: относительная влажность, температура воздуха, атмосферное давление и микробиологическая среда. Определяющим является их совместное воздействие.

Влияние названных факторов на работоспособность прибора выражается в первую очередь в ухудшении видимости через прибор при появлении капель воды и микробиологической коррозии на поверхности оптических деталей.

5. Уменьшение коэффициента светопропускания вследствие появления налётов на оптических деталях до 30% и менее, приводит практически к потере работоспособности прибора.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЁЖНОСТИ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ПО ОПЫТУ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ В РВС РЕСПУБЛИКИ КУБЫ

2.1. Выбор и обоснование методов оценки надёжности

На Кубе долгое время не была окончательно установлена модель технического формуляра оптических приборов. Технические формуляры в большинстве своём были оформлены и велись начальниками артвооружения на основе общих инструкций по выведению эксплуатационной документации. Часто на них фиксировались ненужные данные и не регистрировались те, которые были нужны для качественного и количественного анализа надёжности приборов при эксплуатации в наших условиях. К сказанному ещё надо добавить, что с первых дней победы революции на Кубе, наши РВС были вынуждены отстаивать социалистическое завоевание народа. Это сопровождалось всегда большой динамической работой с вооружением в условиях нехватки подготовленных технических кадров.

Перечисленными причинами частично объясняется недостаточное количество и полнота информации об эксплуатации оптических приборов, хотя они эксплуатируются в наших РВС больше 16 лет.

Такая ситуация создаёт определённые трудности для оценки качественной и количественной стороны надёжности и налагает на решение этих задач определённые трудности.

Всвязи с тем, что для анализа надёжности оптических приборов мы располагаем небольшой и достаточно полной информацией об основных видах дефектов, возникающих в процессе эксплуатации, были использованы два источника:

- а) экспертный опрос среды инженеров и техников, непосредственно занимающихся эксплуатацией приборов в войсках;
- б) статистические данные на основе дефектационных ведомостей войсковых ремонтных органов.

Достоинством первоисточника является то, что он позволяет оценить на основании опыта экспертов качественную сторону надёжности приборов, наиболее часто встречаемые дефекты и их причины, за сравнительно длительный период времени эксплуатации. Недостатком является то, что на оценку экспертов влияет их субъективное суждение, которое зависит от многих факторов (уровень информации эксперта, эмоциональное состояние, знание данной

проблемы, заинтересованность в решении вопроса и другие.

Второй источник является главным, он свободен от недостатков первого ибо, статистические данные независимые от субъективной оценки человека. Однако в условиях республики Кубы не представляется возможным собрать достаточно полную статистическую информацию по исследованному вопросу.

Как видно, оба источника дополняют друг друга и при их совместном анализе можно судить о характере и причинах наиболее часто встречающихся дефектов.

2.2. Оценка видов и причин неисправностей по результатам экспертного опроса

Опрос проводился среди 14 специалистов - выпускников советских военных училищ и военно-технического института республики Кубы. В таблице 6 показаны должность, образование и стаж работы опрашиваемых по специальности.

Средний стаж опрашиваемых - 6 лет. Опрос был произведён путём анкетирования. Специалисты во время опроса не имели возможности обращаться друг с другом.

В каждой анкете содержалось пять вопросов:

1) Упорядочить 12 перечисленных видов приборов в зависимости от частоты встречи в их неисправности.

2) Какой из перечисленных видов неисправностей появляется чаще ^{при} эксплуатации оптических приборов?

3) Какой из перечисленных видов неисправностей механической части приборов (перечислялись 6 видов неисправностей) появляется наиболее часто?

4) Какой из перечисленных видов неисправностей части приборов (перечислялись 7 видов неисправностей) появляется наиболее часто?

5) Какая из перечисленных причин вызывающих неисправности является основной (перечислялись 5 разных причин) в условиях Кубы?

Для обработки данных экспертного вопроса и оценка их достоверности была использована теория ранговой корреляции [16]. Ранговая корреляция занимается анализом и изучением порядка последовательности рангов и их согласованности (конкорданция) по данному вопросу. Поэтому её применение в данном случае, когда

Таблица 6

№ опрашив.	Должность опрашиваемого	Техническое образование опрашиваемого	Стаж работы по специальн. (лет)
5 I	Офицер артиллерийск. приборов дивизии	Техник-электроме- ханик (приборист)	5
7 2	Офицер приборист артиллерийск. полка	Техник-электроме- ханик (приборист)	2
1 3	Офицер артиллерийск. приборов армии	Инженер-электроме- ханик (приборист)	13
9 4	Техник артиллерийс- кой мастерской	Техник-электроме- ханик (приборист)	8
4 5	Офицер артиллерийск. приборов дивизии	Техник-электроме- ханик (приборист)	7
10 6	Техник-артиллерийск. мастерской	Техник-электроме- ханик (приборист)	1,5
12 7	Командир армейской ремонтной роты (по оптике)	Техник-электроме- ханик (приборист)	6
6 8	Офицер артиллерийск. приборов бригады	Техник-электроме- ханик (приборист)	3
8 9	Офицер артиллерийск. приборов полка	Техник-электромеха- ник (приборист)	6
3 10	Офицер артиллерийск. приборов дивизии	Техник-электромеха- ник (приборист)	8
13 II	Командир взвода ремонта дивизии	Техник-электроме- ханик (приборист)	7
12 I2	Командир взвода ре- монта дивизии	Техник-электроме- ханик (приборист)	2
2 I3	Офицер артиллерийск. приборов дивизии	Техник-электроме- ханик (приборист)	13
14 I4	Офицер артиллерийск. приборов УСВ РВС	Техник-электроме- ханик (приборист)	6

мнение экспертов выражено последовательностью рангов вполне оправдывается.

Результаты ответов по тому вопросу сведены в таблице 7. На основе этой таблицы была составлена таблица рангов 7а.

Согласованность экспертов оценивалась коэффициентов конкорданции W , который определяется по следующей зависимости:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12} m^2 (n^3 - n) - m \sum_r T'_r} \quad (2.1)$$

где S - сумма квадратов отклонений рангов от среднего значения;

n - количество факторов;

m - количество экспертов;

$$T'_r = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^j (t_i^3 - t_i)$$

t_i - количество связанных рангов.

Существенность полученного значения коэффициента конкорданции проверялась по формуле:

$$\chi_r^2 > \chi^2 \quad (2.2)$$

где $\chi_r^2 = \frac{S}{\frac{1}{12} mn(n+1) - \frac{1}{n-1} \sum T'_r} \quad (2.3)$

χ_r^2 - значение распределения Пирсона при определенном уровне значимости и определенной степени свободы. $\nu = n-1$

Если условие (2.2) выполняется, то можно считать, что с выбранным уровнем доверительной вероятности (значимости) конкорданция между оценками экспертов не случайна.

На основе таблицы 6а и по формулам (2.1), (2.2) и (2.3) для данных первого вопроса имеем:

$$S = 5470,25 ; W = 0,388 ; \chi_r^2 = 42,73.$$

$$\nu = n-1 = 11 ; T'_r = 22$$

При проверке условие (2.2) при доверительной вероятности $\beta = 0,01$ имеем:

$$\chi_r^2 = 42,73 > \chi_{0,01(11)}^2 = 24,725$$

Аналогичный путь решения и проверки был пройден со всеми остальными вопросами опроса.

Результаты опроса и таблицы рангов показаны в таблице 8,8а; 9,9а; 10,10а; и 11, 11а.

В таблице 12 указываются результаты расчётов всех вопросов

по формулам (2.1), (2.2) и (2.3).

На основе обработки результатов экспертного опроса можно сделать следующие выводы.

I. По распределению приборов в порядке частоты появления неисправностей:

эксперты в целом не замечают разницу в надёжности приборов разных по своей конструкции и назначению, коэффициент корреляции при этом получался малым $W = 0,38 < 0,5$.

F16.7

Результаты опроса экспертов.

Таблица I2

опроса №	S	W	$\Sigma T'$	ν	χ^2_r	$\chi^2_{0,01}$
I	5470,25	0,388	22	II	42,73	24,725
2	222	0,59	15	2	13,25	9,2
3	1715,5	0,52	6	5	36,64	15,086
4	992	0,68	6	6	57,22	16,18
5	872,5	0,449	1,5	4	25,20	13,27

2. По распределению видов неисправностей в порядке частоты их появления:

- неисправности оптической системы;
- неисправности механической части;
- неисправности принадлежностей и других систем прибора.

У экспертов имеется достаточно большая согласованность ($W = 0,59$)

3. По определению наиболее часто встречающихся видов неисправностей механической части прибора:

- неплавный, слабый ход,
- повреждения лакокрасочного покрытия и гальванических покрытий,
- тугий ход механизмов,
- повреждение шкал,
- трещины, поломки, изгибы и забоины корпуса и механизмов,
- коррозия механической части.

4. По определению наиболее часто встречающихся видов неисправности оптической части приборов:

- биологический налёт;
- конденционированная влажность внутри системы;
- царапины и выколы на оптических деталях;
- жировой налёт и осыпка;
- разюстировка оптической системы;
- поломка, расколы линз, призм и других оптических деталей;
- расклейка линз.

5. По определению причин, вызывающих неисправность приборов:

- влияние климатических условий;
- условия хранения на складах;
- неправильная и небрежная эксплуатация со стороны личного состава;
- невыполнение Т.О. в установленные сроки;
- несоответствие периодичности ТО с нуждами техники.

