

НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ: ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ В ПРИЛОЖЕНИИ К ОРГАНИЗАЦИОННОМУ УПРАВЛЕНИЮ

Ю. В. Долгих, В. Н. Эйтингон

Надежность управленческих систем как область интересов теории управления социальными системами сложилась сравнительно недавно, в силу чего в достаточной мере разработанных теоретических подходов и апробированных методов оценки и обеспечения надежности систем управления, которые могли бы быть подвергнуты серьезному анализу, не существует.

Категория «надежность» возникла в технике. Технический прогресс последовательно ставил задачи обеспечения прочности строительных конструкций и машин, надежной передачи электроэнергии и т. п. Как естественный путь обеспечения надежности рассматривался в то время запас прочности.

В начале 50-х годов XX столетия задачи обеспечения надежности переросли рамки фирм и отраслей. Со стремительным развитием электроники, авиационной и других отраслей эмпирический подход перестал удовлетворять требованиям практики. Возникли предпосылки создания новой научной дисциплины — теории надежности, призванной исследовать и обосновывать методы и приемы, которых следует придерживаться при проектировании, изготовлении и эксплуатации изделий для обеспечения максимальной эффективности их использования. Получило признание научно-техническое направление «надежность техники». В нашей стране выдающаяся роль в этом принадлежит А. И. Бергу, Н. Г. Бруевичу, Б. В. Гнеденко, В. И. Сифорову, Б. С. Сотскову¹

В технической литературе предложено около двадцати определений надежности. Из множества этих определений (среди которых зачастую встречаются и схожие) можно выделить следующие²:

– Надежность является интегральной функцией распределения вероятностей безотказной работы от момента включения до первого отказа.

– Надежностью элемента (или системы) $P(t)$ называется вероятность того, что элемент (или система) не выйдет из строя в течение времени t .

¹ Ретроспективный анализ развития научного направления «надежность техники» представлен в работе Плетнева И. Л., Рембезы А. И. и др. «Эффективность и надежность сложных систем» [20].

² В результате изучения литературных источников [2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 21] в настоящей работе выделены наиболее часто встречающиеся.

– Надежностью системы называется ее способность безотказно работать в течение определенного интервала времени в заданных условиях эксплуатации при минимальных затратах времени на устранение отказов и профилактику.

Под термином «надежность» понимается способность элемента (системы) обеспечивать и сохранять в условиях эксплуатации заданные значения обобщенных координат и передаточного коэффициента в течение определенного отрезка времени в пределах установленных допусков.

В общем случае может использоваться более простое и краткое определение, в рамках которого **надежность рассматривается как свойство объекта, обеспечивающее нормальное выполнение заданных ему функций** [19, с. 109].

Общетеchnическая теория надежности может служить методологической основой для исследования надежности только автономных технических средств, функционирование которых носит скорее детерминированный характер. Тем не менее, на основе системного подхода представляется возможным заимствование ряда положений теории надежности технических систем и их адаптация к общей теории управления.

Развитие представлений о надежности тесно связано со становлением и развитием кибернетики и теории информации. Особенностью кибернетики является изучение и синтез сложных динамических систем, различных по физической природе; она абстрагируется от вещественного содержания систем, стремясь сформулировать общие для них законы организации и информационных связей. С развитием кибернетики в теорию надежности входят новые идеи и принципы, источником которых является кибернетический анализ надежности в живой природе (синтез надежных систем из ненадежных элементов на основе принципа избыточности, исследование свойств кодов обнаружения и исправления ошибок) [1, с. 121; 12, с. 35, 159, 181].

Проблема надежности оказывается тесно связанной с принципиальной применимостью идей и методов кибернетики и родственных ей наук в различных областях знания. Понятие надежности начинает широко использоваться и применительно к общественным системам и их компонентам.

Кибернетическая система — это сложная динамическая система, развивающийся во време-

ни и пространстве целостный объект, состоящий из большого числа элементов и связей и обладающий свойствами, которые отсутствуют у элементов и связей, его образующих [3, с. 38]. В основе ее функционирования лежит информационное взаимодействие между элементами системы и между системой и внешней средой, причем в этих взаимодействиях важную роль играют обратные связи. Сложная динамическая система, рассматриваемая с точки зрения процессов и операций управления, т. е. процессов и операций, переводящих систему из одного состояния в другое и обеспечивающих ее надежность и устойчивость, называется системой управления [15, с. 17].

