

Этапы формирования и развития проблематики надежности в ведущих машиностроительных отраслях СССР и России с 30-х годов XX века по настоящее время

Апполонов И.В. – главный научный сотрудник
ОАО «ВНИИМС», д.т.н., профессор

Трофимов С.В. – генеральный директор
ФГБНУ «ГНТЦ «Наука», к.т.н.

Пантелеев К.Д. – заместитель генерального
директора по производству – главный инженер
ФГБНУ «ГНТЦ «Наука», к.т.н.

Формирование проблематики надежности механиками – строителями 30–40 гг. XX века и ее развитие в ведущих машиностроительных отраслях промышленности в СССР и России в 50–80 гг.

Впервые вопросы надежности были затронуты в связи с использованием вероятностных методов при проектировании различных технических сооружений механиками-строителями. Эти работы были выполнены М. Майером и Н.Ф. Хоциаловым в конце 20-х годов XX века [1]. Однако они не получили достаточного признания в основном из-за отсутствия систематизированного статистического материала. Внедрение статистических методов в строительную механику различных систем и технических сооружений стало осуществляться в период, относящийся к середине тридцатых годов с появлением работ Н.С. Стрелецкого [2], в которых изложен статистический подход к постановке вопросов надежности, характерный для периода 30–40-х годов. Однако серьезному развитию работ по надежности в строительной механике помешала вторая мировая война. И только в 50–60-е годы появились ощутимые результаты в работах по надежности, которые были намечены в 30–40-х годах.

Фактическое начало и развитие работ по надежности с появлением практически значимых результатов описано в книге В.В. Болотина [3] и его обзорной статье [4], где дана исчерпывающая характеристика состояния теории надежности в строительной механике, характерного для периода 50–60-х годов в самых различных направлениях: в расчетах на долговечность деталей машин, судовых конструкций, высотных конструкций (на действие ветра), в расчетах деталей на акустическую усталость, сейсмостойкость и ударостой-

кость сооружений, в исследовании микронеоднородности сред поликристаллов, армированных материалов и т.д.

Исследования по физике разрушения различных металлов и некоторые полезные статистические закономерности их усталостных разрушений содержатся в докторской диссертации В.П. Когаева [5].

В указанных работах были заложены существенно значимые для того периода времени принципиальные основы (методического, теоретического и практического характера) исследования и расчета надежности изделий механического типа. Эти работы, а также многие другие, не представленные в [3, 4, 5], послужили хорошей естественной основой для развития математического аппарата применительно к новым задачам надежности сложных механических систем и устройств, которые возникли в 60–70-х годах в связи с интенсивной разработкой ракетно-космической и радиолокационной техники, атомных станций, новой военно-морской техники, колесно-гусеничных машин и бронетехники, стрелково-пушечного вооружения для различных родов войск, а также ряда других важнейших технических направлений оборонного комплекса и ведущих отраслей промышленности нашей страны.

К основным недостаткам данных работ следует отнести:

- отсутствие системного подхода к проблеме надежности;
- использование в моделях надежности изделий достаточно частных случаев, базирующихся на рассмотрении «опасных» точек, сечений, площадок, т.е. оправданное и неоправданное использование моделей «слабого звена»;
- существенное упрощение моделей надежности, в частности, допущение о статистической независимости событий, отказов, неисправностей при количественном анализе сложных механических систем;
- экспериментальные методы подтверждения надежности изделий в основном базировались на модельных образцах.

Модели надежности, используемые в расчетах сложных механических систем и устройств, к концу 60-х годов и 70–80-х годах во многих практических случаях уже были свободны от перечисленных недостатков.