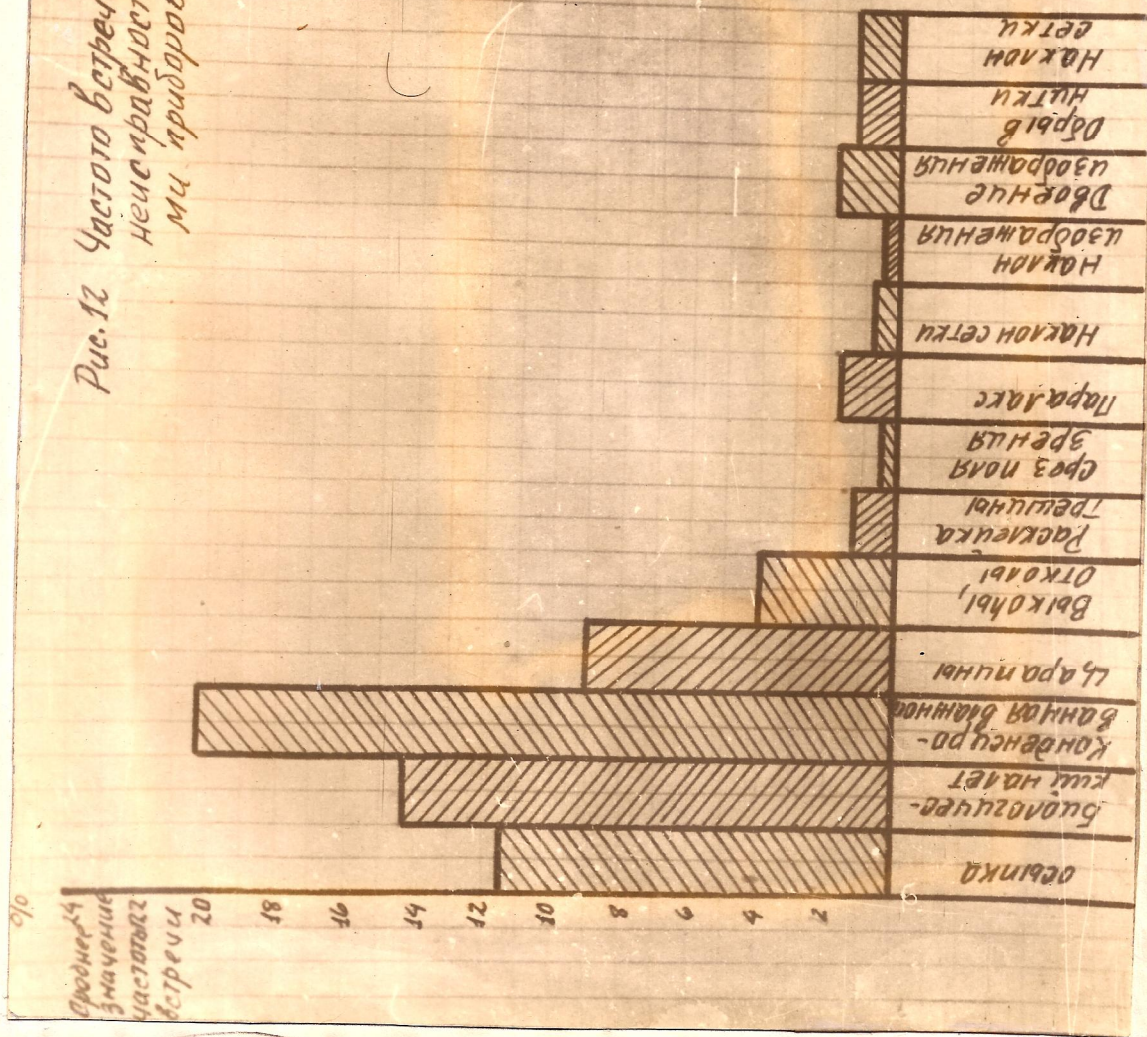
Как видно из таблицы I2 все полученные значения коэффициентов конкорданции существенны. Вероятность получения случайных значений коэффициентов равных или больше рассчитанных, не превышает 1%.

2.3. Сравнительная оценка результатов экспертного опроса с объективными данными ремонтных органов

Оценка производилась по основе дефектационных ведомостей 3-х дивизионных ремонтных мастерских за 1975. Несмотря на то, что было собрано большое количество дефектационных ведомостей, для анализа наиболее встречающихся видов неисправностей оказались годными только ведомости на I2 видов приборов.

На основе дефектационной ведомости было подсчитано общее количество неисправностей для каждого вида прибора и взяв как основу это общее количество неисправностей мы рассчитали частоту встречи каждого вида неисправности. При чём делили все неисправности на оптические и механические. Результаты расчёта частоты встречи различных неисправностей показаны в таблице I2 и на рис. I2 и I3.

Рис. 12 Частота встреча различных видов несправностей оптической системы приборов на Кубе.



F16 8

Рис. 12

Рис. 13. Частота встречи различных видов неисправностей механической части оптических приборов на Кубе.

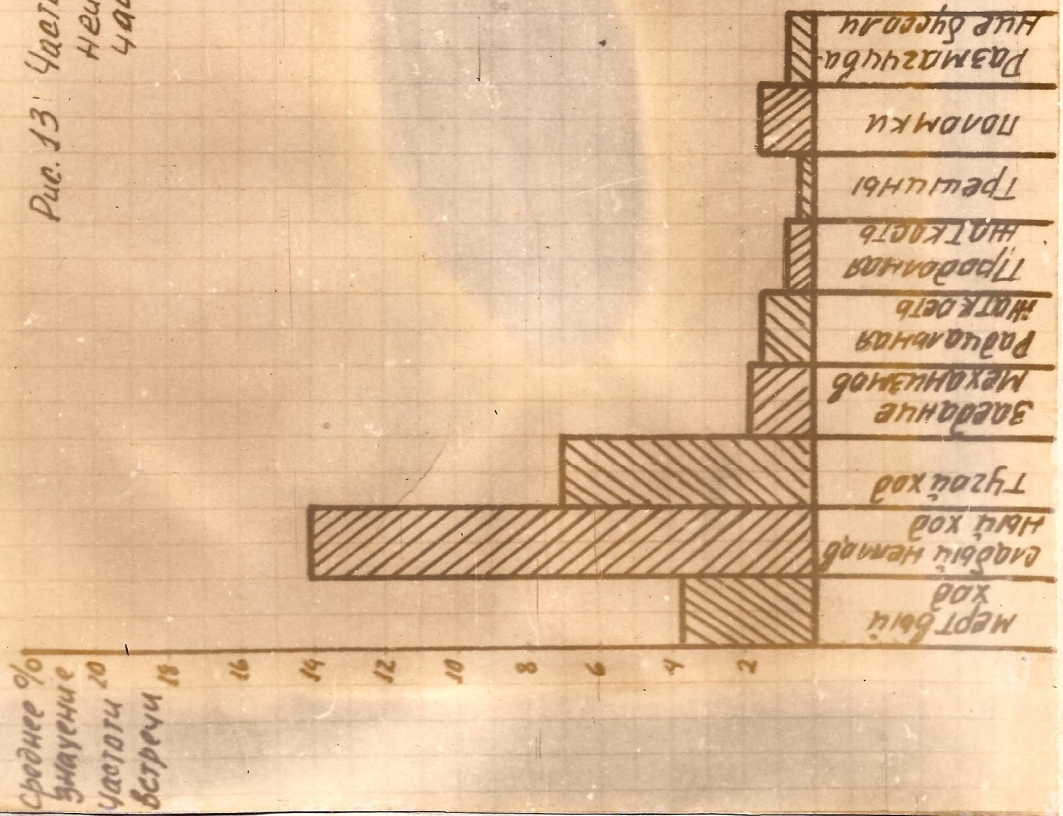


Fig 9

Рис. 13

Как видно из рис. I2 самые часто встречающиеся виды неисправностей оптической системы являются:

- конденсированная влажность;
- биологический налёт;
- осыпка.

Остальные виды неисправностей встречаются в среднем меньше 10% от общего количества случаев.

Анализируя полученные результаты и сравнивая их с результатами экспертного опроса мы имеем:

1) В общем случае оценка экспертов совпадает со статистикой неисправностей войсковых ремонтных органов в том, что более часто встречаются неисправности в оптической части, чем в механической. Причём, как видно из рис. I2 и I3, в механической части имеем только одну неисправность превышающую 10% в то время как в оптической части мы имеем 3 вида неисправностей, превышающие данные значения.

2) По отношению к неисправностям оптической части приборов имеем, что мнение экспертов не совпадает полностью со статистическими результатами, но в общем приближение для практики вполне удовлетворительное. Для сравнения результаты экспертного опроса с фактическими данными составим таблицу I4.

Таблица I4

Порядок предпочтений указанный экспертами	Порядок согласно статистическим данным
1. Биологический налёт	1. Конденсированная влажность
2. Конденсированная влажность	2. Биологический налёт
3. Царапины, выколы деталей	3. Осыпка
4. Осыпка	4. Царапины
5. Разюстировка от системы	5. Выколы, отколы
6. Поломка, расколы линз	6. Поломка, расколы линз
7. Расклейка линз	7. Параллакс
8.	8. Наклон сетки

F16-11

Разница в оценках для практики пренебрежима. Тот факт, что мы получили примерно одинаковы результаты при оценке частоты встречи неисправностей оптической системы различными путями указывает ещё раз, на объективность оценки экспертов по данному вопросу.

По отношению к неисправностям механической части приборов также имеем полное совпадение результатов обработки статистических данных и оценки экспертов. В обоих случаях неплавный и слабый ход оказались наиболее часто встречающимися видами неисправностей ей.

3. Как заключение настоящего анализа имеем, что из дефектов оптической системы главными являются:

- конденционированная влажность на поверхности оптических деталей;
- биологический налёт;
- осыпка на оптических деталях.

Из дефектов механической части главным:

- неплавный ход.

Первые дефекты связаны с влиянием окружающей среды на приборы, поэтому очень важно, как влияет климат и условия хранения на появление названных дефектов.

Не менее важная сторона вопроса является оценкой влияния этих дефектов на боевую готовность, то есть на общее количество приборов работоспособных в момент времени. Очевидно, для того, чтобы ответить на данный вопрос, нужно оценить количественную надёжность оптических приборов при эксплуатации в наших условиях.