В зависимости от степени участия человека в реализации управляющих воздействий системы подразделяются на технические, человеко-машинные (эргатические), организационные. К техническим относятся системы, которые функционируют без участия человека. Примерами человеко-машинных (эргатических) систем могут служить автоматизированные системы управления различного назначения: в них человек сопряжен с техническими устройствами, причем окончательное решение принимает человек (ЛПР), а средства автоматизации лишь помогают ему в обосновании этого решения. К организационным системам относятся социальные системы — группы, коллективы людей, общество в целом.

Для того, чтобы определить специфику использования понятия «надежность», принятого для технических систем, для оценки систем эргатических и организационных, необходимо выделить и сравнить особенности каждого из указанных классов систем (см. табл. 1).

В силу особенностей, присущих эргатическим и организационным системам, использовать по отношению к ним стандартное для технических систем определение надежности не удастся. Так, характер функционирования систем класса «человек-машина» предполагает в качестве нормы определенную изменчивость режимов и условий их эксплуатации, обусловленную как динамичностью внешней среды, так и участием человека в контуре управления. Организационные системы, более того, характеризуются способностью к развитию и самоорганизации, что предполагает неизбежное изменение ряда параметров их функционирования, которое не должно рассматриваться при этом как неспособность системы выполнять заданные функции. Таким образом, для этих классов систем наиболее подходящим будет подход, в рамках которого понятие «надежность» должно рассматриваться в широком смысле: **надежность определяется как комплексное свойство системы, обеспечивающее способность последней нормально выполнять заданные функции.**

Таблица 1

Особенности классов систем управления

Класс системы	Особенности
Технические	<ul style="list-style-type: none"> • четко определенная цель управления; • отсутствие человека в контуре управления; • остаточная высокая определенность исходных данных и возможность формализации процессов функционирования с использованием детерминированных или стохастических моделей.
Эргатические	<ul style="list-style-type: none"> • множество частных целей управления, формируемых в зависимости от состояний объектов управления и условий (обстановки); • наличие человека в контуре управления; неопределенность исходных данных и невозможность адекватного описания процессов функционирования с использованием детерминированных моделей; • большое число и разнообразие разнесенных подсистем.
Организационные	<ul style="list-style-type: none"> • возможность самостоятельного формирования целей и способность к самоорганизации и развитию; • необходимость учета в процессе управления политических, социальных и экономических факторов; • высокая неопределенность исходных данных, невозможность прогнозирования всех факторов, влияющих на процессы управления, и сравнительно невысокая эффективность применения математических моделей для принятия управленческих решений; • основная роль человека в принятии решений и организации их выполнения, что определяет субъективный характер процессов управления и связанные с этим ошибки при формировании целей и расходовании ресурсов; • большое число и разнообразие связей и отношений между органами управления и отдельными руководителями, отсутствие четких границ между управляющей системой и объектами управления, имеющими сложную иерархическую структуру.

Современные организации представляют собой определенный синтез систем всех трех указанных классов и рассматриваются как социотехнические системы, что позволяет использовать введенное определение надежности в том числе и по отношению к системам управления такими организациями.

В процессе функционирования любой системы, независимо от того, к какому классу она относится, можно выделить две составляющие — нормативную и реализационную. Нормативная компонента выражает должествование, а реализационная — существование объекта. То качество (свойство, способность) объекта, которое обеспечивает соответствие реального функционирования нормативному, иначе говоря — соответствие между существованием и должествованием, и есть его надежность. Функционирование надежной системы должно характеризоваться сохранением основных ее характеристик в установленных пределах. Другими словами это означает, что действия такой системы направлены на минимизацию отклонений ее текущего состояния от некоторого заданного идеала или цели. Значит, первое и основное требование к эффективному управлению есть **надежность как свойство, обеспечивающее соответствие процесса функционирования системы норме**. Несоответствие, возникновение которого в сложных системах носит вероятностный характер, трактуется при этом как ошибка. Уменьшение числа и величины ошибок в значительной степени характеризует, насколько эффективно и надежно управление.

Очевидно, системы, принадлежащие разным классам, способны справиться с подобной задачей с различной степенью успеха. В первую очередь это зависит от степени сложности и предсказуемости поведения системы. Нельзя исключать, конечно, и влияние внешних параметров.