В 60–70-е годы Ю.В. Чуевым, Я.Б. Шором, В.Е. Зоткиным, А.В. Новиковым, Г.Б. Черняком, Л.Н. Рудинкиной и другими исследователями интенсивно проводились исследования механической надежности спецсистем, а также артиллерийского, ракетного и стрелково-пушечного вооружения сухопутных войск. Основополагающие теоретические и практические результаты этих исследований были обобщены в ряде докторских и кандидатских

диссертационных работ. Много полезных для теории и практики результатов приведено в широко известной монографии Я.Б. Шора [6]. Целый ряд положений, изложенных в работах перечисленных авторов, а также изложенных в [6], используется многими специалистами в области надежности механических устройств и систем и в настоящее время. А таблицы [8], составленные Я.Б. Шором и Ф.И. Кузьминым, являются и на сегодняшний день популярными при расчете показателей надежности механических, электромеханических, радиоэлектронных и других систем. Эти таблицы весьма удачно дополняют известные строгие обширные статистические таблицы [7], составленные Н.В. Смирновым и Л.Н. Большиевым. Полезными для практических расчетов оказались таблицы [9], разработанные Р.С. Судаковым, Н.А. Северцевым, В.Н. Титуловым и Ю.М. Чесноковым.

Наиболее широкий комплекс исследований в области надежности радиоэлектронного оборудования восстанавливаемых технических систем был развернут в 60–70-е годы в связи с интенсивным развитием в СССР вычислительной техники, а также разработкой сложной радиоэлектронной аппаратуры для различных систем управления, измерительных систем и широкого спектра датчикопреобразующей аппаратуры для ракетно-космической и авиационной техники, используемой как в оборонном комплексе, так и в народнохозяйственных целях. Основная часть задач по надежности этих систем, освещаемых в многочисленной литературе указанного периода, разрабатывалась в направлениях: оптимального резервирования, оптимальных проверок, оптимальных режимов профилактических и ремонтных работ и оптимального управления запасами. В этих больших и важных направлениях работ принимала участие весьма большая группа исследователей, среди которых следует отметить работы Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко, Н.П. Бусленко, Ю.К. Беляева, А.Д. Соловьева, В.А. Каштанова, Е.Ю. Барзиловича, А.М. Широкова, И.А. Ушакова, Б.А. Козлова, Г.В. Дружинина, И.М. Сендеева, В.С. Новикова, Н.А. Рябинина, Б.П. Креденцера, Ф.И. Кузьмина и др. Их усилиями, а также многих других исследователей, не указанных в данном списке, к середине 70-х годов основные задачи из вышперечисленных направлений работ были решены как в теоретическом, так и в практическом плане.

Общая характеристика решенных задач, а также достаточно представительная библиография их авторов представлена в справочнике [10], на основе которого был разработан и издан более общий справочник по надежности технических систем [11]. В нем содержится обобщающий материал не только

по вопросам надежности радиотехнических и электронных систем, но и изделий машиностроения, электроэнергетики, гидротехнических сооружений, информационных систем, сетей магистральных газо- и нефтепроводов. В авторском коллективе справочника, обобщающего работы по надежности 60-х и 70-х, а также первой половины 80-х годов, были представлены и известные зарубежные авторы, такие как профессора Р. Барлоу и Ф. Прошан (США), профессора А. Штеллер и О. Франкен (ГДР), доктор технических наук К. Рейнеке (ГДР), кандидат физ.-мат. наук К. Айда Суанес (Республика Куба).