2.4. Выбор и обоснование показателей надёжности оптических приборов применительно к условиям эксплуатации в РВС республики Кубы

Для выбора показателей надёжности в настоящее время существуют определённые рекомендации [I7] и [I8] и нормы [I9 , 20 и 2I].

Показатели надёжности выбираются на основе оценки следующих групп факторов:

- 1) Факторы характеризующих конструктивное решение;
- 2) Факторы характеризующих ограничение продолжительности эксплуатации;

3) Факторов временного режима использования изделия по назначению;

4) Факторов доминирующих при определении последствий отказов.

Каждому фактору присваивается одна цифра. Таким образом оптические приборы можно охарактеризовать числом из четырёх цифр. В этом числе содержится информация о конструкции, назначении, характере выполняемых функций, режиме эксплуатации.

В таблице 15 показана классификация факторов при выборе показателей надёжности изделий [18]. В данной классификации оптическим приборам соответствует число 2535, к данному числу согласно таблицы 15 [18] соответствуют следующие нормируемые показатели надёжности:

Временные показатели:

T_p или $T_{сл}$ (средний ресурс или срок службы)

Комплексные показатели

K_r - коэффициент готовности.

Прежде, чем окончательно принять решение о назначении показателей надёжности оптических приборов, надо проанализировать и взвесить условия и особенности их эксплуатации в наших условиях.

В условиях РВС республики Кубы особый интерес представляет режим ожидания работы (хранение в подразделении, части). Все кадровые военные части, а также другие действующие военные части и соединения имеют большое количество приборов на хранение. В общем можно сказать, что не менее 90% от всех приборов находится на хранении в режиме ожидания.

С другой стороны особенностью оптических приборов является то, что для них не определяется ресурс работы или хранения обусловленных естественным изменением того или иного параметра прибора

Следовательно, временной показатель должен характеризовать сохраняемость приборов.

Таблица 16

Выбор показателей надёжности изделий

№ № п/п	Изделия	Показатель надёжности			
		: Неремонтируем:	Ремонтируем:	Безотказность	Долговечность
I	2	3	4	5	6
1	IIII	2IIII			
	II2I	2I2I	Тер	-	-
	II3I	2I3I			
2		24I5	или	Тс	
		2425			
		2435	-	Ту	Кр
		25I5			
		2525			

*

Таблица 17

Вес среднего ремонта в восстановлении работоспособности оптических приборов

Вид опт. приб.	Общее к-во дефектов из-за которых теряется работоспособность	Количество дефектов требующих ср-ний (капитальный) ремонт	% от общего количества дефектов, который требует среднего ремонта
В8х30	I7	II	64
ТШ-2	20	I2	60
МП-46	I8	I2	66
ТШ	I6	9	56
ПУ	I0	7	70
ПГ	I9	I0	52
ТЭК	27	I5	55
ППИ-2	II	9	81
ЗД	25	I5	60
РТ	26	20	76

* Данные таблицы собраны на основе I2 I3 и I5

В качестве комплексного показателя следует принять коэффициент готовности:

$$K_r = \frac{T}{T + T_b} \quad (2.4)$$

где T - среднее время безотказной работы (наработки на отказ)

T_b - среднее время восстановления (ремонта)

Для оптических приборов среднее время безотказной работы (наработка на отказ) будет по сути дела средний срок сохранности, так как те приборы, которые постоянно используются, составляют 10% от общего их количества.

В большинстве своём основной вес в восстановлении работоспособности оптических приборов играет средний (капитальный) ремонт, таблица 17.

Данные таблицы 17 показывают; что основной вес в восстановлении работоспособности приборов играет средний ремонт, следовательно временный показатель ремонтпригодности следует выбрать из числа показателей характеризующих приспособленности оптических приборов к среднему (капитальному) ремонту.

В [21] указывается средняя оперативная продолжительность и среднее оперативное время среднего (капитального) ремонта. В том случае, когда ремонт осуществляется в основном одним исполнителем, то оба показателя совпадают и соответствуют среднему времени восстановления по [21] .

На основе изложенного для характеристики надёжности оптических приборов назначим следующие показатели:

$Q_{xp}(t)$ - вероятность отказа работы за время t ;

T_γ - гамма процентный срок безотказной работы ;

$T_{сов}$ - среднее оперативное время среднего (капитального) ремонта ;

K_r - коэффициент готовности.

Эти показатели достаточны для определения надёжности оптических приборов.

Однако применительно к нашим условиям и учитывая характер решаемой задачи, мы должны назначить дополнительно другие показатели не характеризующие надёжности, но играющие существенную

роль в поддержании постоянной работоспособности оптических приборов. Дело в том, что $T_{сов}$ - характеризует приспособленность оптических приборов к ремонту, исходя из сугубо технических соображений. Оно зависит только от технического состояния прибора при поступлении на ремонт и от сложности его конструкции (в него не включаются время ожидания и время восстановления деталей, рис. 14).

На Кубе нет достаточного опыта в организации ремонтных предприятий и поэтому чисто техническая сторона вопроса (ремонт(пригодности)) не является единственной критической, а вместо неё надо учитывать и другие причины обязанные с организацией самого процесса ремонта. С другой стороны на Кубе основной вес при ремонте оптических приборов носит метод восстановления деталей, а не метода замены, как это имеет место в СССР.

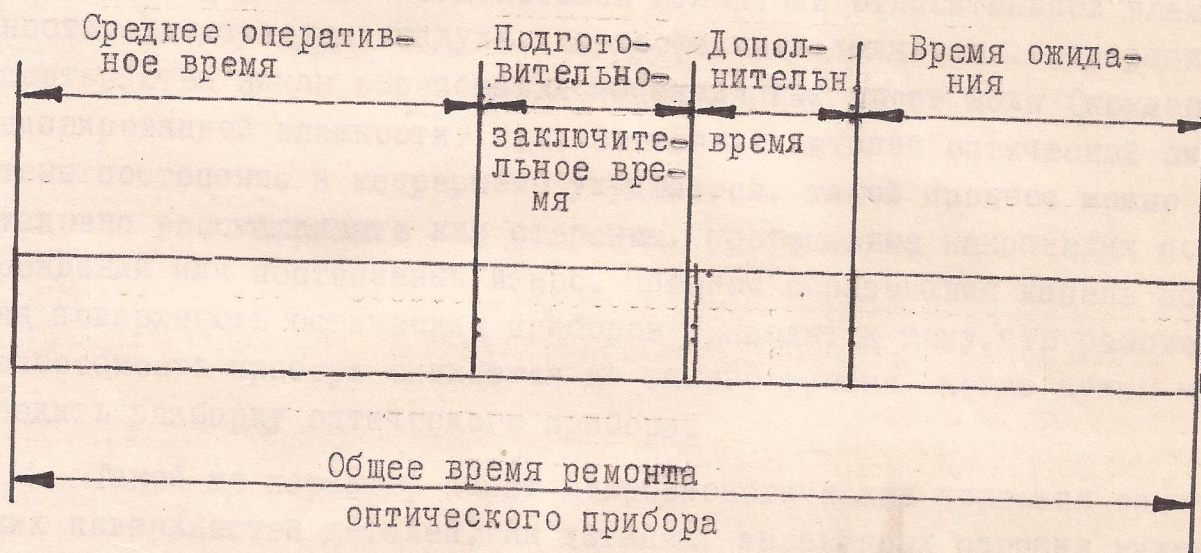


Рис. 14. Схема времени ремонта.

С точки зрения планирования боевых действий и постоянного поддержания боевой готовности артиллерийских, танковых частей и соединений представляет интерес общее время ремонта, т.е. время, которое учитывая все возможные факторы, охарактеризовало бы время пребывания прибора в ремонте до полного его восстановления.

Поэтому на основе анализа конкретных условий назначаем кроме вышеназванных показателей, характеризующих надежность, один показатель характеризующий эффективность ремонтного процесса с точки зрения боевой готовности - общее время ремонта $T_{\text{общ}}$.

2.5. Статистическая оценка надёжности артиллерийских оптических приборов

Независимо от того, какой показатель надёжности мы рассматриваем, наиболее полно и исчерпывающим образом этот показатель характеризуется соответствующими временными законами и конкретные его параметры можно предсказывать показатели надёжности в любом моменте времени.

Выше было отмечено, что при хранении приборов в условиях республики Кубы под воздействием изменений относительной влажности, температуры воздуха и атмосферного давления, непрерывно повторяются циклы образования молекулярных слоев воды (конденсированной влажности) т.е. состояние деталей оптической системы постепенно и непрерывно ухудшается, такой процесс можно условно рассматривать как старение, постепенные накопления повреждений или постепенный износ. Процесс образования капель воды на поверхность оптических приборов приводит к тому, что работоспособность прибора снижается до такого уровня, когда нужно проводить разборку оптического прибора.

Такой же характер имеет микробиологическая коррозия оптических поверхностей деталей. На деталях, заражённых спорами микроорганизмов, постепенно нарастают мицели грибов, которые вызывают снижение работоспособности прибора, снижение его визуального качества.

В обоих случаях наблюдается постепенное изменение светопропускания оптической системы приборов. При этом у различных приборов одной группы интенсивность изменения прозрачности оптических деталей различна и носит случайный характер.

В практике часто принимают, что износ любого вида (любое естественное старение) приводит к нормальному распределению времени отказов [22] .

Плотность распределения нормального закона имеет следующий вид:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.5)$$

где $f(t)$ - плотность распределения;
 σ - среднее квадратическое отклонение;
 m - математическое ожидание времени отказов.

