

И. М. Маликов
А. М. Половко
Н. А. Романов
П. А. Чукреев

О
СНОВЫ
теории и расчета
НАДЕЖНОСТИ

СУДПРОМГИЗ · 1960

*ИГОРЬ МИХАЙЛОВИЧ МАЛИКОВ, АНАТОЛИЙ МИХАЙЛОВИЧ ПОЛОВКО,
НИКОЛАЙ АРХИПОВИЧ РОМАНОВ, ПЛАТОН АФАНАСЬЕВИЧ ЧУКРЕЕВ*

ОСНОВЫ ТЕОРИИ И РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ

Научный редактор *И. М. Маликов*
Редактор *Р. Д. Никитина*
Технический редактор *Р. К. Цал*
Корректоры *Н. Н. Васильева* и *Э. В. Кирдан*

Сдано в набор 26/VII 1960 г. Подписано к печати 15/XI 1960 г. Формат бумаги 60×92¹/₁₀
Печ. л. 9 + 1 л. вкл. Уч.-изд. л. 7,9 Изд. № 999—60 М-55244 Тираж 6500 экз. Цена 4 руб. 95 коп.
Заказ № 1420
с 1/I 1961 г. цена 50 коп.

Судпромгиз, Ленинград, ул. Дзержинского, 10

Типография № 4 УПП Ленсовнархоза. Ленинград, Социалистическая, 14

И. М. МАЛИКОВ, А. М. ПОЛОВКО, Н. А. РОМАНОВ, П. А. ЧУКРЕЕВ

ОСНОВЫ ТЕОРИИ И РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ

ИЗДАНИЕ 2-е, ДОПОЛНЕННОЕ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ СОЮЗНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Ленинград
1960

В книге изложены основные положения теории надежности и дается методика расчета надежности сложных систем, приводится большое число примеров, позволяющих читателю быстро освоить главные вопросы теории и методики расчета надежности.

Книга рассчитана на инженеров и конструкторов, занимающихся проектированием сложных систем, а также может быть полезна студентам технических вузов.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Решающим условием успешного выполнения семилетнего плана является практическое осуществление задач технического прогресса, выдвинутых XXI съездом КПСС. Решениями Июньского пленума ЦК КПСС 1959 г. намечены конкретные мероприятия по развитию комплексной механизации и автоматизации производства — основного средства технического прогресса.

Важнейшие функции управления и контроля, которые раньше во многих случаях выполнял человек, теперь осуществляются автоматически. В настоящее время в разработке и эксплуатации находятся сложные системы, состоящие из десятков и сотен отдельных устройств, включающих десятки и сотни тысяч различных элементов. Поэтому задача обеспечения надежности систем автоматического управления и регулирования является одной из наиболее актуальных проблем современной техники.

Определенная новизна вопроса, а также исключительно многосторонний характер проблемы в целом обуславливают отсутствие единства взглядов на некоторые основные вопросы надежности, в частности в определении самого понятия *надежность*.

Теория надежности — молодая, еще не сформировавшаяся, область науки. За последние годы опубликовано много статей и докладов, относящихся к теории и расчету надежности сложных автоматизированных систем. Однако в отечественной литературе пока отсутствует сколько-нибудь полное и достаточно четкое изложение основных вопросов надежности, а терминология теории надежности не отличается единством и обоснованностью.

В настоящей работе авторы стремились систематизировать и изложить имеющиеся материалы по теории и расчету надежности, которые могли бы быть полезны специалистам, занимающимся проектированием и эксплуатацией радиоэлектронной и другой сложной аппаратуры.

В работе имеются положения, излагаемые авторами по-новому, например объяснение понятия надежности, трактовка некоторых вопросов терминологии теории надежности, а также математическая трактовка количественных характеристик надежности. Настоящая книга является первой попыткой в

доступной форме изложить основные вопросы теории и расчета надежности, поэтому в ней возможны недочеты, пропуски и спорные положения. Авторы будут считать свою задачу выполненной, если настоящая работа в какой-либо степени поможет широким кругам специалистов освоить основные положения теории и расчета надежности.