В справочнике излагались общие сведения и основные понятия надежности (Ю.Н. Руденко, И.А. Ушаков), показатели надежности (И.А. Ушаков), системы без восстановления (Б.А. Козлов, И.А. Ушаков), системы с восстановлением (Б.А. Козлов, К.А. Саунес, И.А. Ушаков), системы с монотонной структурой (В.А. Богатырев, Е.Н. Литвак, И.А. Мизин, И.А. Ушаков), системы с резервом времени (Г.Н. Черкесов), системы массового обслуживания с ненадежными приборами (Г.П. Климов, В.Ф. Матвеев), эффективность функционирования систем (И.А. Ушаков); вопросы моделирования на ЭВМ: методология моделирования (В.В. Калашников), моделирование высоконадежных систем (И.Н. Коваленко, Н.Ю. Кузнецов); оптимизационные задачи надежности: оптимальное развертывание (Ю.Е. Малашенко, И.А. Ушаков, А.Э. Шура-Бура), обеспечение технических объектов запасными элементами (Э.А. Шура-Бура), оптимальное управление запасами (Г.Б. Рубальский, И.А. Ушаков), оптимальное обнаружение и поиск отказов (Г.С. Пашковский, И.А. Ушаков), модели технического обслуживания (В.А. Каштанов); методы оценки надежности по результатам испытаний: общие вопросы экспериментальной оценки надежности (Ф.И. Фишбейн), оценка показателей надежности по экспериментальным данным (М.Б. Топольский, Ф.И. Фишбейн), контроль показателей надежности (Э.В. Дзиркал), вычисление доверительных границ для показателей надежности (Ю.К. Беляев, Э.В. Дзиркал, Р.С. Судаков, О.И. Тескин), вычисление показателей надежности сложных систем (И.В. Павлов, О.И. Тескин), статистический контроль показателей надежности сложных систем (Э.В. Дзиркал, И.В. Павлов), форсированные испытания (Г.Д. Карташов), специальные математические методы расчета: распределения с монотонной функцией интенсивности (Р. Барлоу, Ф. Прошан, И.А. Ушаков), надежность механических систем (В.В. Болотин, В.П. Чирков), расчет надежности систем с восстановлением (А.Д. Соловьев), специальные методы исследования объектов с восстановлением (В.С. Королюк, И.А. Ушаков,

П. Франкен, И.Б. Шубинский, А. Штеллер), надежность структурно-сложных ретрансляционных систем сетей (В.А. Гадасин, И.А. Ушаков), системы из элементов с многими состояниями (К. Райншке), использование диффузионных процессов (В.В. Ивлев, И.А. Ушаков); прикладные задачи надежности различных систем: надежность электроэнергетических систем (Ю.Н. Руденко, И.А. Ушаков), надежность магистральных газо- и нефтепроводов (Е.Р. Ставровский, М.Г. Сухарев), надежность информационных систем (В.А. Богатырев, И.А. Мизин), надежность гидромеханических сооружений (Э.Г. Газиев, И.А. Ушаков), вибрационные нагрузки на радиоэлектронную аппаратуру (Ю.К. Коненков, М.А. Давтян).

В ходе подготовки и выпуска данного справочника стало очевидно, что в одном томе практически невозможно охватить даже основные вопросы теории и практики надежности различных сложных систем и объектов и, в первую очередь, больших механических систем. Кроме того, из приведенного достаточно подробного содержания направлений и разделов справочника видно, что он явно тяготеет к вопросам исследования надежности радиотехнических и электронных систем. Примеры прикладных задач надежности применительно к электроэнергетическим системам, магистральным нефте- и газопроводам, информационным системам не делают данный справочник достаточно общим. Поэтому по рекомендациям руководителей ведущих отраслей промышленности страны и, в первую очередь, оборонного комплекса, было предложено разработать и выпустить многотомный справочник более широкого плана, который содержал бы вопросы надежности и эффективности в основном сложной техники и который базировался на результатах работ в этой области, полученных в 60–80-е годы.

Такой справочник [12] был разработан и выпущен в свет издательством «Машиностроение» в 1986–90-х годах. Его выпуску предшествовала серьезная работа на национальном уровне специализированных подразделений и служб надежности, созданных в 60–70-е годы из молодых специалистов-выпускников университетов и технических вузов гг. Москвы, Ленинграда, Горького, Саратова, Казани, Днепропетровска и других городов, министерствами и ведомствами ведущих отраслей промышленности на разрабатывающих и промышленных предприятиях (в НИИ, КБ, НПО и на заводах) и, в первую очередь, на предприятиях оборонного комплекса. Эти молодые специалисты уже к началу 70-х годов составили основное ядро надежников второго поколения, которые под руководством надежников первого поколения 50-х годов

провели многочисленные исследования и конкретные разработки в области надежности и эффективности создаваемой новой сложной техники.

В созданных подразделениях и службах надежности в 60–70-е годы был развернут широкий фронт работ по вопросам надежности самых различных видов вооружений и военной техники (В и ВТ), а также гражданской продукции, разрабатываемой и выпускаемой приборостроительными, радиоэлектронными и другими предприятиями нашей страны. Следует заметить, что в эти годы около 60% всей гражданской продукции выпускалось либо в оборонном комплексе, либо с его непосредственным участием.