При чём надо отметить, что для образования капель воды на оптическое стекло размером 1-3 мк. (такой размер мешает наблюдению, особенно, если капли образуются на сетке или на деталях расположенных вблизи её) нужны 100-300 цикло конденсаций. Считая, что эти циклы происходят раз в сутки, то это примерно 100-300 дней. С другой стороны для снижения коэффициента светопропускания до 30-40% оптического прибора будучи поражен спорами микроорганизмов нужны 200-300 дней (такой уровень коэффициента светопропускания сильно влияет на работоспособность прибора). Следовательно, допуская, что время до отказа при хранении (в режиме ожидания) и по первой и по второй причине распределено нормально, теоретическое математическое ожидание в обоих случаях должны находиться близко друг от друга и можно принять один центр для обоих. Из-за вышеуказанного двойственного характера причин отказов оптических приборов при хранении следует ожидать большую дисперсию данных об отказах.

Нам удалось собрать статистические данные о надёжности 16 разных видов приборов за два года (1975-1976) в трех дивизиях Западной армии РВС Кубы, по документам, формулярам и актам периодических технических осмотров оптических приборов, проводимых офицерами-прибористами.

Данные собраны о тех приборах, которые находились непосредственно на хранении в войсках (в режиме ожидания) без применения способа длительной консервации.

Все приборы во всех трёх дивизиях имеют минимальные необходимые условия для хранения предусмотренных приказом об эксплуатации и хранении приборов.

В таблице 18 показаны результаты сбора статистических данных об отказах приборов (приборы требующие ремонт).

Таблица 18

№ № п/п	Вид прибора	Общее кол-во приборов	Количество приборов требующ ремонта				
			через 3 месяц.	через 6 месяц.	через 12 месяц.	через 18 мес.	через 24 мес.
1.	В8х30	2064	0	34	47	71	165
2.	ПАБ-2 и 2А	183	6	12	20	25	44
3.	АСТ	45	0	3	4	5	7
4.	ПГ	225	0	2	7	12	20
5.	ПГО7-Б	723	0	1	5	12	36
6.	ПП1-2	168	2	4	12	15	20
7.	ОП1-7 ОП2-ОП4	30	0	0	3	3	7
8.	ДС-1	36	0	1	3	5	6
9.	ТШ-1	63	1	2	4	6	9
10.	ТШ-2	57	1	2	4	6	10
11.	ЗДН	36	0	0	3	6	10
12.	ТВН-2	57	0	2	3	5	8
13.	ТПК-1 ТПК, ТПК-У	114	3	3	12	13	24
14.	ТКН-1	57	0	2	3	5	8
15.	ТПН-1	57	0	2	3	5	7
16.	АПН-3	48	0	0	3	4	7

На основе таблицы 18 и по формуле (2.6) рассчитана таблица 19. Статистическая оценка вероятности отказа при хранении за время t на основе таблицы 19 был построен график рис. 15 зависимость вероятности отказов при хранении от времени.

$$Q_{xp}(t) = \frac{n(t)}{N_0}, \quad (2.6)$$

где $Q_{xp}(t)$ - статистическая вероятность отказа при хранении;
 $n(t)$ - количество приборов отказавшихся за время ;
 N_0 - общее количество приборов в начале наблюдения.

На основе данных таблицы 18 попытаемся определить закон распределения времени отказов при хранении в течение двух лет. Для этого в формуле (2.6) примем N_0 равен количеству приборов требующих ремонта за кратный срок 2 года (24 месяца) и $n(t)$ количество приборов выходящие из строя в данном интервале времени. Интервалы времени примем равные (6 месяцев).

В таблице 20 показано распределение частоты отказов в каждом интервале времени при хранении для каждого вида приборов. По методике определения законов распределения [18] с помощью вероятностной бумаги найдём какому закону можно подчинять данное распределение. В таблице 21 показаны результаты построения и проверки на вероятностной бумаге рис. 16 и 17. Проверка гипотезы о законе распределения производился по критерию Колмогорова [23]. Применение другого критерия согласия например, Пирсона не целесообразно в виду количества разрядов (всего 4) и мало количество отказов на каждом из них.

Для проверки по Пирсону нужно, что в каждом разряде попали 8-9 отказов, а число разрядов должно быть 8-10.

Согласно критерию Колмогорова для $N < 50$, если выполняется условие

$$D_{max} = |F_{n_{тео}}(t) - F(t)| \leq A(N, \epsilon), \quad (2.7)$$

где D_{max} - максимальная разница между теоретическим и экспериментальным законом;

N - количество наблюдений;

ϵ - уровень значимости;

№ № п/п	В и д прибора	Общее кол-во приборов	Статистическая вероятность отказа по срокам хранения				
			через 3 месяца	через 6 месяцев	через 12 месяцев	через 18 месяцев	через 24 мес.
1.	В8х30	2064	0	0,0164	0,0227	0,0343	0,0799
2.	ПАБ-2	183	0,0327	0,0655	0,109	0,136	0,24
3.	АСТ	45	0	0,0666	0,0888	0,111	0,155
4.	ПГ	225	0	0,008	0,0311	0,0533	0,088
5.	ПГОУБ	723	0	0,0013	0,0069	0,0165	0,0497
6.	П1-2	168	0,0119	0,0238	0,0714	0,0892	0,119
7.	ОП2, ОП4	30	0	0	0,10	0,10	0,233
8.	ДС-1	36	0	0,027	0,0833	0,1388	0,1666
9.	ТШ-1	63	0,0158	0,0317	0,0634	0,0952	0,1428
10.	ТШ-2	57	0,0175	0,035	0,0701	0,1052	0,1754
11.	ЗДН	36	0	0	0,0833	0,166	0,277
12.	ТВН-2	57	0	0,035	0,0526	0,0877	0,1403
13.	ТПК, ТПКУ	114	0,0263	0,0263	0,1052	0,1140	0,2105
14.	ТКН-1	57	0	0,035	0,0526	0,0877	0,1403
15.	ПН-1	57	0	0,035	0,0526	0,0877	0,122
16.	АПН-3	48	0	0	0,0625	0,0833	0,145

$A(N, \epsilon)$ – критическое значение для наибольшей (максимальной) разнице между эмпирическим и теоретическим распределением.

То гипотеза о распределении по предлагаемому закону не отвергается. Если $N > 50$, то условие принимает следующий вид:

$$D_{\max} \leq A_{\epsilon} / \sqrt{N} \quad (2.8)$$

Таблица 20

Частота отказов в интервале времени.

№ п/п	№ прибора	Средины интервалов времени				№
		3	9	15	21	
		интервалы времени				
		0-6	6-12	12-18	18-24	
1.	В8х30	0,206	0,078	0,145	0,569	165
2.	ПАБ-2	0,272	0,181	0,113	0,431	44
3.	АСТ	0,428	0,142	0,142	0,285	7
4.	ПГ	0,1	0,25	0,25	0,40	20
5.	ПГО7-Б	0,02	0,11	0,19	0,66	36
6.	ПП1-2	0,2	0,4	0,15	0,24	20
7.	ОП2-ОП4	0	0	0,128	0,571	7
8.	ДС-1	0,166	0,333	0,333	0,166	6
9.	ТШ-1	0,222	0,222	0,222	0,333	9
10.	ТШ-2	0,20	0,20	0,20	0,40	10
11.	ЗДН	0	0,30	0,3	0,4	10
12.	ТВН-2	0,25	0,125	0,25	0,375	8
13.	ТПК, ТПК-У	0,125	0,375	0,041	0,458	24
14.	ТКН-1	0,25	0,125	0,25	0,375	8
15.	ТПН-1	0,285	0,142	0,285	0,285	7
16.	АПН-3	0	0,42	0,142	0,42	7