Большинство организаций характеризуется сложной внутренней структурой каждая из них вынуждена действовать в условиях стремительно меняющейся среды. Более того, внутреннее состояние организации носит неопределенный характер в силу того, что основу ее составляют люди, действия которых зависят от множества факторов, в том числе неподдающихся контролю. В итоге от системы перестают требовать оптимальных значений «выходных» параметров, удовлетворяясь допустимыми, эффективность теряет связь с оптимальностью и становится все более связанной с гарантированностью и надежностью. Возможность и области применения понятия надежность при определении эффективности функционирования социально-экономических систем в значительной степени обусловле-

ны характером и особенностями организации управления ими.

Ключевым для осмысления свойств и механизмов поведения систем управления является понятие **цели**. Указания на нее содержатся как в определении системы, так и в определении управления. В наиболее общем смысле **управление представляет собой целенаправленное воздействие на объект для изменения его состояния или приведение его в соответствие с изменяющимися условиями**. Цель можно определить как конкретное представление о будущем, результате, способном удовлетворить исходную потребность при имеющихся реальных возможностях [6, с. 42]. По отношению к системе цель может рассматриваться как желаемое состояние ее выходов, т. е. некоторое значение или подмножество значений ее функций.

Особенностью систем управления является специфический характер связи между функцией и целью: в качестве функции системы управления следует рассматривать установление и обеспечение достижения системой определенных целей в соответствии с изменяющимися обстоятельствами. При этом недостижение цели свидетельствует о неправильном функционировании системы, т. е. о невыполнении системой управления своей основной функции. Такая связь функции и цели системы управления позволяет предположить, что о ее надежности наиболее полно можно судить по тому, в какой мере эта система оказывается способной достичь поставленные перед ней цели.

Жизнедеятельность систем управления определяется двумя процессами:

- функционированием, когда элементы системы, ее структура и функции остаются в рассматриваемом интервале неизменными и стабильными;
- развитием или увяданием, когда происходят качественные изменения системы.

В самом общем смысле управление представляет собой определенный тип взаимодействия между субъектом и объектом управления, которое характеризуют два момента:

- субъект направляет объекту импульсы взаимодействия, которые содержат информацию относительно того, как он должен функционировать в дальнейшем (управленческие команды);
- объект функционирует в соответствии с содержанием данных команд.

Оптимальное управляющее воздействие при этом определяется исходя из величины отклонения текущего состояния системы от заданного в виде конкретной цели. В любой современной организации возникновение таких отклонений происходит постоянно. С одной стороны, это

объясняется динамичностью внешней среды, а с другой — сложностью определения состояния и вероятностным характером поведения самого объекта управления.

Состояние объекта управления может быть описано как зависимость от вектора внешних воздействий f , вектора управления u и функциональной связи между ними и вектором состояния x , зависящей от динамических свойств объекта. Вектор внешних воздействий, равно как и динамические свойства объекта, представляют собою независимые, или неконтролируемые, факторы. Единственный фактор, находящийся под контролем, — вектор управления. Поэтому основная проблема управления может быть сформулирована следующим образом: найти такой вектор управления u , чтобы обеспечить достижение цели. В самом широком смысле она может быть определена путем описания идеального режима функционирования объекта. В связи с тем, что описание сложных объектов и систем основывается на использовании большого количества параметров, цель управления может иметь различную формулировку. Однако достаточно часто она сводится к поддержанию на конечном интервале времени экстремума функционала E , называемого показателем цели управления, в который могут входить все рассмотренные выше векторные переменные:

$$E_y[x, y, f, t] = \text{extremum}, \quad (1)$$

где x — вектор состояния объекта; y — вектор управления; f — вектор внешних воздействий; t — время.

Учет в модели неконтролируемых факторов (изменений свойств объекта и внешних воздействий), наряду с ограниченностью информации, определяет объективную недостижимость системой оптимального состояния. В реальных системах управления речь может идти лишь о приближенной реализации алгоритма оптимального управления.

В обеспечении надежности систем управления весьма существенна роль гомеостатических механизмов. Гомеостатика изучает механизмы управления системами, которые обеспечивают поддержание жизненно важных для систем параметров в допустимых пределах, влияние внутренних противоречий на процессы функционирования и развития систем. Область интересов гомеостатики составляют принципы организации устойчивых систем из двух или более антагонистов (противоположностей), методы и условия их объединения в устойчивые системы, а также условия разрушения устойчивой системы и последствия такого разрушения [10, с. 223].

Специальную задачу составляет поддержание надежности, устойчивости систем в процес-

се их развития. Под развитием понимается необратимое, направленное, закономерное изменение системы. В результате развития изменяется не только структура системы, но и ее поведение, функционирование.