Этот период времени характеризуется интенсивным развитием у нас в стране работ по созданию новых эффективных ракетных систем стратегического назначения, систем для ракетно-космических комплексов, ракет для войск противовоздушной обороны, военно-воздушных сил (классов «земля-воздух», «воздух-воздух», «воздух-земля»), военно-морского флота, сухопутных войск и др., а также новых самых различных видов В и ВТ. Среди основных значимых публикаций этого периода времени по вопросам надежности механических систем и устройств, к которым следует отнести многие из перечисленных видов В и ВТ, можно отметить работы Р.С. Судакова, А.М. Сурина, П.А. Лукьянова, Е.С. Переверзева, И.В. Апполонова, Ю.С. Саратова, С.Л. Федорова, Н.А. Северцева, В.К. Дедкова, В.С. Сафронова, А.И. Фролова, Н.Е. Савушкиной, В.Я. Дзюбы, П.С. Куликова, В.И. Кукушкина, Н.М. Беляева, Д.Д. Никозакова, В.И. Перлика, В.Н. Фоменко, Э.И. Еренбурга, Ю.К. Малюгина, С.Н. Козлова и целого ряда других авторов. Работы перечисленных исследователей были посвящены надежности специзделий механического типа на базе моделей отказов, базирующихся на теории проектирования этих систем, достаточно полно разработанной и экспериментально подтвержденной на тот период времени.

В ходе этих исследований для совершенствования методических подходов механиков-строителей 50–60-х годов показана необходимость значительного усложнения математического аппарата при разработке уточненных моделей отказов, достаточно точно описывающих реальные условия работы специзделий в штатных условиях их эксплуатации или максимально приближенных к ним, путем дополнительного имитационного моделирования на специальных стендах. Предложено при исследовании и количественном анализе изделий и их составных частей (узлов, блоков, устройств и т.д.) использовать методы теории случайных функций и полей, достаточно хорошо разработанных для

практических нужд еще в 50–60-е годы А.А. Свешниковым, В.С. Пугачевым, А.Н. Тихоновым, Б.В. Гнеденко и др.

Выдвинута проблема оценки параметрической и метрологической составляющих надежности, использования априорной информации не только в байесовской постановке и ряд других проблем, характерных для специзделий механического типа.

В целом работы 60–70-х годов по исследованию и количественному анализу надежности специзделий механического типа, так или иначе, в значительной степени были связаны с развитием оборонного комплекса страны и, в первую очередь, с созданием ракетно-ядерного щита в условиях «холодной войны» с западными странами с приоритетной направленностью против США и стран НАТО. Эти работы в значительной степени опирались на концепции надежников-механиков 30–40-х годов (Н.Ф. Хоциалова, Н.С. Стрелецкого, А.Р. Ржаницина и др.) и 50–60-х годов (В.В. Болотина, Я.Б. Шора, В.Е. Зоткина, Г.Б. Черняка и др.), но выполнены на существенно более высоком научном уровне, как в теоретическом, так и в практическом плане.

Основополагающим итогом работ по надежности сложных систем, изделий и технических устройств 60–70-х годов стало то, что наши отечественные образцы вооружения и военной техники по показателям надежности и эффективности стали конкурентоспособными на мировом рынке. Нашу военную технику и сегодня охотно покупают многие страны мира.

Другим важным итогом является разработка и выпуск в 1986–90 гг. 10-томного энциклопедического справочника «Надежность и эффективность в технике» [12], изданного в издательстве «Машиностроение». Справочник разрабатывался под руководством редакционного совета, состоящего из широко известных академиков АН СССР и УССР: В.С. Авдуевского (пред.), В.И. Кузнецова, Н.Д. Кузнецова, В.А. Мельникова, В.П. Мишина, В.Ф. Уткина, К.В. Фролова, Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко, Б.Ф. Ломова, а также д.т.н., проф. Н.А. Северцева, который являлся редактором-составителем одного из проблемных томов, а также заместителем Председателя редакционного совета всего справочника и собрал работоспособный коллектив как для создания всего справочника, так и коллективы редакторов-составителей по всем томам.