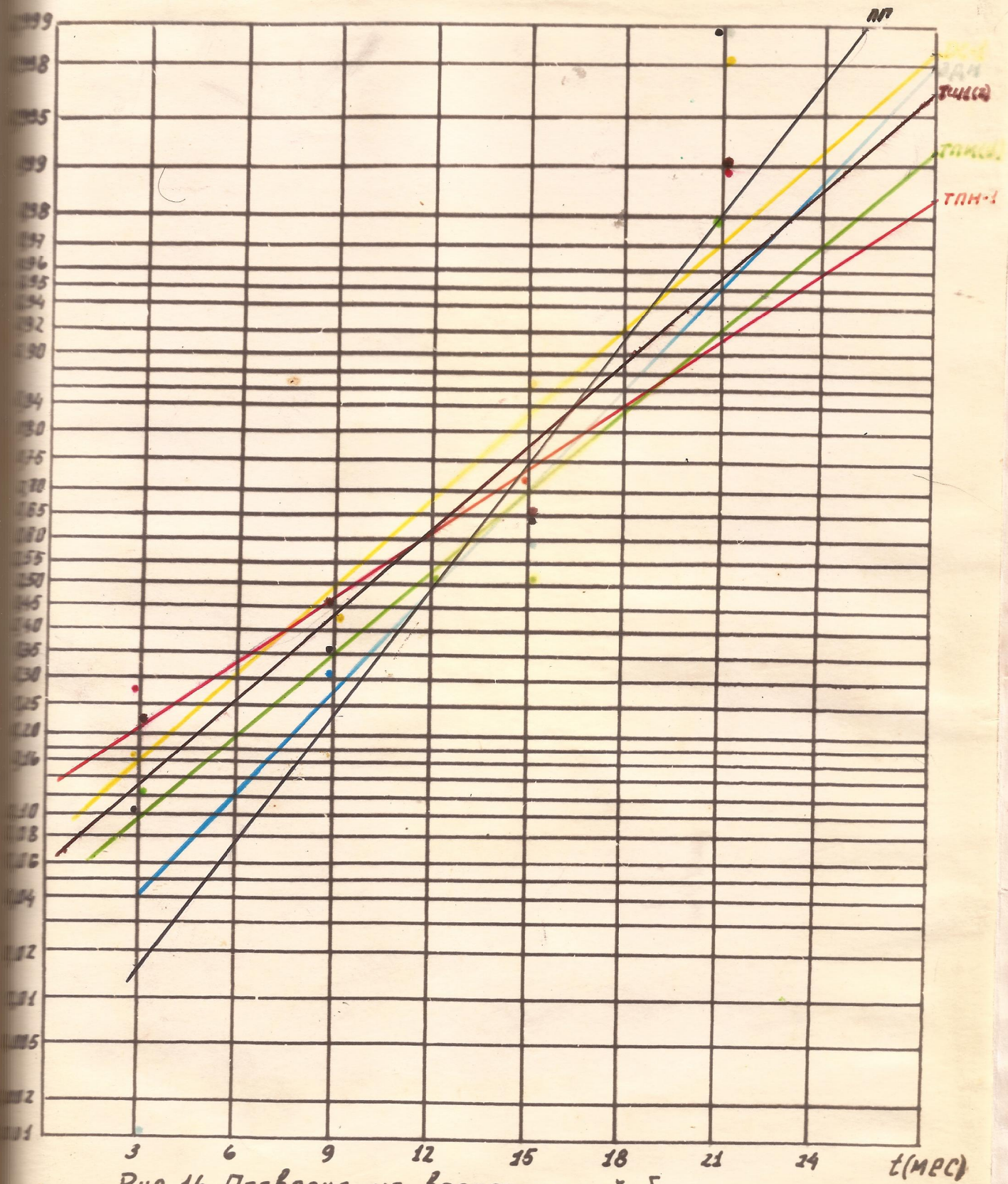


Рис. 16 Проверка на вероятностной бумаге нормального закона

Fig 2

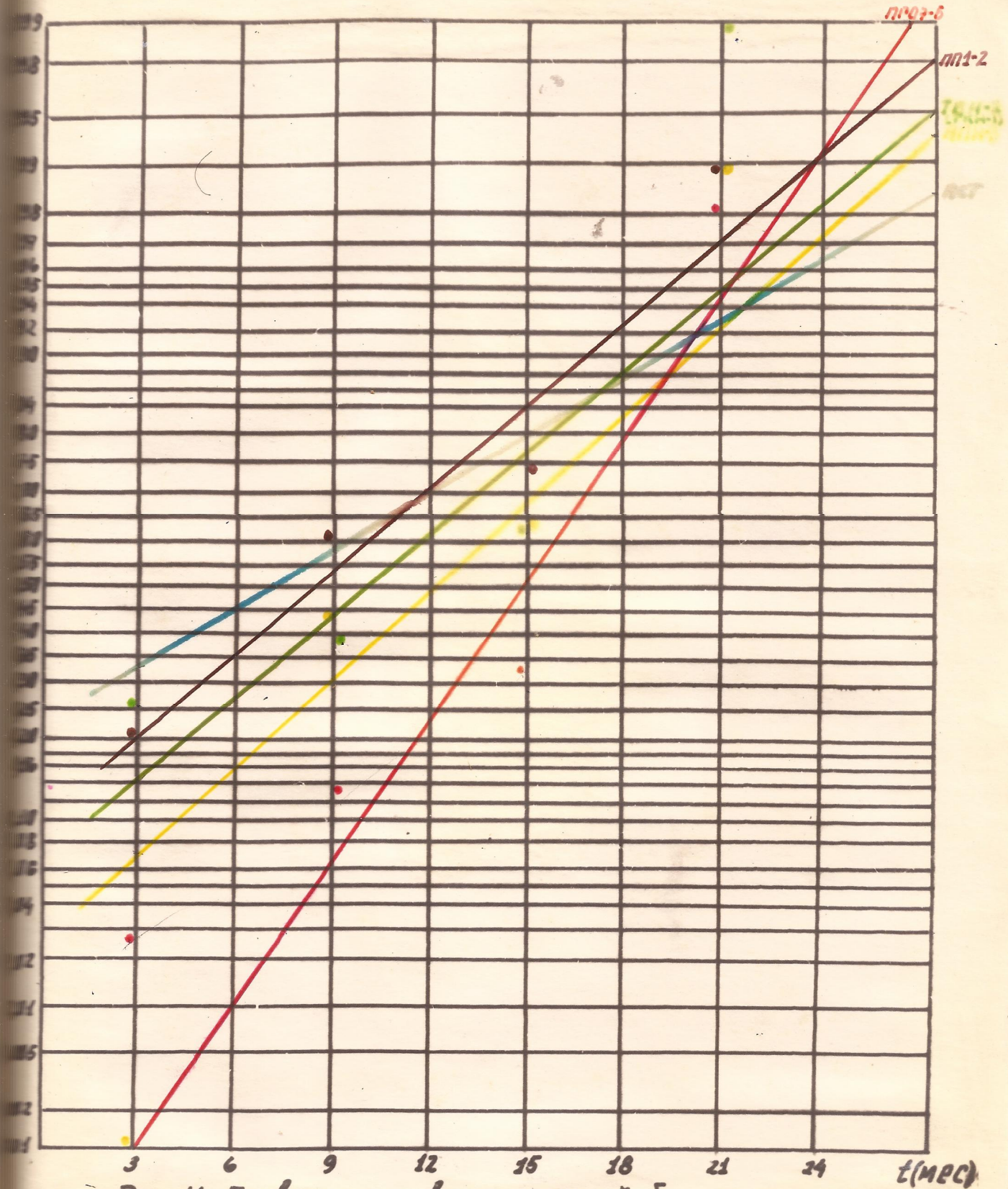


Рис. 16 Проверка на вероятностной бумаге нормального закона

Fig 3

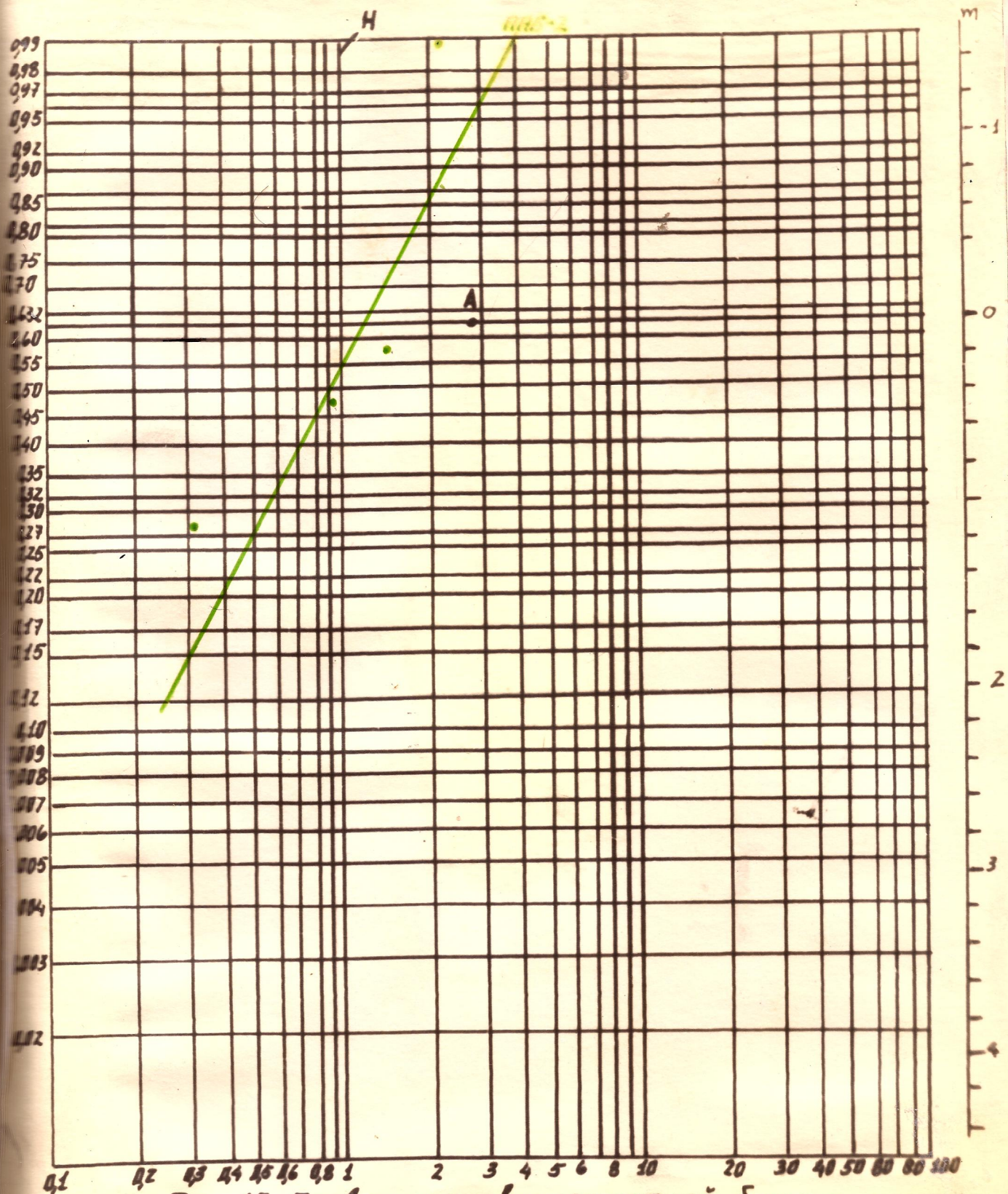


Рис. 17 Проверка на вероятностной бумаге закона Вейбулла. Fig 4

Таким образом, гипотеза о нормальном законе не отвергается, поскольку, кроме физических и чисто технических соображений, на которых мы первоначально обосновали наше предположение, теперь при обработке статистических данных за два года мы получили из 16 проверяемых видов приборов, 13 можно считать подчиняются нормальному закону.

