

Научная статья
УДК 533.6.05
EDN VERLPT
DOI 10.17150/2713-1734.2026.8(2).155-166



И.И. Тихий

*Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Российская Федерация*

А.И. Тихий

*Байкальский государственный университет,
г. Иркутск, Российская Федерация*

Системный анализ и синтез структурных основ управления состоянием технических объектов

Аннотация. В работе предлагаются решения важной научно-практической задачи структуризации инженерной деятельности, суть которой составляет управление состоянием технических объектов. Решения основываются на использовании методологии системного анализа, отдельные положения которой адаптированы к особенностям исследуемой проблемы. Управление состоянием представлено в виде системы с различными структурными формами реализации процесса управления. Формы определяются структурными признаками, отличающимися общностью представления, целями, содержанием, временем и порядком проведения мероприятий по управлению состоянием. Даны классификации технических объектов исходя из структуры, методов и задач управления их состоянием. Определены направления дальнейшей систематизации исследуемой проблемы.

Ключевые слова. Инженерная деятельность, системный анализ, технический объект, состояние технического объекта, управление состоянием технического объекта, система и процесс управления состоянием, структура, структурный признак.

Информация о статье. Дата поступления: 11 февраля 2026 г.; дата принятия к публикации: 15 мая 2026 г.; дата онлайн-размещения: 29 июня 2026 г.

Original article

I.I. Tikhii

*Irkutsk State Transport University,
Irkutsk, Russian Federation*

A.I. Tikhii

*Baikal State University,
Irkutsk, Russian Federation*

Systems Analysis and Synthesis of Structural Foundations for Managing the State of Technical Objects

Abstract. This paper proposes solutions to an important scientific and practical problem: structuring engineering activities, the essence of which is managing the condition of technical objects. The solutions are based on the use of systems analysis methodology, certain provisions of which are adapted to the specifics of the problem

under study. Condition management is presented as a system with various structural forms for implementing the management process. These forms are defined by structural features that differ in their common presentation, goals, content, timing, and procedure for implementing condition management activities. Classifications of technical objects are provided based on their structure, methods, and objectives for managing their condition. Directions for further systematization of the problem under study are identified.

Keywords. Engineering activity, systems analysis, technical object, state of a technical object, state management of a technical object, state management system and process, structure, structural feature.

Article info. Received 11 February, 2026; Accepted 15 May, 2026; Available online 29 June, 2026.

Введение

Одновременно с разработкой сложных технических объектов различного типа и назначения возникает важная проблема обеспечения их эффективного применения в соответствии с назначением. Очевидно, что способность технического объекта выполнять заданные функции зависит от состояния (исправное, неисправное, готовое к применению и т.д.), в котором он находится. Следовательно, указанная проблема решается с целью и путём приведения технического объекта в состояние, при котором он способен выполнять заданные функции с требуемой эффективностью.

Комплекс мероприятий, направленный на достижение обозначенной цели, объединяется общим наименованием *управление состоянием технических объектов*, и составляет основное содержание всей инженерной деятельности [1].

В настоящее время достаточно полно разработаны теоретические и прикладные основы управления состоянием, которые реализованы в нормативно технической документации, регламентирующей инженерную деятельность на различных стадиях жизненного цикла технических объектов. Вместе с тем эти знания не объединены общей структурой и, кроме того, имеются несоответствия в системе понятий для различных научных школ, что существенно снижает эффективность функционирования самой системы управления состоянием технических объектов. На существование этой проблемы неоднократно указывалось в работах многих современных учёных, в частности, сотрудников НИИ эксплуатации и ремонта авиационной техники (г. Люберцы) [2; 3].

Актуальность проблемы разработки структурных основ управления состоянием технических объектов на основе систематизации знаний в инженерных науках обусловлена несколькими аспектами, а именно:

– в *теоретическом* аспекте: развитие научных основ инженерной деятельности путём объединения отдельных знаний в систему приводит, в соответствии со свойством *эмерджентности* этой системы, к получению новых знаний (в теории систем — на-

личие у системы свойств, не присущих её компонентам по отдельности; несводимость свойств системы к сумме свойств её компонентов) [4, с. 427];

– в *прикладном* аспекте: совершенствование организационной составляющей комплексной системы управления состоянием на всех стадиях жизненного цикла технических объектов за счёт разработки и использования нормативно технической документации на основе единых терминов и понятий;

– в учебно-образовательном аспекте: совершенствование системы обучения инженерным и связанным с инженерными специальностям за счёт системного преподавания учебных дисциплин [5].