Авторы будут крайне признательны за все замечания, которые будут высказаны по поводу настоящей книги.

В настоящую книгу по сравнению с первым ее изданием, выпущенным Судпромгизом в 1959 г., дополнительно включены: глава VII, § 23, 39, 41 и приложение.

При подготовке этого издания учтены некоторые работы в области надежности, вышедшие в свет после выпуска первого издания. В частности, включены дополнительные сведения по опасностям отказов, доложенные на Шестом национальном симпозиуме по надежности, состоявшемся в США (1960 г.).

Кроме того, сделан ряд исправлений и дополнений в другие параграфы книги.

ГЛАВА I

ПРОБЛЕМА НАДЕЖНОСТИ

§ 1. Возникновение проблемы надежности

Современный уровень развития техники характеризуется возрастающим применением средств автоматики и телемеханики, стремительным развитием счетно-решающих и гироскопических приборов, комплексной разработкой сложнейших систем управления.

Автоматизация управления и высокие требования в отношении точности привели к усложнению приборов управления и средств автоматики и телемеханики, к созданию сложнейших систем, предназначенных для выполнения комплекса задач. Так, по американским данным [1] рост электронного оборудования, устанавливаемого на отдельных объектах, характеризуется следующими данными: число ламп в радиоэлектронном оборудовании эсминца ВМФ США увеличилось с 60 шт. в 1937 г. до 3200 шт. в 1952 г. Авианосец имеет около 12 000 одновременно работающих ламп. Современная американская система приборов управления артиллерийским зенитным огнем наземной батареи включает около 500 ламп и 20 000 радиодеталей (1953 г.).

Из рис. 1 наглядно виден рост количества ламп, установленных в электронном оборудовании на эсминце американского военно-морского флота и на тяжелом бомбардировщике военно-воздушных сил США.

Если учесть, что на каждую лампу в среднем приходится от 5 до 16 конденсаторов и столько же сопротивлений, то станет ясным, какую сложность представляет комплексная система управления современными объектами.

Особо сложно создание системы управления беспилотными объектами. Например, система приборов управляемого снаряда «Найк» состоит более чем из полутора миллионов отдельных деталей [2].

Основное противоречие современной техники заключается в том, что если не предприняты специальные меры по повышению надежности, то чем сложнее и точнее аппаратура управления, тем менее она надежна. В США результаты испытания показали исключительно низкую надежность системы управления реак-

тивными управляемыми снарядами. Управляемый снаряд — это система взаимозависимых элементов. Если один из элементов выходит из строя, то выходит из строя и весь управляемый снаряд (при отсутствии резервирования). Следовательно, надежность действия управляемого снаряда не превышает надежности действия наименее надежного элемента системы.

Выяснить причины отказов управляемых снарядов крайне трудно. Например, при пробных запусках снарядов типа «Фау-2» в США в 30 случаях из 36 неисправности были вызваны неизвестными причинами, установить которые так и не удалось [2].

Чем сложнее управляемый снаряд, тем больше времени отнимает устранение различных неполадок и тем труднее обеспечить высокую надежность его действия.

На рис. 2 показаны результаты испытаний в США управляемых снарядов типов «Фау-2», «Викинг» и «Бампер». Из рисунка видно, что чем сложнее снаряд, тем меньше его надежность.

Анализируя статистические данные эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры в США, можно установить катастрофически низкую надежность специального электронного оборудования, находящегося на вооружении армии и флота США, что на-

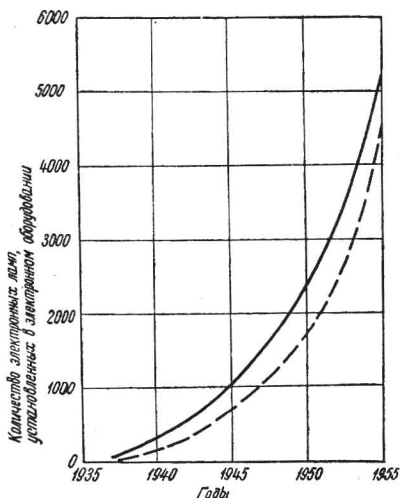


Рис. 1. Возрастающая сложность военной электронной аппаратуры, характеризующаяся количеством применяемых ламп.
— эсминец; — — — — — тяжелый бомбардировщик.