В случае перископической буссоли ПАБ-2 кроме постепенных отказов, связанных с появлением конденционированной влаги и микробиологического налёта, имеются и другие виды отказов мгновенного действия, которые не позволяют описать время распределения отказов нормальным законом. Однако, как показан в таблице параметр $\delta = 1,25$ и закон Вейбулла при значениях δ больше 1 принимает вид горба, напоминающий нормальный закон.

Мы пришли к одному важному для предсказаний значений показателей надёжности, выводу о виде закона распределения. Но поскольку мы располагаем данными только за два года, то именно в этом периоде мы можем предсказывать значения показателей надёжности с большой достоверностью. Как видно из таблицы 19 и рис. 15 процент приборов, требующих ремонта за два года эксплуатации, мал. Поэтому на основе полученных параметров законов $(\bar{m}, \delta, t_0, \beta)$ мы не можем рассчитывать значения показателей надёжности или сделать какие-либо общие заключения о количественной оценке надёжности.

Для того, чтобы определить значения параметров законов распределения в интервале времени до отказа последнего прибора нужно иметь достаточный объем статистической информации, накопленный путём наблюдения ряда изделий очень длительное время. Однако, проведение долгосрочных наблюдений или испытаний на надёжность пока не широко внедрено в практике эксплуатации артиллерийского вооружения, так как это связано с большой затратой времени, в пределах которого обычно одни виды приборов меняются другими, более совершенными видами.

Единственной альтернативой определения параметров законов и точечных оценок показателей надёжности, являются статистические планы испытания на надёжность.

Статистические планы испытания позволяют оценить значения параметров законов распределения на основе имеющейся статистики данных, накопленных за сравнительно короткое время.

В большинстве случаев имеется некоторая информация о надежности изделия и желательно использовать её, какой бы малой она не была при выборе плана испытания [24].

С другой стороны при выборе любой модели, точность определения параметров законов и показателей надёжности зависит от того насколько хорошо выбранное распределение представляет фактическое.

Мы располагаем информацией о физике процессов снижения работоспособности оптических приборов при работе в условиях РСФСР республики Кубы. Эти процессы, как раньше было отмечено, проявляются как старение оптических деталей приборов, и закон распределения их появления можно представить нормальным.

Кроме того, предположение о нормальном распределении для рассматриваемого периода подтвердилось в 13 из 16 случаев.

На основе этой информации пользуясь как исходными данными, статистику отказов и учитывая условия выбираем план испытания согласно [25].

К нашему случаю наиболее подходит план испытаний $[N, V, r]$ где:

- N - количество изделий (приборов),
- V - приборы не восстанавливаются,
- r - количество отказов за время наблюдения.

Для оценки параметров нормального закона по плану наблюдения применяются следующие статистические формулы [25] :

$$\tilde{m} = R \tilde{\sigma} + \frac{t_r}{r} \tag{2.9}$$

и

$$\tilde{\sigma} = \frac{t_r - \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r t_i}{\frac{N-r}{r} f_1(R) - R} \tag{2.10}$$

- где t_r - срок хранения до получения r отказов;
- t_i - наработка до получения i -го отказа;
- R - коэффициент;
- $f_1(R)$ - табличная функция от R [25].

Коэффициент определяется на основе решения следующего уравнения:

$$\frac{\sum_{i=1}^r t_i^2 - \left(\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r t_i\right)^2}{\left(\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r t_i\right)^2} = \frac{1 + \frac{N-r}{r} R f_1(R) - \left(\frac{N-r}{r}\right)^2 f_1^2(R)}{\left[\frac{N-r}{r} f_1(R) - R\right]^2} \tag{2.11}$$

Обычно это уравнение решается графическим методом.
Введём следующие обозначения:

$$\frac{N-r}{r} = a; \quad \frac{\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r t_i^2 - \left(\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r t_i\right)^2}{\left(t_r - \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r t_i\right)^2} = b, \quad (2.12)$$

Из уравнения (2.11) с учётом (2.12) получим систему уравнений:

$$\begin{aligned} Y_1 &= 1 + aR f_1(R) [2b+1] \\ Y_2 &= bR^2 + a^2 f_1^2(R) [b+1] \end{aligned} \quad (2.13)$$

Задавая значения R и определяя по таблице 3 значения $f_1(R)$ строим кривые Y_1 и Y_2 по точке пересечения которых определяем значения R и $f_1(R)$.

На основе полученных R и $f_1(R)$ по формулам (2.9) и (2.10) рассчитываем значение параметров \tilde{m} и $\tilde{\sigma}$.

Для расчёта доверительных границ \tilde{m} и $\tilde{\sigma}$ по плану $[N, U, r]$ воспользуемся следующими зависимостями [25]:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{m}_B &= \tilde{m} + Z_B \frac{\tilde{\sigma}}{\sqrt{N}} \sqrt{f_2(R)}, \\ \tilde{m}_H &= \tilde{m} - Z_B \frac{\tilde{\sigma}}{\sqrt{N}} \sqrt{f_2(R)}, \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

$$\left. \begin{aligned} \tilde{\sigma}_B &= \tilde{\sigma} + Z_B \frac{\tilde{\sigma}}{\sqrt{N}} \sqrt{f_3(R)}, \\ \tilde{\sigma}_H &= \tilde{\sigma} - Z_B \frac{\tilde{\sigma}}{\sqrt{N}} \sqrt{f_3(R)}, \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

где $\tilde{\sigma}_H, \tilde{m}_H$ - нижние доверительные границы для параметров $\tilde{\sigma}$ и \tilde{m}

$\tilde{\sigma}_B, \tilde{m}_B$ - верхние доверительные границы для параметров $\tilde{\sigma}$ и \tilde{m}

Z_B - квантиль нормального распределения

$f_2(R), f_3(R)$ - табулированные функции от коэффициента R .

B - доверительная вероятность

Результаты расчётов по определению параметров \tilde{m} и $\tilde{\sigma}$ и их доверительных интервалов с доверительной вероятностью $B = 0,95$ приведены в таблице 22.

№ № п/п	Вид прибора	\tilde{m}	\tilde{m}_H	\tilde{m}_B	$\tilde{\sigma}$	$\tilde{\sigma}_H$	$\tilde{\sigma}_B$
1.	АСТ	51,5	28,18	74,82	27,55	2,77	57,87
2.	ПГ	76,5	54,29	98,71	39,35	25,06	53,64
3.	ПГОУБ	96,91	74,65	119,17	45,57	33,05	58,09
4.	ППИ-2	54,39	40,61	68,17	27,63	17,94	37,32
5.	ДС-1	30,2	14,11	46,29	19,17	6,85	31,49
6.	ТШ-1	47,8	30,75	64,85	23,80	11,28	36,32
7.	ТШ-2	44,64	28,61	60,67	24	11,78	36,22
8.	ЗДН	34,97	22,79	47,15	21,95	11,41	32,49
9.	ТВН-2	51,23	31,49	70,97	26,19	11,69	40,69
10.	ТПК, ТПКУ	49,08	35,38	62,78	32,57	21,75	43,39
11.	ТКН-1	51,23	31,49	70,97	26,19	11,69	40,69
12.	ТПН-1	57,45	32,58	82,32	29	11,52	46,48
13.	АПН-3	46,67	28,05	65,29	22,67	9	36,34

Как показано в таблице 20 для перисконической буссоли ПАБ-2, время отказов при хранении подчиняется закону Вейбулла.

Плотность распределения в этом случае определяется одной из следующих зависимостей:

$$f(t) = \beta \lambda t^{\beta-1} e^{-\lambda t^\beta} \quad \text{при } t \geq 0 \quad (2.16)$$

$$f(t) = \frac{\beta}{t_0} \left(\frac{t}{t_0}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^\beta} \quad (2.17)$$

Значения параметров $\hat{\lambda}$, $\hat{\beta}$ найдём по зависимостям [25]:

$$\hat{\lambda} = \frac{r}{\sum_{i=1}^r t_i^{\hat{\beta}} + (N-r) t_r^{\hat{\beta}}} \quad (2.18)$$

$$+ \sum_{i=1}^r \ln t_i \left[\sum_{i=1}^r t_i^{\hat{\beta}} + (N-r) t_r^{\hat{\beta}} \right] - r \left[\sum_{i=1}^r t_i^{\hat{\beta}} \ln t_i + (N-r) t_r^{\hat{\beta}} \ln t_r \right] = 0 \quad (2.19)$$

В результате решения зависимостей (2.18) и (2.19) получены следующие значения параметров $\hat{\beta}$ и $\hat{\lambda}$ и их доверительных интервалов с доверительной вероятностью $\beta = 0,95$:

На основе полученных значений параметров законов распределения и формульных зависимостей показателей надёжности, приведённых в таблице 23 [25], определено прогнозируемое значение вероятности отказа приборов при их хранении в войсковых условиях РВС республики Кубы (таблица 24).

На основе анализа данных приведённых в таблице, можно заключить о вполне удовлетворительной сходимости теоретических и статических показателей надёжности. При этом сходимость улучшается по мере увеличения сроков хранения.

2.6. Оценка влияния конструкции артиллерийских оптических приборов на их надёжность при эксплуатации в РВС республики Кубы

При хранении оптических приборов постепенно изменяются их параметры и снижается работоспособность. Предполагается, что на скорость протекания этого процесса влияют: длительность хранения в условиях влажно-тропического климата и особенности конструкций приборов. Однако при определении мер повышения надёжности приборов необходимо оценить удельный вес каждого из перечисленных и совокупности неучтённых факторов.

Для этой цели воспользуемся математическим аппаратом двухфакторного дисперсионного анализа.

Установим через какие параметры надо выразить каждый из предполагаемых факторов.

Фактор А. Срок хранения в определённых условиях (длительность хранения).

Как было раньше установлено, все приборы находятся в примерно одинаковых условиях и мы располагаем данными об изменении вероятности отказа при хранении.

Следовательно для выражения измерения данного фактора мы возьмём сроки хранения в интервалах 6 месяцев от 0 до 24 месяцев.