Основная часть

Для разработки структурных основ управления состоянием технических объектов (УСТО), как общего прикладного научного направления, целесообразно использовать методологию системного анализа (системный подход) как наиболее эффективного средства решения сложных научных задач [6; 7]. Перед её применением к исследуемой проблеме вначале необходимо определиться с такими основными понятиями системного анализа как **система** и **структура** системы. Необходимость такого определения вызвана логикой научных исследований, требующей уточнения общих философских понятий на конкретную предметную область.

Исходя из изложенного, при исследовании проблемы управления состоянием ТО под **системой** будет пониматься *совокупность взаимосвязанных по определённому принципу элементов, обособленная от окружающей среды и взаимодействующая с ней*.

При этом, **структура** (как термин) этой системы является *описанием элементов, порядка их расположения в системе и принципа объединения в эту систему, при которых обеспечивается целостность объекта и его основные свойства*. Принцип (порядок) объединения элементов в систему формируется на основе *системообразующего признака*. В частном случае, когда процесс образования систем информации носит название *классификация*, используется термин *классификационный признак*.

Сформулируем, также применительно к исследуемой проблеме, основные **принципы системного подхода**, которые будут использоваться в данной работе.

1. Так как система управления ТО определена как *открытая система*, её внутренняя структура должна формироваться с учётом физического и информационного воздействия окружающей среды. В частности, определение используемых терминов должно проводиться в общей системе философских понятий.

2. Один и тот же предмет исследований может быть описан системами с различной структурой, для которых системообразую-

щие признаки различаются по общности и принципам классификации. При этом системы формируются последовательно от более общих к частным, а частные включаются в структуру общей системы в качестве подсистем.

3. Исследование эффективности функционирования сформированных систем осуществляется путём выявления действующих на них ограничений и синтеза способов и средств снижения их числа и уровня воздействий.

Рассмотрим вначале структуру УСТО как наиболее общей системы: *объект* — *предмет* деятельности (такое представление получило широкое распространение в научных исследованиях).

Очевидно, что *объектом* инженерной деятельности является *техника* во всём её разнообразии, представленная совокупностью *технических объектов* (ТО) — *материальных объектов искусственного происхождения, предназначенных для выполнения определённых функций*.

Сущность предмета в философии — это его внутреннее содержание, совокупность определяющих свойств, без которых вещь не может быть собой [8]. Для технического объекта *сущность* выражается в *способности выполнять заданные функции* в соответствии с его предназначением. Эту способность определим как *сущностное свойство* технического объекта, являющееся совокупностью определяющих свойств, которая будет систематизирована и приведена в дальнейшем изложении.

Понятие *технический объект* в процессе управления его состоянием используется с различной *степенью общности* применительно:

- ко всей совокупности объектов техники;
- к совокупности объектов данного типа (типовой ТО);
- к единичному объекту.

Общее понятие — *технический объект*, используется в научных исследованиях для описания общих законов, принципов, методов и т.д. обеспечения функционирования ТО, например, для установления стадий *жизненного цикла* (фаз существования) ТО.