глядно иллюстрируют следующие данные. В 1949 г. около 70% морской радиоэлектронной аппаратуры находилось в нерабочем состоянии. Для поддержания в рабочем состоянии 160 000 единиц радиоэлектронного оборудования, находящегося на вооружении ВМФ США, по американским данным необходимо ежегодно заменять свыше 1 млн. деталей, выходящих из строя в процессе эксплуатации. В течение 12 месяцев только в 4000 образцах было заменено 180 000 ламп. Замена ламп превышает смену других элементов аппаратуры в отношении 5:1. По данным ВВС США, межремонтный срок радиоэлектронного оборудования бомбардировщика не удается поднять свыше 20 часов. Согласно американским отчетным материалам, радиосвязное оборудование находилось в нерабочем состоянии 14% времени, гидроакустическое 48%, радиолокационное до 84% [1].

Приведенные примеры убедительно показывают актуальность проблемы повышения надежности элементов радиоэлектронной техники, так как требования к надежности современных систем управления диктуются жизнью.

Крупный русский ученый академик А. И. Берг справедливо отмечает: «Ни одно достижение науки и техники, сколь бы эффективно оно не было, не может быть полноценно использовано, если его реализация будет зависеть от «капризов» малонадежной аппаратуры» [1].

Усложнение аппаратуры управления, повышение требований к точности и усложнение решаемых задач обусловило трудности эксплуатации. Очевидно, что чем сложнее аппаратура, тем труднее обеспечить эксплуатационное обслуживание, чем больше аппаратура подвержена расстройке и регулировке, тем вероятнее ее выход из строя. Отсюда ясно, почему растет значение проблемы повышения надежности систем управления. От решения этой актуальнейшей проблемы во многом зависит дальнейшее развитие и прогресс наиболее важных отраслей современной техники.

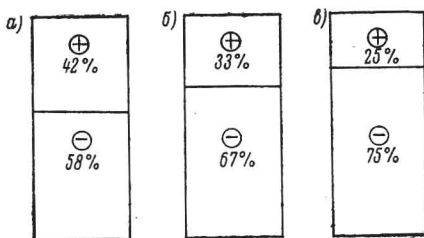


Рис. 2. Результаты испытаний управляемых снарядов в США:
а — «Фау-2»; б — «Викинг»;
в — «Бампер».

§ 2. Факторы, влияющие на надежность

Надежность аппаратуры обеспечивается в процессе разработки и конструирования системы; при проектировании должна быть заложена определенная теоретическая надежность. В процессе изготовления обеспечивается фактическая надежность каждого конкретного образца разработанной системы. Обеспечение надежности конкретного образца зависит от качества применяемых при изготовлении комплектующих деталей и изделий, качества сборки и монтажа приборов.

После изготовления надежность должна поддерживаться на необходимом уровне правильной организацией эксплуатации.

На каждом из указанных этапов можно принимать соответствующие меры к повышению надежности.

При проектировании учитываются следующие факторы, влияющие на надежность.

1) качество и количество применяемых элементов и деталей. Выше уже отмечалось, что чем сложнее аппаратура, тем меньше ее надежность. Одна из главных объективных причин понижения надежности заключается в том, что темпы роста надежности применяемых элементов схемы отстают от темпов роста их количества. В результате увеличивается вероятность выхода из

стройка аппаратуры, т. е. снижается ее надежность. При выборе комплектующих элементов необходимо особо тщательно анализировать количественные параметры оценки надежности элементов;

2) режимы работы элементов и деталей.

Самые надежные элементы, поставленные в аппаратуре втяжелый, не предусмотренный для их применения режим, могут стать источником частых отказов. Причиной слабых мест конструкции прибора являются, как правило, ошибки конструкторов-проектировщиков, заключающиеся в неправильном применении выбранных элементов. Особенно это касается применения электровакуумных приборов. Обычно такие ошибки являются следствием недостаточной осведомленности в номенклатуре изготавливаемых промышленностью элементов, в их свойствах и особенностях применения.