Фактор В. Различие в конструкции оптических приборов.

Для выражения этого фактора в нашем конкретном случае следует использовать ту часть конструкции, которая является самой уязвимой при хранении в условиях нашего климата. Как это было доказано в первой главе, оптические детали являются самыми уязвимыми воздействию климатических условий и микрофлоры при хранении. А из оптических деталей нас прежде всего интересует граничная поверхность воздух-стекло. потому, что именно оптические поверхности образуют изображение и от их состояния в основном зависит работоспособность прибора. Поэтому очевидно для того, чтобы выразить влияние различия конструкции приборов, на поверхность отказа при хранении следует использовать количество поверхностей оптических деталей, непосредственно принимающих участие в построении прибором или проекцией.

Согласно этому принципу разделили все 13 видов приборов на 3 группы в соответствии с количеством поверхностей оптических деталей. Таблица 25.

Таблица 25

Количество оптических поверхностей непосредственно принимающие участие в построении изображения объектов или в проекции сеток и марок

10-20		⋮	20-30		⋮	30-50 и больше	
ТКН-1	19	:	ТПК	26	:	ЗДН	35
ПГ	14	⋮	ТПН-1	22	:	АПН-3	30
ППИ-2	12	⋮	ТШ-2(ТШ-1)	28	:	ДС-1	54
ПГО7-Б	12	:	АСТ	26	:	ТВН-2	30

Общая модель проведения проведения двух факторного дисперсионного анализа имеет следующий вид:

$$Y_{ijk} = M + A_i + B_j + A_i B_j + \epsilon_{ijk}(i, j), \quad (2.20)$$

где Y_{ijk} - значение вероятности отказа при хранении -ого прибора при i и j уровнях факторов А и В соответственно;

M - общее среднее значение вероятности в рассматриваемой совокупности наблюдений.

- A_i, B_j - эффект обусловленный факторами A и B;
- $A_i B_j$ - эффект взаимодействия факторов A и B;
- R - число приборов в каждом варианте;
- ϵ_R - ошибка соответствующая R - ому наблюдению при уровнях факторов i и j .

Сущность исследования и оценка значимости влияния факторов на значение вероятности отказа при хранении методом дисперсионного анализа заключается в разложении полной дисперсии, характеризующей изменчивость вероятности отказа при хранении в результате изменения рассматриваемой совокупности факторов, на сумму дисперсий, обусловленной влиянием каждого из исследуемых факторов или из взаимодействия. Выражение для полной дисперсии можно представить в следующем виде:

$$\sigma_p^2(y) = \sum_{t=1}^l \alpha_t \sigma_t^2(y) + \sigma_{ow}^2(y), \quad (2.21)$$

где $\sigma_p^2(y)$ - полная дисперсия, характеризующая изменчивость вероятности отказа при хранении;

l - количество исследуемых факторов,

$\sigma_t^2(y)$ - дисперсия, характеризующая изменчивость признака в результате изменения t -ого фактора или взаимодействия факторов,

α_t - коэффициент, зависящий от объёма наблюдений;

$\sigma_{ow}^2(y)$ - дисперсия, характеризующая ошибку наблюдений.

Определение значимости факторов осуществляется по значению дисперсионного отношения и сопоставлением его значения со значением критерия Фишера F_{β} , 26, 27 определяемого при уровне значимости β и числах степеней свободы, соответствующих дисперсии числителя и знаменателя:

$$F_i = \frac{\sigma_i^2(y)}{\sigma_j^2(y)} > F_{\beta}(f_i; f_j), \quad (2.22)$$

где $\sigma_j^2(y)$ - дисперсия, с которой сравнивается дисперсия числителя;

$\sigma_i^2(y)$ - дисперсия, обусловленная конкретным фактором или их взаимодействиям;

$F_{\beta}(f_i, f_j)$ - табличное значение критерия Фишера.

В связи с тем, что значения теоретических дисперсий неизвестны при выявлении существенных факторов вместо дисперсии $\sigma_i^2(y)$ и $\sigma_j^2(y)$ используются их оценки $S_i^2(y)$ и $S_j^2(y)$, определяемые как средние квадраты соответствующих сумм квадратов отклонений [26]:

$$S_i^2(y) = \frac{Q_i}{f_i}, \quad (2.23)$$

где Q_i - сумма квадратов отклонений, обусловленных действием i -ого фактора или взаимодействия факторов;

f_i - число степеней свободы, соответствующее рассматриваемому среднему квадрату.

В нашем случае мы рассматриваем 2 фактора с фиксированными уровнями. Следовательно на основе (2.21) и (2.22) выражение для определения суммы квадратов отклонений, характеризующих полную дисперсию, может быть определена по следующей зависимости:

$$Q_n = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (2.24)$$

где Q_1, Q_2 - суммы квадратов отклонений, характеризующих влияние факторов А и В для их степени свободы

Q_3 - сумма квадратов отклонений характеризующая эффект взаимодействия факторов для неё

Q_4 - сумма квадратов отклонения характеризующая ошибку наблюдения для неё $f_4 = f_{ow} = qb(n-1) = N - qb; N = qbn$

Для определения существенности (значимости) конкретного фактора или их взаимодействия следует в знаменатель выражения (2.22) поставить $S_4^2(y) = S_{ow}^2(y)$, которая будет несмещенной оценкой дисперсии $\sigma_{ow}^2(y)$ характеризующая ошибку наблюдений, а в числителе оценки $S_1^2(y), S_2^2(y), S_3^2(y)$ соответствующие теоретическим дисперсиям $\sigma_1^2(y), \sigma_2^2(y), \sigma_3^2(y)$ и сравнить с критическим значением F - критерия при уровне значимости и числе степеней свободы f_i и f_{ow} Если:

$$F_i = \frac{S_i^2(y)}{S_{0\omega}^2(y)} > F_{\beta}(f_{ij}; f_{0\omega}), \quad (2.25)$$

то влияние i -ого фактора на изменение вероятности отказа является существенным.

Для определения удельного веса данного фактора на изменчивость после проверки существенности следует найти $S_{\eta}^2(y)$

$$S_{\eta}^2(y) = S_A^2(y) + S_B^2(y) + S_{AB}^2(y) + S_{0\omega}^2(y), \quad (2.26)$$

где
$$S_A^2(y) = \frac{1}{nb} [S_1^2(y) - S_{0\omega}^2(y)], \quad (2.27)$$

$$S_B^2(y) = \frac{1}{na} [S_2^2(y) - S_{0\omega}^2(y)], \quad (2.28)$$

$$S_{AB}^2(y) = \frac{1}{n} [S_3^2(y) - S_{0\omega}^2(y)], \quad (2.29)$$

и определить отношения

$$\frac{S_A^2(y)}{S_{\eta}^2(y)} \cdot 100; \quad \frac{S_B^2(y)}{S_{\eta}^2(y)} \cdot 100; \quad \frac{S_{AB}^2(y)}{S_{\eta}^2(y)} \cdot 100; \quad (2.30)$$

Для определения $Q_1; Q_2; Q_3; Q_4$ и Q_{η} воспользуемся следующими формулами:

$$Q_{\eta} = \sum_{i,j,k} Y_{ij,k}^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i,j,k} Y_{ij,k} \right)^2, \quad (2.31)$$

$$Q_1 = \frac{1}{nb} \sum Y_{\Sigma,i}^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i,j,k} Y_{ij,k} \right)^2, \quad (2.32)$$

$$Q_2 = \frac{1}{na} \sum Y_{\Sigma,j}^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i,j,k} Y_{ij,k} \right)^2, \quad (2.33)$$

$$Q_3 = \frac{1}{n} \sum_{i,j,k} Y_{ij,k}^2 - \frac{1}{nb} \sum_{i=1}^a Y_{\Sigma,i}^2 - \frac{1}{na} \sum_{j=1}^b Y_{\Sigma,j}^2 + \frac{1}{N} \left(\sum_{i,j,k} Y_{ij,k} \right)^2, \quad (2.34)$$

$$Q_4 = \sum_{i,j,k} Y_{ij,k} - \frac{1}{n} \sum_{i,j} Y_{\Sigma,i,j}^2, \quad (2.35)$$

Теперь на основе сказанного составим таблицу для расчёта влияния факторов А и В методом двух факторного дисперсионного анализа, с фиксированными уровнями факторов. Таблица 26.

На основе данных таблицы 26 по формулам (2.31), (2.32), (2.33), (2.34) и (2.35). Находим:

$$Q_{\eta}, Q_1, Q_2, Q_3 \text{ и } Q_4$$

Результаты расчётов

Факторы, взаимодействие их и ошибка	Сумма : квадратов Q_i	Число : степеней свободы	Средний : квадрат S_i	Проверка существенности $F_i = \frac{S_i^2(y)}{S_{00}^2(y)} > F_{\alpha}^*(f_i; f_{00})$
Фактор А	$Q_1 = 1000,31$	$f_A = 3$	$S_1^2(y) = 333,436$	$F_1 = 31,93 > F_{0,05}(3,36) = 2,87$
Фактор В	$Q_2 = 192,77$	$f_B = 2$	$S_2^2(y) = 96,135$	$F_2 = 9,028 > F_{0,05}(2,36) = 3,27$
Взаимодействие АВ	$Q_3 = 81,1$	$f_{AB} = 6$	$S_3^2(y) = 13,51$	$F_3 = 1,29 < F_{0,05}(6,36) = 2,36$
Ошибка	$Q_4 = 376,04$	$f_{00} = 36$	$S_{00}^2(y) = 10,44$	
Сумма	$Q_{\Sigma} = 1649,72$	$f_{\Sigma} = 47$		

F_{α}^* - определяется по таблицам [28]

тогда согласно (2.27), (2.28) и (2.29)

$$S_A^2(y) = 26,91; \quad S_B^2(y) = 5,355; \quad S_{AB}^2(y) = 0,767$$

и согласно (2.26)

$$S_n^2(y) = 43,472.$$

Результаты дисперсионного анализа показывают, что длительность хранения в условиях влажно-тропического климата фактор А ($F_1 = 31,93$) оказывает более существенное влияние на вероятность отказа при хранении, чем различная конструкция оптических приборов (количество оптических поверхностей) фактор В ($F_2 = 9,208$). Влияние взаимодействия обоих факторов не существенное.