В развитии системы есть факторы планомерные и спонтанные [18, с. 18, 23]. Управление стремится увеличить влияние первых и снизить — вторых. Однако нарастание темпов и разнообразия изменений среды, а также сложность внутренних процессов позволяет рассматривать развитие социально-экономических систем, в том числе и как действие скрытых причин, деформирующих влияние планомерных факторов.

Между режимами стабильности и развития лежит период перехода на новую систему ценностей и целей. За этим стоят новые правила игры, критерии оценок, новые технологии управления и т.д. Отсюда вытекает следующая задача надежной деятельности системы управления: научиться воздействовать на движение системы так, чтобы привести ее в требуемое состояние. Качественный характер изменений, происходящих в системах в процессе развития, определяет сложность надежного управления этими процессами.

Способность системы обеспечить достижение поставленных целей в значительной мере определяется тем, в какой мере процессам управления присущи свойства **устойчивости, оперативности, адаптивности, непрерывности**, как они сочетаются между собой.

Устойчивость — свойство процесса управления сохранять и восстанавливать свое качество в условиях внешних и внутренних возмущений.

Оперативность — свойство процесса управления обеспечивать завершение цикла управления в требуемые сроки.

Устойчивое управление всегда оперативно, обратная же зависимость проявляется не всегда: это объясняется возможностью недостижения нужного качества решения, несвоевременностью доведения решений до исполнителей, искажением информации по вине средств и способов управления.

Адаптивность — способность изменять формы и методы управления в зависимости от обстановки. Она возможна, если система управления способна менять по обстановке свою структуру и правила (алгоритмы) действий. Адаптивность — одно из необходимых, но недостаточных условий надежности: система управления может изменять и формы, и методы, но не достигать желаемых результатов из-за некачественных решений, запаздывания решений и т.п. — из-за всего, что не обеспечивает устойчивости управления.

Непрерывность — свойство (способность) процесса управления не допускать перерывов между последовательно выполняемыми этапами (фазами) процесса, приводящих к снижению качества управления. Непрерывность — свойство, непретендующее на оценку качества решений или управления, однако, оно является необходимым условием надежности управления, в то время как устойчивость — одно из достаточных условий.

Управление в сложных системах ориентировано на **устранение отклонений**, возникающих на различных уровнях. Отклонения, обусловленные невозможностью реальных организаций действовать в режиме оптимального управления, являются важнейшей характеристикой их надежности (ненадежности). Минимизация отклонений выступает при этом как основная задача управления системой. Особенностью управления в социально-экономических системах является то, что в подавляющем большинстве случаев оно ориентировано не на полное погашение отклонений (выполнение этой задачи в современных условиях крайне затруднительно), а на поддержание колебаний некоторых выходных параметров в пределах, не угрожающих системе потерей устойчивости и разрушением.

О надежности всей системы управления наиболее полно можно судить на основании величины отклонения ее текущего состояния от поставленных перед ней целей. Достаточно общей характеристикой является также разница между целями, которые могли бы быть достигнуты в случае реализации алгоритма оптимального управления, и значением показателя целей, которое обеспечивается реальной системой.

Таким образом, характеристика управления в части надежности предполагает оценку системы в двух основных направлениях:

- изучение отклонений, актуальность рассмотрения которых в каждом конкретном случае обусловлена показателями, применяемыми для формулирования основной проблемы и задач управления на определенном уровне системы;
- анализ отклонений, учитывающий многопараметрический характер критерия управления, используемого системой в целом и каждым ее элементом в отдельности.

При этом в качестве основы для построения системы показателей, способных охарактеризовать надежность, следует использовать отклонения, характер которых непосредственно связан со спецификой деятельности объекта. Для более детальной оценки свойств системы ее надежность может оцениваться, в том числе и с позиции отдельного типа управления: программного, следящего, адаптивного и экстремального.

Комплексный подход к исследованию надежности управления организацией определяет принципы, в соответствии с которыми должна строиться система показателей, позволяющих оценивать это качество. Очевидно, что некоторые особенности набора таких показателей будут определяться относительно неопределенным характером поведения социально-экономических систем.