Надежность часто зависит не только от режимов выбранных элементов, но и от варианта схемного решения и от конструктивного оформления прибора.

В зависимости от схемного и конструктивного решения прибор, спроектированный по одной и той же принципиальной схеме, может дать неодинаковый эффект по надежности, даже при использовании в схеме одних и тех же типов элементов, взятых в одинаковых количествах.

Итак, надежность проектируемого прибора зависит от правильности выбора и применения элементов, от разработки схемы их расположения и от конструктивного решения, принятого при разработке прибора;

3) стандартизация и унификация. Разработка сложных комплексных систем показала, что использование унифицированных схем, узлов и элементов резко повышает надежность системы, так как унифицированные элементы лучше отработаны и имеют более совершенную технологию изготовления;

4) доступность деталей, узлов и блоков для осмотра и ремонта. Решая при проектировании системы проблему надежности, необходимо помнить о требованиях эксплуатации систем на объекте, в частности о наличии в разработанных приборах устройств непрерывного контроля и индикации исправности аппаратуры, позволяющих обслуживающему персоналу объективно судить о ее работоспособности непосредственно по индикаторам без проведения специальных измерений. Эти устройства следует в случае необходимости дополнять сигнализацией о наличии отказа и месте возникновения неисправностей. Например, применение сигнальных предохранителей резко облегчает личному составу обслуживание линий питания современных систем управления; наличие сигнализации и доступность приборов, деталей, узлов и блоков для внутреннего осмотра облегчает эксплуатацию систем в целом и обеспечивает быстрое восстановление ее работоспособности после появления отказа.

К важнейшим производственным факторам, отрицательно влияющим на надежность, относятся:

1) отсутствие должного контроля материалов и комплектующих изделий, поступающих от смежных предприятий;

2) нарушение сортности и недоброкачественная замена материала при изготовлении деталей;

3) установка в приборах элементов, подвергшихся длительному хранению в неблагоприятных условиях, без предварительной проверки. Это особо относится к элементам радиотехнической и электронной групп изделий;

4) недостаточное внимание к чистоте оборудования, рабочего места, воздуха в рабочем помещении и т. д. Это требование имеет особое значение при изготовлении и сборке точных элементов и устройств;

5) недостаточно подробный контроль на операциях и при выпуске готовой продукции;

6) нарушение технологии сборки и правил электрического монтажа, например припаивание проводов к лепесткам ламповых панелей без предварительной установки шаблонов ламповых цоколей;

7) нарушение режима сложных технологических процессов, например процессов пропитки, нанесения антикоррозионных покрытий и т. д.

К эксплуатационным факторам, влияющим на надежность, можно отнести:

1) квалификацию личного состава, обслуживающего систему;

2) воздействие на приборы и механизмы системы внешних условий (климатических, вибраций, ударов и т. п.) и фактора времени.

Рассматривая удельный вес влияния различных факторов на надежность аппаратуры по американским данным применительно к системам управления реактивными снарядами, можно установить, что дефекты и отказ аппаратуры за счет допущенных ошибок при разработке и конструировании составляют 36%, за счет эксплуатации 36% и за счет качества и надежности примененных в системе элементов 28% всех отказов в работе (рис. 3).

§ 3. Пути решения проблемы надежности

Для повышения надежности необходимо проводить в жизнь следующие наиболее существенные меры:

разрабатывать новые схемы приборов и блоков повышенной надежности;

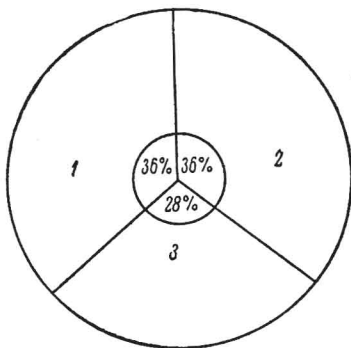


Рис. 3. Ориентировочное распределение влияния различных факторов на отказ военной электронной аппаратуры.