Выпуску данного справочника, которым практически закончена большая работа и подведен итог исследований и разработок большого коллектива надежников 60–70-х и первой половины 80-х годов, предшествовало издание большого числа книг, монографий и справочно-методических работ, вклю-

чивших в себя целый ряд докторских и кандидатских работ по надежности. К основным таким публикациям можно отнести работы [6, 7, 9, 13-37 и др.]. Таким образом, к началу 80-х годов теория надежности превратилась в обширное самостоятельное направление прикладной математики, а практика надежности выросла до уровней проблемно-ориентированных программ отдельных предприятий и отраслей промышленности по конкретным видам техники.

Работы по технической диагностике 60–90-х годов XX века и первого десятилетия XXI века и их место в проблематике надежности объектов национального уровня и сложной машиностроительной техники XXI века

Неотъемлемой частью 10-томного справочника по надежности и эффективности в технике можно считать выпущенный в 1989 году самостоятельный справочник «Технические средства диагностирования» [38] под общей редакцией чл.-корр. АН СССР В.В. Клюева.

Российским обществом по неразрушающему контролю и технической диагностике (ОНКТД) совместно с издательством «Машиностроение» на основе данного справочника, а также целого ряда новых разработок по данной проблематике в 2005-2006 гг. выпущен справочник «Неразрушающий контроль» в 8-ми томах под ред. академика РАН В.В. Клюева. Данный справочник содержит практически все наиболее значимые результаты исследований и разработок в этой области за всю вторую половину XX века и начало XXI века. Он включает в себя сведения по основным методам неразрушающего контроля, техническим характеристикам отечественных и зарубежных приборов, технологию их эксплуатации, а также минимальные требования к персоналу неразрушающего контроля.

Исходная информация, содержащаяся в данном восьмитомном справочнике, является чрезвычайно важной и полезной, а во многих практических случаях просто необходимой при количественном анализе надежности самых различных технических систем и устройств на этапах их производства, транспортировки (т.е. оценки технического состояния техники после и (или) во время транспортировки), хранения и эксплуатации. Эта информация также бывает полезна и (или) необходима при проектных оценках показателей надежности техники. Информация, получаемая с использованием средств технического диагностирования может быть полезна (в целом ряде просто необходима) при различных расследованиях причин аварийных ситуаций, возникающих при штатном и (или) нештатном функционировании техники.

Состояние работ по проблематике надежности в 90-х гг. XX века и основные причины их резкого спада на отраслевых, межотраслевых и национальном уровнях, а также крупных предприятиях страны (НИИ, КБ, НПО, заводах).

90-е годы XX века для надежников нашей страны можно считать провальными по причине так называемой перестройки и развала СССР, из-за которых практически перестали существовать специализированные подразделения и службы надежности, повсеместно созданные на разрабатывающих предприятиях (отраслевых НИИ, КБ, НПО) и заводах в 60–70-е годы.

В ведущих отраслях промышленности, в том числе и оборонного комплекса, резко упали объемы производства, из-за чего резко снизилась востребованность работ отраслевых НИИ и КБ. Разорвались научные и деловые связи между коллегами-специалистами по надежности в бывших союзных республиках. Практически перестали издаваться книги, монографии и учебные руководства по надежности техники. Перестал издаваться весьма популярный в 60–80-годы всесоюзный журнал «Надежность и контроль качества», редколлегия которого во главе с акад. АН УССР Б.В. Гнеденко состояла из ведущих специалистов в области теории и практики надежности различной техники.

Перестал функционировать постоянно действующий семинар по вопросам надежности в Московском доме научно-технической пропаганды (МДНТП) при Политехническом музее г. Москвы, которым через Всесоюзное общество «Знание» постоянно издавалась проблемно-ориентированная литература в помощь многочисленным подразделениям и службам надежности разрабатывающих и промышленных предприятий всего СССР. Научным руководителем этого семинара был Б.В. Гнеденко, а руководителем методического кабинета при МДНТП и его душой был всем хорошо известный Я.М. Сорин. В МДНТП в эти годы постоянно читались научные и популярные лекции по основополагающим вопросам теории и практики надежности. Эти лекции читали: Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев, И.А. Ушаков, а также практически весь авторский коллектив справочников по надежности [10,11].