Социальные организации имеют нормативный характер, т. е. сознательно создаются людьми для достижения определенных целей и по минувании надобности ликвидируются. Но в действительности нормативный аспект может занимать в организациях самое различное положение: от незначительного до доминирующего. Известно, что после того, как организация создана, несмотря на мощные средства, удерживающие ее в рамках нормативной конструкции, она нередко сама определяет свои цели, интерпретируя предъявленные к ней требования как ограничения. Наряду с нормативными процессами, существенное значение имеют неконтролируемые или слабо контролируемые процессы. Кроме того, организации являются труднонаблюдаемыми объектами — многие их процессы ненаблюдаемы непосредственно, о них можно судить только по косвенным признакам, допускающим различные толкования.

Сложность определения текущего состояния реальных систем увеличивается, если учитывать при комплексном анализе влияние, которое оказывают на них изменения внешнего окружения. Возмущения такого рода могут иметь различные последствия для системы в зависимости от ее характера: в одном случае система может работать в режиме непрерывных колебаний, в другом — колебания могут возрастать до тех пор, пока система не разрушится. Надежная же система характеризуется тем, что реализуемое в ней управление способно обеспечить снижение амплитуды колебаний вплоть до полного их исчезновения.

Причины возникновения колебаний в деятельности социально-экономических систем различны. Источником возмущений чаще всего выступают внешние или внутренние изменения, которые не поддаются контролю со стороны системы управления. Таким образом, организация не может заранее предусмотреть меры по их устранению либо определить мероприятия, позволяющие избежать возникновения колебаний. В итоге функционирование системы управления сопровождается постоянными отклонениями фактических величин ряда параметров от их значений, определяемых в качестве цели управления.

Особенность определения отказа или ошибки в рассмотренной ситуации заключается в том,

что наиболее часто для его регистрации в социально-экономических системах используется не сам факт, появления отклонения на определенном уровне, а «выход» в некоторый момент абсолютного значения этого отклонения за границы, определяющие область допустимых колебаний.

Очевидным недостатком такого подхода является то, что для оценки системы используется информация лишь о двух возможных состояниях: нормальном функционировании и отказе (ошибке). Даже по отношению к сравнительно простому техническому устройству такое описание процесса представляется не вполне точным. Для сложных же систем оказывается весьма затруднительным сформулировать даже само понятие отказа. Дело в том, что большинство современных сложных систем имеет определенную структурную избыточность (например, резервные цепи), позволяющую системе продолжать функционирование после выхода из строя отдельных элементов и даже их совокупностей. Система начинает функционировать с худшими качественными показателями, однако это ухудшение может происходить столь постепенно, что четко сказать про некоторые переходные состояния не представляется возможным [19, с. 114] «система отказала» или «система работает нормально».

В системах управления социально-экономическими организациями, являющимися, несомненно, сложными системами, отказы, возникающие на разных уровнях управления, чаще всего носят не критический характер для жизнеспособности организации. Существенное отклонение отдельных характеристик от нормативных значений можно рассматривать в этом случае как результат накапливающегося негативного воздействия последовательно или одновременно возникающих на разных уровнях системы отказов. Основными последствиями отказов является снижение целевой эффективности объекта при постоянном или снижающемся уровне экономической эффективности.

Таким образом, надежность систем следует рассматривать в тесной связи с их способностью обеспечить безошибочность и безотказность в процессе управления. Надежность должна обеспечивать соответствие процедуры функционирования системы определенной норме, а наиболее простым и наглядным показателем надежности (ненадежности) может считаться величина отклонения значений параметров, отражающих текущее состояние системы, от значений, которые использовались при определении цели.

В результате оценки надежности управления реальными организациями могут быть выявлены не только частные проблемы обеспечения надежного функционирования системы управления в

целом, а также отдельных ее подразделений, но и место и причины их возникновения. Необходимость в таком анализе определяется тем, что любая ошибка или отказ непременно приводят к возникновению дополнительных затрат на устранение последствий ненадежной деятельности. В большинстве современных социально-экономических систем деятельность и объекта, и субъекта управления характеризуется многоэтапностью, ошибки, возникающие на одном из этапов, в дальнейшем могут значительно усиливаться, обуславливая рост связанных с ними потерь. Более того, в случае недостаточной надежности системы управления последствия даже незначительной ошибки могут, в конечном счете, привести организацию к разрушению.

Для повышения надежности систем управления большое значение имеет определение и устранение «узких мест» в каждом из ее элементов.