1 — отказ за счет ошибок, допущенных при конструировании приборов и при выборе режимов работы элементов; 2 — отказ из-за неправильной эксплуатации и неправильного складского хранения аппаратуры; 3 — отказ из-за недостаточной надежности элементов.

создавать надежные конструкции приборов, исходя из особенностей их эксплуатации и места установки на объекте;

правильно выбирать режимы работы элементов;

широко использовать унификацию и ограничительные списки элементов и деталей повышенной надежности, разрешенных для использования при проектировании приборов;

стимулировать разработку улучшенных элементов; особо большое значение имеют разработка надежных электровакуумных приборов, внедрение полупроводниковых элементов, замена ламповых усилителей магнитными, контактных устройств бесконтактными и т. п.;

применять предварительную «тренировку» элементов до постановки их в изготавливаемую аппаратуру;

автоматизировать изготовление массовых элементов радиоэлектроники, что обеспечит снижение влияния субъективных факторов в производстве, высокую однородность и резкое повышение качества изделий;

прогнозировать отказы при эксплуатации аппаратуры;

глубоко изучать отчетные данные об отказах приборов и систем и организовать опытовую эксплуатацию систем в условиях объекта.

Организация опытовой эксплуатации новых систем позволяет выявить наиболее слабые по надежности места аппаратуры, установить объем, сроки и методику профилактики, уточнить инструкции по эксплуатации, разработать первичную документацию по обнаружению и устранению характерных неисправностей, облегчить решение вопросов прогнозирования отказов.

Успешная опытовая эксплуатация, сопровождаемая учетом и анализом всех отказов, позволит эффективно использовать полученный опыт при новом проектировании и при модернизации систем, что повысит надежность разрабатываемой аппаратуры.

При эксплуатации систем следует принимать следующие наиболее существенные меры для повышения их надежности:

надлежащим образом подготавливать обслуживающий персонал;

организовывать на объектах сбор полных и достоверных статистических данных об отказах и простоях аппаратуры;

разрабатывать специальные инструкции и методики по эксплуатации систем, а также по их профилактике и ремонту.

Мероприятия, направленные на повышение надежности, должны быть тесно связаны: сведения, получаемые при эксплуатации, должны учитываться при разработке новых образцов и при модернизации ранее выпущенных систем, а опыт проектантов и изготовителей должен поступать к эксплуатационникам для организации правильного обслуживания и ремонта систем.

ГЛАВА II

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

§ 4. Определение понятия надежности

Для количественного определения надежности наиболее широко используется статистический метод; теория вероятностей и математическая статистика являются основными средствами для исследования вопросов надежности. Теория вероятностей позволяет установить взаимосвязь между большим числом переменных случайных величин, влияющих на надежность, и количественными характеристиками надежности. В связи с этим многие понятия теории надежности связаны с понятиями, принятыми в теории вероятностей.

Рассмотрим основные определения и понятия теории надежности, а также некоторые положения теории вероятностей, необходимые для изучения основ теории и расчета надежности.

Понятия «надежность» и «ненадежность» определяются разными авторами весьма различно. Рассмотрим наиболее часто встречающиеся определения [1, 3, 4]:

1) надежность — среднее время работы данного образца между двумя неисправностями;

2) надежность — общее число неисправностей, случившееся в N -ном количестве образцов за определенный период работы;

3) надежность — число часов профилактики и ремонта, необходимое для обеспечения одного часа нормальной работы оборудования;

4) надежность — среднее число часов осмотра и регулировки оборудования, требующееся для обеспечения его удовлетворительной работы в течение одного часа;

5) надежность — функция отношения действительной и идеальной характеристик работы оборудования;

6) надежность — вероятность того, что составной элемент, установка или система в целом будет удовлетворительно работать в течение времени T_1 , тогда как расчетное, т. е. проектное время непрерывной работы аппаратуры, равно T_2 ;

7) надежность — вероятность того, что заданное значение параметров того или иного элемента или системы в целом будет находиться в пределах установленных норм;

8) надежность — это вероятность того, что в заданном интервале времени не произойдет ни одного отказа, т. е. вероятность того, что данное изделие будет сохранять свои параметры в заданных пределах в течение определенного интервала времени при определенных условиях эксплуатации;

9) надежность — способность аппаратуры безотказно работать в течение определенного интервала времени в заданных условиях эксплуатации при минимальных затратах времени и средств на устранение и предупреждение отказов.