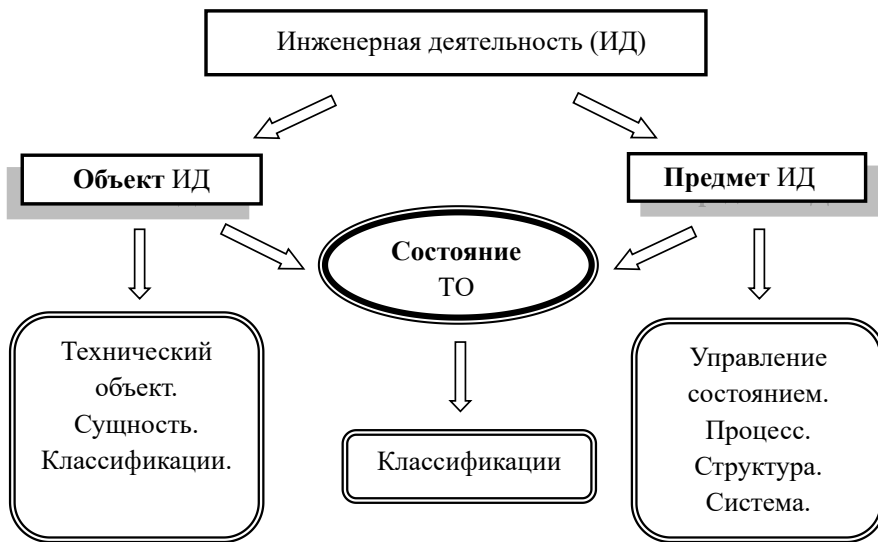
Эффективность функционирования *типового ТО* оценивается по совокупности результатов функционирования *объектов данного типа*. В то время, как мероприятия по обеспечению эффективного функционирования проводятся на конкретных *единичных* ТО. Так, например, регламентные работы на конкретном ТО проводятся с периодичностью, определённой по данным эксплуатации парка ТО данного типа.

Для определения *предмета инженерной деятельности* необходимо исходить из практически обоснованного утверждения о том, что способность ТО выполнять заданные функции зависит от *состояния*, в котором он находится: исправное, неисправное, готовое

или не готовое к применению и т.д. (Понятие *состояние ТО* здесь используется в общепринятом смысле, более строгое его определение будет дано позднее). Из приведенного утверждения следует, что разработка и проведение мероприятий по *приведению технического объекта в состояние, при котором он способен выполнять заданные при его создании функции с требуемой эффективностью*, составляют *предмет* и основное содержание инженерной деятельности.

Сам процесс приведения ТО в требуемое состояние, или, другими словами, перевод из текущего состояния в требуемое, по своей сути является процессом *управления состоянием технического объекта*.

Исходя из изложенного и целей настоящего исследования, общую структуру предметной области представим в виде рис., и рассмотрим её более подробно начиная с управления состоянием ТО, как предмета инженерной деятельности.



Структура предметной области

Структуру процесса управления состоянием составляет комплекс мероприятий *научного, методического, организационного и технического типа*, осуществляемых на всех стадиях жизненного цикла ТО.

В самом общем виде эти мероприятия характеризуются следующим образом:

– *научные мероприятия объединяют в себе работы по достижению новых и (или) более высоких уровней свойств ТО:*

– *методические* мероприятия направлены на совершенствование технологий проектирования, испытаний, производства, обслуживания и ремонта ТО;

– *организационные* мероприятия определяют последовательность и управление процессом приведения ТО в требуемое состояние:

– *технические* мероприятия включают в себя непосредственное выполнение работ по обеспечению функционирования ТО.

Процесс управления состоянием ТО реализуется соответствующими *системами управления состоянием ТО*. Эти системы и реализуемые ими процессы классифицируются по периодам существования ТО, которые в научно-технической литературе принято называть *стадиями жизненного цикла*. При этом различают следующие виды систем:

– *комплексная* система, обеспечивающая решения задач управления состоянием в течение всего периода существования ТО;

– *отдельные* системы управления состоянием на стадиях:

– проектирования, *задающие* требуемые уровни свойств ТО;

– государственных испытаний, *контролирующие* требуемые уровни свойств ТО;

– производства, *обеспечивающие* требуемые уровни свойств ТО;

– эксплуатации; заводского ремонта; хранения и транспортировки, как системы *поддержания* свойств ТО на требуемом уровне;

– утилизации (в настоящее время эти системы крайне востребованы, особенно в области военной техники, морского транспорта, энергетики).

Исходя из *целей и содержания* проводимых мероприятий *структура* процесса управления состоянием ТО может быть представлена тремя основными этапами:

– определение вида состояния ТО;

– анализ данных и выработка решения на управление состоянием;

– проведение мероприятий в соответствии с принятым решением.