Закончили свое функционирование постоянно действующий семинар по надежности при институте машиноведения АН СССР, возглавляемый акад. АН СССР Н.Г. Бруевичем, на котором обсуждались проблемные вопросы надежности, а также докторские и кандидатские диссертационные работы по данной тематике, секция Научного совета АН СССР по проблеме «Научные

основы технологического обеспечения надежности и ресурса в машиностроении», возглавляемая чл.-кор. АН СССР А.П. Гусенковым, чл.-кор. АН СССР Н.П. Беляниным и д.т.н., проф. И.В. Апполоновым, научный семинар на базе кафедры прикладной математики МГТУ им. Баумана под научным руководством д.т.н., профессора Р.С. Судакова по вопросам механической надежности сложных систем и объектов.

В качестве одного из последних «всплесков» работ по надежности 90-х годов можно считать разработку и выпуск отдельного достаточно объемного (порядка 60 авторских листов) тома по надежности [39] многотомной энциклопедии «Машиностроение». Том базировался в основном на разработках 70–80-х годов и опубликованных в различных издательствах СССР. В томе содержались: общая терминология и методология надежности техники, перспективы развития теории надежности машин, а также особенности количественного анализа надежности различных систем.

При разработке данного тома энциклопедии были также использованы и новые результаты, полученные в 90-х годах, которые изложены в публикациях типа [40-42]. Однако объем таких публикаций резко сократился по сравнению с 80-ми годами по причинам, изложенным выше. На этом можно считать законченной «звездную» работу надежников 2-го поколения. Максимум результатов по ним был получен в основном в 60–70-е годы. А углубление и осмысливание этих результатов пришлось на 80-е годы.

Формирование надежников 3-го поколения пока, к великому сожалению, не состоялось, главным образом, из-за событий 90-х годов. А рождению надежников 3-го поколения, по всей видимости, суждено состояться при решении последующих проблем и задач надежности в рамках межрегиональных, федеральных и международных программ по созданию автоматизированных систем управления процессами создания новой сложной техники с ориентацией на обеспечение необходимых значений показателей надежности (безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости), обеспечивающих безопасность людей, техники, животного и растительного мира, окружающей среды.

Список литературы

1. Хоциалов Н.Ф. Запасы прочности// Строительная промышленность, –1929. –№ 10.
2. Стрелецкий Н.С. Основы статистического учета запаса прочности. –М.: Стройиздат, –1947.
3. Болотин В.В. Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. –М.: Изд-во литературы по строительству, –1971.
4. Болотин В.В. Современное состояние теории надежности и статистической механики конструкций// Проблемы надежности в строительной механике. Материалы ко второй Всесоюзной конференции по проблемам надежности в строительной механике. –Вильнюс, –1968.
5. Когаев В.П. Статистические закономерности усталости металлов/ Докторская диссертация. –М.: Институт машиноведения АН СССР, 1969.
6. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. –М.:Советское радио, –1962.
7. Смирнов Н.В., Большев Л.Н. Статистические таблицы. –М.: Наука, –1969.
8. Шор Я.Б., Кузьмин Ф.И. Таблицы для анализа и контроля надежности. –М.: Советское радио, –1968.
9. Судаков Р.С., Северцев Н.А., Титулов В.Н., Чесноков Ю.М. Задачи обработки сложных систем и таблицы для определения показателей надежности. –М.: Высшая школа, –1975.
10. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. –М.: Изд-во «Сов. радио», –1975.
11. Надежность технических систем: Справочник/ Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др./ Под ред. И.А. Ушакова, –М: Радио и связь, –1985.
12. Надежность эффективность в технике. Справочник в Ют./Ред. совет: В.С. Авдудевский (пред.) и др. –М.: Машиностроение, –1986–1990.
13. Плетнев И.А., Рембеза А.И., Соколов Ю.А., Чалый-Прилуцкий В.А. Эффективность и надежность сложных систем. –М.: Машиностроение, –1977.
14. Червоный А.А., Лукьященко В.И., Котин Л.В. Надежность сложных систем. –М.: Машиностроение, –1976.