Анализируя многообразие понятия надежности, видим, что этому понятию дается либо количественное, либо качественное определение.

Надежность можно характеризовать множеством количественных характеристик, но ни одна из них не может в полной мере охарактеризовать это понятие, поэтому количественная характеристика надежности не может быть ее определением. Определение должно охватывать все явление в целом. Таким определением может быть только качественное, характеризующее свойство конкретного изделия.

Включение в понятие «надежность» времени и средств, затрачиваемых на устранение и предупреждение отказов, является необоснованным, если считать, что надежность представляет внутреннее свойство аппаратуры, так как надежность не изменится, сколько бы времени и средств ни затрачивалось на устранение и предупреждение отказов. Время, затрачиваемое на ремонт и предупреждение отказов, является таким же свойством аппаратуры, как и надежность. При этом оно будет характеризовать не надежность аппаратуры, а скорее удобство и стоимость ее эксплуатации.

Из определения понятия «надежность» следует также исключить слова «в течение определенного интервала времени». Если надежность есть свойство изделия, то ее величину можно изменять только при проектировании, когда закладываются ее теоретические показатели, и при изготовлении изделия, когда обеспечивается его фактическая надежность. Введение в понятие «надежность» интервала работы аппаратуры позволяет считать, что такое внутреннее свойство, как надежность, можно увеличить или уменьшить, варьируя временем работы аппаратуры.

Другое дело, что надежность аппаратуры можно численно оценить, например, вероятностью исправной ее работы в течение определенного интервала времени; но изменить надежность, варьируя различным интервалом времени, нельзя.

На основании изложенного представляется наиболее обоснованным следующее определение понятия надежности:

Надежность есть свойство изделия (детали, сборки, прибора, системы и т. д.) сохранять свои

параметры в заданных пределах и в заданных условиях эксплуатации.

Представим себе любое изделие, содержащее радиоэлектронные элементы, и выясним факторы, определяющие его надежность. Определенное количество надежности заложено в изделие при проектировании правильным выбором и применением элементов, выбором их режима работы, а также резервированием менее надежных звеньев устройства и т. д. Это соответствует теоретическому уровню надежности, равному H_1 .

Кроме того, определенное количество надежности закладывается в конкретное изделие при его изготовлении за счет качества конкретных элементов, устанавливаемых в него, за счет качества его сборки и электрического монтажа. Например, при изготовлении телевизора типа «Темп» с заводским номером 0155 будет заложена одна надежность, а телевизора с заводским номером 0156 — другая, отличная от первой. Это будет соответствовать дополнительному изменению степени надежности на величину H_2 . Дополнительный уровень может быть со знаком плюс, если качество установленных элементов оказалось выше, чем запроектированное, и со знаком минус, если их качество ниже принятого при проектировании.

Таким образом, в каждое изделие будет «встроено» определенное количество надежности, равное

$$H = H_1 \pm H_2.$$

Эта надежность расходуется с той или иной степенью быстроты в зависимости от режима и условий эксплуатации. Если условия и режим эксплуатации неблагоприятны, то надежность расходуется быстро. Если условия эксплуатации изделия благоприятны, то надежность расходуется медленно.

Необходимо учитывать также, что многие изделия, содержащие радиоэлектронные элементы, теряют надежность и при хранении.

§ 5. Некоторые сведения из теории вероятностей

Теория вероятностей позволяет изучать массовые явления. Массовыми будем называть явления, повторяющиеся при многократных испытаниях. Если при массовых испытаниях в каждом испытании обязательно происходит некоторое событие, то такое событие называют достоверным. Если же некоторое событие заведомо не произойдет, то его называют невозможным. События, которые в каждом отдельном испытании предсказать невозможно, называются случайными.

Например, при многократном бросании монета каждый раз падает гербом вверх или вниз. Это явление будет случайным, так как невозможно предсказать, какой стороной упадет монета в данном броске.