Результатом комплексной оценки надежности системы управления в реальной организации должно стать определение уровней и направлений деятельности управляющей системы, основных ее элементов, которые характеризуются, с одной стороны, недостаточной надежностью, а с другой — значительными дополнительными затратами, связанными с устранением последствий ошибок и отказов, влияние которых распространяется на всю организацию. Проблема недостаточной надежности в рамках каждой из таких областей может быть решена с помощью стандартных механизмов обеспечения безотказности работы, применение которых в сфере управления обосновано в первую очередь по отношению к процессам планирования и организации выполнения планов.

Если искать общие способы повышения надежности, то таким способом пока является только избыточность. Моделирование избыточности на всех уровнях регулирования систем не всегда оправдано с точки зрения технической, организационной и экономической целесообразности. Для социально-экономических систем в рамках выбора одного из альтернативных вариантов возникает задача оценки и сравнения, с одной стороны, потерь, связанных с устранением последствий отказов, а с другой — затрат на реализацию механизмов обеспечения надежности. Тем не менее реализация принципа избыточности является наиболее важным фактором достижения достаточной надежности.

Анализ сложившихся к нынешнему времени представлений убеждает в справедливости утверждения, что адекватной теории надежности для социально-экономических систем не создано. Важными задачами ее формирования должны стать:

– разработка (уточнение) категориального аппарата;

– установление границ и определение особенностей применения понятия надежность по отношению к:

- субъекту и объекту управления,
- различным стадиям жизнедеятельности системы управления,
- режимам функционирования и развития организации,

– изучение взаимосвязи надежности с такими категориями, как качество и эффективность систем организационного управления,

- исследование факторов, определяющих надежность,

• разработка методического подхода к мониторингу, анализу и оценке надежности,

- исследование применимости известных и разработка новых механизмов обеспечения надежности организационных систем управления.

Особенно важно наращивание опыта оценки надежности конкретных организаций и систем управления ими. Даже при несовершенстве методики такой оценки накопление практических данных способствовало бы ускорению продвижения и в области теоретических изысканий.

Литература

1. Астафьев А. К. Надежность живых систем // Вопросы философии. — 1967 — № 6. — С. 121—130.
2. Базаровский И. Надежность. Теория и практика. — М.: Мир, 1965. — 332 с.
3. Берг А. И. Кибернетика и надежность. — М.: Наука, 1964, 96 с.
4. Губинский А. И. Надежность и качество функционирования эрратических систем. — Л.: Наука, 1982. — 270 с.
5. Епифанов А. Д. Надежность систем управления летательными аппаратами. — М.: Машиностроение, 1975. — 180 с.
6. Исследование систем управления: Учебник. — М.: Экзамен, 2002. — 384 с.

7. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. — М.: Мир, — 1980. — 279 с.

8. Князев В. Н. Основы теории надежности. М.: 1971 — 216 с.

9. Ллойд Д., Липов М. Надежность. Организация исследования, методы, математический аппарат. — М.: Советское радио, 1964. — 234 с.

10. Миротин Л. Б., Ташыбаев Ы. Э. Системный анализ в логистике: Учебник. — М.: Экзамен, 2002. — 480 с.

11. Надежность в машиностроении: Справочник / Под общ. ред. В. В. Шашкина, Г. П. Карзонова. СПб.: Политехника, 1992. — 719 с.

12. Надежность и гомеостаз биологических систем биологических систем: Сб. науч. тр. — Киев: Наукова думка, 1987 — 192 с.

13. Надежность и эффективность в технике: Справочник. Т. 7: Качество и надежность в производстве / Под ред. И. В. Апполонова. — М.: Машиностроение, 1989. — 280 с.

14. Половко А. М. Основы теории надежности. — М.: Наука, 1964. — 448 с.

15. Пушкин В. Г. Проблема надежности. (Философский очерк). — М.: Наука, 1971. — 218 с.

16. Советский энциклопедический словарь / Гл. ред. А. М. Прохоров. — М.: Сов. энциклопедия, 1985. — 1600 с.: с ил.

17. Соколов В. Г. Смирнов В. А. Исследование надежности и гибкости экономических систем. Новосибирск, 1990. — 253 с.

18. Тахтаджян А. Л. Принципы организации и трансформации сложных систем. Эволюционный подход. — СПб: СПХФА, 1998. — 118 с.

19. Ушаков И. А. Основные принципы и методы теории надежности // Вопросы философии. 1967 — № 6. — С. 108—119.

20. Эффективность и надежность сложных систем. — М.: Машиностроение, 1977 — 216 с.

21. Эффективность и надежность человеко-машинных систем принятия решений: Сб. науч. тр. — Киев: ИК АН УССР, 1983. — 100 с.