15. Апполонов И.В., Северцев Н.А. Надежность невосстанавливаемых систем однократного применения. –М.: Машиностроение, –1977.
16. Волков Е.Б., Судаков Р.С., Сырицын Т.А. Основы теории надежности ракетных двигателей. –М.: Машиностроение, –1974.
17. Апполонов И.В., Северцев Н.А. Основы надежности ракетных двигателей на твердом топливе. –М.: Изд. МО СССР, –1976.
18. Косточкин В.В. Надежность авиационных двигателей и силовых установок. –М.: Машиностроение, –1976.
19. Никозаков Д.Д., Перлик В.И., Кукушкин В.И. Статистическая оптимизация конструкций летательных аппаратов. –М.: Машиностроение, –1977.
20. Бруевич Н.Г., Грабовецкий В.П. Основные направления теории надежности в автоматизированном машиностроении. –М.: Наука, –1965.
21. Волков Л.И., Шишкевич А.И. Надежность летательных аппаратов. –М.: Высшая школа. –1975.
22. Дедковт В.К., Северцев Н.А. Основные вопросы эксплуатации сложных систем. –М.: Высшая школа, –1976.
23. Проников А.С. Надежность машин. –М.: Машиностроение, –1978.
24. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. –М.: Стройиздат, –1978.
25. Екимов В.В. Вероятностные методы в строительной механике корабля. –Л.: Судостроение, –1966.
26. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. –М.: Наука, –1968.
27. Судаков Р.С. Испытания технических систем. –М.: Машиностроение, –1988.
28. Кузнецов А.А. Надежность конструкций баллистических ракет. –М.: Машиностроение, –1978.
29. Апполонов И.В., Северцев Н.А. Методы оценки надежности ракетных двигателей на твердом топливе (РДТТ): Учебное пособие. –М.: МАИ, –1976.
30. Золотов А.А., Титов М.И. Обеспечение надежности транспортных аппаратов космических систем. –М.: Машиностроение, –1988.
31. Рябинин И.А. Основы теории и расчета надежности судовых электроэнергетических систем. –Л.: Судостроение, –1971.

32. Селихов А.Ф., Чижов В.М. Вероятностные методы в расчетах прочности самолета.: –М.: Машиностроение, –1987.
33. Гудрамович В.С., Переверзев Е.С. Несущая способность и долговечность элементов конструкций. –Киев: Наукова думка, –1981.
34. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчеты деталей машин на прочность и долговечность. –М.: –Машиностроение, –1985.
35. Кубарев А.И. Надежность в машиностроении. –М.: –Машиностроение, –1989.
36. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. –М.: Высшая школа, –1988.
37. Трунин С.Ф., Промыслов Л.А., Смирнов О.Р. Надежность судовых машин и механизмов. –Д.: Судостроение, –1980.
38. Технические средства диагностирования: Справочник/ В.В. Ключев, П.П. Пархоменко, Е.В. Абрамчук и др.: Под общей редакцией В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, –1989.
39. Машиностроение. Энциклопедия. Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. т. IV-3. Надежность машин/ В.В. Ключев, В.В. Болотин, Ф.Р. Соснин и др.: Под общей ред. В.В. Ключева. –М.: Машиностроение, –2001.
40. Болотин В.В. Введение в теорию и практику надежности//Конструирование машин. Справочно-методическое пособие /Под общ. ред. К.В. Фролова. Т.2. Под ред. А.П. Гусенкова, А.Ф. Крайнева. –М.: Машиностроение, –1992.
41. Надежность в технике. Научно-технические, экономические и правовые аспекты надежности: Методическое пособие (под ред. В.В. Болотина). МНТК «Надежность машин» ИМАШ РАН, –1998.
42. Гусенков А.П., Нахапетян Е.Г. Методы и средства обеспечения надежности машин. –М.: Наука, –1993.
43. Труханов В.М. Методы обеспечения надежности изделий машиностроения. –М.: Машиностроение, –1995.
44. Щелгунов Г.П. Рост катастроф можно остановить//Надежность и контроль качества и надежности. –1997,–№ 6, – С. 44