Оценив наконец удельный вес каждого фактора в изменчивости значений вероятности отказа приборов при хранении по формулам 2.30 мы имеем, что:

$$\frac{S_A^2(y)}{S_n^2(y)} = \frac{26,91}{43,472} \cdot 100 = 61,9; \quad \frac{S_B^2(y)}{S_n^2(y)} = \frac{5,35}{43,472} \cdot 100 = 12,5$$

Следовательно, изменчивость вероятности отказа при хранении на 61,9% обусловлена длительностью хранения (в условиях влажно-тропического климата на 12,5% обусловлена различием конструкции оптических приборов и на остальные 25,6% обусловлена влиянием неучтенных факторов.

Таким образом количество поверхностей оптических деталей (сложность конструкции) не оказывает существенного влияния на появление отказов по сравнению с длительностью хранения и неучтенными факторами, к числу которых можно отнести первичное загрязнение поверхностей в процессе сборки, качество материалов применяемых при ремонте, квалификация личного состава, организация эксплуатации и хранение и т.п.

Полученные результаты могут быть приняты за основу при дальнейших исследованиях влияния климатических условий и микрофлоры республики Кубы на надежность оптических приборов в частности при проведении экспериментов.

2.7. Оценка возможности прогнозирования
отказов на основе закона распределения
генеральной совокупности оптических
приборов

При организации эксплуатации и ремонта оптических приборов возникает необходимость прогнозирования появления отказов. При этом необходимо оценить можно ли при прогнозировании все виды приборов рассматривать как единую генеральную совокупность и пользоваться одной моделью прогноза или же прогнозирование должно производиться отдельно, по каждому виду приборов. Проверку такой возможности произведём на основе F -критерия, поскольку надёжность рассматриваемой совокупности приборов подчиняется нормальному закону распределения.

Сущность проверки заключается в том, что мы проверяем существенность (несущественность) различия параметров законов распределения [26]

Если это различие оказывается несущественным, то гипотеза о возможности применения одной модели для прогноза не отвергается.

Для проверки мы используем критерии Фишера при следующих соотношениях:

$$F = \frac{S^2(\bar{X})}{S^2(X)} < F_{\beta}(N-1, f), \quad (2.36)$$

где

$S^2(\bar{X}) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (m_i - \bar{X})^2$ — дисперсия характеризующая рассеивание средних;

\bar{X} — среднее значение величин \tilde{m}_i ;

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \tilde{m}_i,$$

$S^2(X) = \frac{1}{f} \sum_{i=1}^N f_i \sigma_i^2$ — среднее взвешенное значение дисперсии $\sigma_i^2(X)$

n_i — количество наблюдений в каждой группе

N — количество групп приборов

$f = \sum_{i=1}^N f_i$ и $f_i = (n_i - 1)$ — число степеней свободы

$F_{\beta}(N-1, f)$ — табличное значение критерия Фишера при уровне значимости $\beta = 0,05$ определенное по [28]

На основе полученных результатов можно утверждать, что различие параметров законов распределения тринадцати рассматриваемых видов приборов, являются не существенными и в принципе все виды приборов можно объединить в одну генеральную совокупность. Однако, при этом точность прогноза всё же будет снижаться. Снижение точности прогнозирования обусловлено так же и ограниченным количеством исходных данных.

Исходя из сказанного можно заключить, что модель генеральной совокупности целесообразно применять для расчётов планирования, количества отказов приборов в условиях боевых действий или когда располагается очень мало времени для доклада состояния приборов в большом масштабе. Для планирования ремонтов ремонтных органов в мирное время, очевидно точнее и целесообразнее применять отдельные модели для расчётов запасных частей и материалов.

В ы в о д ы

1. Основными видами неисправностей оптических систем, возникающими в процессе их эксплуатации в условиях республики Кубы, являются, влажность конденсирования на поверхности деталей, микробиологическая коррозия поверхностей деталей и осыпка на оптические детали. Первые два вида неисправностей связаны с влиянием факторов окружающей среды, чем вызывается необходимость более детального исследования влияния этих факторов на надежность оптических приборов.

2. На основе анализа физики, процесса образования конденсированной влаги и развития микробиологической коррозии оптических деталей была выдвинута гипотеза о возможности подчинения распределения времени отказов нормальному закону. После проверки статистических данных на 16 основных видах артиллерийских оптических приборах в 13 случаях, было подтверждено это предположение, что дало возможность определить параметры законов распределения и их доверительные интервалы по каждому виду приборов.

Расчитанные параметры позволяют предсказать с определенной точностью количество отказов для любого момента времени эксплуатации приборов.

3. При оценке степени влияния факторов на вероятность отказа было установлено, что конструкция не является определяющим фактором. Решающую роль играют условия и время хранения.

Таким образом, дальнейшей исследования в этой области должны быть направлены на разработки профилактических мер и мер направленных на уменьшение влияния факторов окружающей среды на надёжность оптических приборов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на достаточно большой по длительности опыт эксплуатации в условиях РВС республики Кубы до настоящего времени исследование влияния этих условий на надёжность артиллерийских оптических приборов не производилось, что создаёт определенные трудности в планировании работы ремонтных органов, обеспечение их запасными деталями, принадлежностями и инструментом, а также при планировании регламентных работ в войсках.

Получены на основе обработки статистических материалов параметры законов распределения отказов по основным видам артиллерийских оптических приборов дают возможность прогнозирования этих отказов и создают предпосылки для устранения отмеченных выше недостатков в будущем.

Выводы о влиянии факторов окружающей среды на надёжность артиллерийских оптических приборов дают возможность определить направление дальнейших исследований с рассматриваемой области и в изыскании путей повышения надёжности приборов применительно к специфическим условиям эксплуатации в РВС республики Кубы.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А.Н. ИЗНАР. Оптические и электронно-оптические приборы (Основы теории и проектирование) Москва 1959.

2. Л.П. ОСИПОВА, В.В. ГАНКОВИЧ, Н.С. МАТВЕЕВА. Влияние Светопропускания наблюдательного прибора на видимость.

"Оптико-механическая промышленность" № 12 1973.

3. В.Н. ПАРТАЛА "Климатическое районирование территории Кубы для технических целей" ПВАИУ 1971.

4. ТХОРЖЕВСКИЙ. Конструирование и изготовление приборов для стран с тропическим климатом.

Машиностроение, Москва 1971.

5. *Compendio climatologico por estaciones. Observatorio Nacional. Instituto de Meteorologia 1976*

1976. (Сбор информации о климате Кубы по стационарно. Институт метеорологии Академии Наук Кубы 1976).

6. Г.К. БЕРУКШТИС, П.Б. Кларк. Коррозионная устойчивость металлов и металлических покрытий в атмосферных условиях. Наука 1971.

7. Полковник ГОЛОКОЛЕНКО И.И., полковник НИКИТИН Н.С. "Подразделения иностранных армий". Военное издательство МОСССР, Москва 1975.

8. Изменение коэффициентов светопропускания и светорассеивания в зависимости от развития плесневелых грибов на оптических системах.

"Оптико-механическая промышленность" № 3 1972.

9. Р.Б. БЛАГНИК, В. ЗАНОВА "Микробиологическая коррозия", Химия, 1965.

10. Н.М. ЧУДИЛИН. Осмотр, выверка и ремонт оптических приборов. Ленинград, 1958.

11. Руководство по ремонту оптических приборов (общая часть) В. Издательство Москва 1960.

12. Руководство по ремонту оптических приборов в войсках. В. Издательство Москва 1961.

③ - Datos de la NASA Investigaciones 1984-1986.
Cabo Canareo af. 1986.

④ ↘

13. М. КЕНДЭЛ "Ранговая корреляция".
Зарубежные статистические исследования.
Москва "Статистика" 1974.

14. Методика выбора показателей надёжности. "Стандарты и качество" № 3 1970.

15. В. Н. ЧУХНИН. Методика определения показателей надёжности и вооружения на основе статистических данных. ПВАИУ. 1975.

16. Методические указания. Методика выбора номенклатуры нормируемых показателей надёжности технических устройств.
МУ-3-69 М. 1970.

17. ГОСТ 13377-75 Надёжность в технике, термины и определения.

18. ГОСТ 21623-76 Показатели для оценки приспособленности изделий к (капитальному (среднему) ремонту).

19. И. БАЗОВСКИЙ "Надёжность теория и практика" Из-во Мир, Москва 1965.

20. Б. КОЗЛОВ, И. УШАКОВ "Справочник по расчёту надёжности" Издательство "Советское радио" М. 1975.

21. Справочник по надёжности. Перевод с английского языка под редакцией БЕРДИЧЕВСКОГО. "Мир" Москва 1970.

22. ГОСТ 17509-72 Надёжность изделий машиностроения. Система сбора и обработка информации. Методы определения точечных оценок показателей надёжности по результатам наблюдений.

23. Н. П. ВОЛКОВ. "Ремонтопригодность машин", "Машиностроение". Москва. 1975.

24. Н. В. СМЕРНОВ, И. В. ДУНИН-БАРКОВСКИЙ. Краткий курс математической статистики для технических приложений. Из-во физико-математической литературы. Москва 1959.

25. Samuel Eilon. Industrial Engineerings Tables
Reader in Production Engineerings. Imperial
College of Science and Technology. London
Edición Revolucionaria Instituto del Libro. 1975.

1975.