Кроме случайных событий, теория вероятностей изучает случайные величины и случайные процессы (случайные функции).

Случайной величиной называется переменная величина, которая в результате испытания может принимать то или иное значение, например отклонение размера изделия от его номинального значения, время работы сопротивления до выхода его из строя.

Случайным процессом или случайной функцией называют совокупность случайных величин, отвечающих различным значениям некоторого неслучайного параметра, например изменение диаметра по длине валика, вибрация самолета во время полета, внутренние шумы в следящих системах, флуктуации в электрических цепях и т. п.

Точно предсказать случайные величины, процессы и случайные события невозможно. Однако, если рассматривать не каждое случайное событие, величину или процесс, а всю их совокупность, то можно охарактеризовать их с помощью математических методов.

Пусть при N испытаниях некоторое событие A появилось K раз. Тогда отношение $\frac{K}{N}$ называют частотой случайного события A и обозначают $W(A)$, т. е.

$$W(A) = \frac{K}{N}.$$

При увеличении числа испытаний частота появления события A обнаруживает устойчивость, т. е. $W(A)$ не сильно отличается от некоторого положительного постоянного числа P .

Отсюда можно высказать следующую гипотезу: для любого случайного события A всегда можно указать такое число P , что при достаточно большом числе экспериментов, проводимых при одинаковых условиях, частота события окажется приблизительно равной P , т. е.

$$P(A) = \frac{K}{N}. \quad (1)$$

Число $P(A)$ называется вероятностью события A и записывается так:

$$P = P(A). \quad (2)$$

Вероятность P представляет собой некоторую физическую константу и дает количественную оценку возможности появления события A . За приближенное численное значение вероятности $P(A)$ можно принять частоту $W(A)$, полученную при большом числе N испытаний.

Из выражений (1) и (2) видно, что при N испытаниях событие A произойдет примерно NP раз и не произойдет $N(1-P)$ раз.

Например, если известно, что вероятность исправной работы элемента в течение определенного интервала времени равна 0,8,

то это означает, что из 100 испытуемых элементов данного типа в течение указанного времени будет работать примерно $0,8 \cdot 100 = 80$ элементов, а откажет в работе $100 (1 - 0,8) = 20$.

Очевидно, что численно вероятность случайного события удовлетворяет условию

$$0 \leq P \leq 1.$$

Если A — событие невозможное, то $P = 0$, если достоверное, то $P = 1$.

Для случайных событий справедливы следующие соотношения.

1. Если в результате испытания при появлении события A появляется также событие B , то говорят, что событие A влечет за собой событие B :

$$A \subset B \text{ или } B \subset A.$$

2. Если событие A влечет за собой событие B и в то же время событие B влечет за собой событие A , то говорят, что эти события равносильны или тождественны:

$$A = B.$$

Это значит, что при испытании события A и B либо происходят, либо не происходят.

3. Произведением событий A и B называют событие, заключающееся в одновременном их появлении. Оно обозначается $A \cdot B$.

4. Суммой событий A и B называют событие, заключающееся в том, что наступает хотя бы одно из событий A или B . Сумма событий обозначается $A + B$.

5. События A и $\bar{A}$ называются противоположными, если наступление какого-либо одного из них, A или $\bar{A}$, достоверно, а совместное наступление обоих в каком-либо одном испытании невозможно.

6. События A и B называются несовместимыми, если их совместное появление в одном испытании невозможно.

7. События называются независимыми, если появление одних событий не изменяет вероятности появления остальных событий. Рассмотрим основные правила вычисления вероятностей.

1. Если события $A_1, A_2, \dots, A_n$ несовместимы, то $P(A_1 + A_2 + \dots + A_n) = P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_n)$.

2. Вероятность противоположного события $\bar{A}$ дополняет до единицы вероятность данного события, т. е.

$$P(\bar{A}) = 1 - P(A).$$

3. Вероятность совместного наступления нескольких независимых событий равна произведению вероятностей этих событий, т. е.

$$P(A_1 A_2 \dots A_n) = \prod_{i=1}^n P(A_i).$$