Процессы на этапе определения вида состояния также исходя из *целей* проводимых мероприятий могут быть классифицированы как:

– *контроль* (определение состояния ТО в целом);

– *диагностирование* (определение состояния отдельных частей ТО);

– *испытания* (комплексное определение состояния ТО по множеству объектов, их свойств и экспериментов);

– *прогнозирование* (определение состояния ТО в будущем);

– *ретроспективное диагностирование* (определение состояния ТО в прошлом);

Относительно названия процесса определения состояния в прошлом необходимо отметить, что в технике нет единого устояв-

шегося термина, его обозначающего. В некоторых случаях, например, используются понятия *техническая генетика* или *восстановление* вида состояния, предшествующего исследуемому событию (при расследовании лётных происшествий).

Структура процесса УСТО представлена в самом общем виде, структура отдельных этапов подлежит разработке в рамках последующих исследований.

Процесс управления состоянием ТО осуществляется различными *способами*, которые определяются структурой самого объекта. В свою очередь, вся совокупность объектов техники может быть классифицирована по этим способам на следующие виды:

- *технические изделия(элементы);*
- *технические системы;*
- *технические комплексы;*
- *организационно-технические системы;*
- *эргатические системы;*
- *информационно-технические системы;*
- *большие системы.*

Предлагаемая классификация одновременно различает ТО по мере нарастания их сложности. Дадим краткие пояснения к ней.

В начале классификации приведено разделение всех технических объектов на *системы* и *изделия*, как элементы этих систем. Такой подход принят в нормативно технической документации, например в ГОСТ по надёжности в технике и обусловлен различием в видах определяемых состояний: или это состояние всего ТО, или же состояния отдельных его частей¹.

К *технической системе* применяется определение понятия *система*, приведенное выше.

Технические комплексы отличаются от технических систем тем, что они состоят из некоторого числа подсистем, построенных на различных физических принципах функционирования. Примерами могут служить комплексы бортового оборудования современных летательных аппаратов, включающих в свой состав механические, гидравлические, пневматические, электрические и другие системы, интегрированные на основе единых вычислительных ресурсов (ИКБО).

Такие комплексы обладают свойством эмерджентности. Оно проявляется в том, что повышение эффективности (по критериям надёжности) управление состоянием таких комплексов может быть обеспечено реализацией принципа их *отказоустойчивости*, который предполагает выявление отказов в комплексе по резуль-

¹ ГОСТ Р 27.102-2021. Надёжность в технике. Надёжность объекта. Термины и определения : утв. и введен в действие Приказом Росстандарта 8 окт. 2021 г. № 1104-ст // СПС «КонсультантПлюс».

татам диагностирования и его восстановление за счёт введённой избыточности различного вида.

Способы управления состоянием **организационно-технических** систем отличаются тем, что объединяют мероприятия по обеспечению эффективного функционирования не только технической, но и организационной части системы. Эти мероприятия включают: проведение работ по обслуживанию и ремонту ТО, обеспечение внешними ресурсами, разработку и совершенствование нормативно технической документации, обеспечение требуемого уровня квалификации персонала и др.

Особенностью управления состоянием **эргатических** систем (систем «человек-машина»), помимо обеспечения требуемого уровня свойств *машины* и уровня квалификации *оператора*, является проведение мероприятий по приспособлению машины к возможностям оператора, а также совершенствование среды их взаимодействия. (Эти вопросы изучаются в рамках прикладной науки — эргономика).

Информационно-технические системы выделены в отдельную классификацию по той причине, что эффективность их функционирования определяется не только возможностями используемой вычислительной техники, но и качеством соответствующего алгоритмического и программного обеспечения решения задач.

Большие системы являются наиболее сложными, разветвлёнными системами и включают в свой состав все виды технических объектов из приведенной классификации и, соответственно, все способы управления их состоянием. Примерами таких систем являются энергетические, транспортные системы, системы испытаний авиационной техники и т.д.

Задачи решаемые в рамках проблемы управления состоянием технических объектов могут быть классифицированы как **сложные научные задачи** прикладного характера. Порядок решения этих задач может быть обобщён и использован в качестве структурного признака в системном анализе исследуемой проблемы УСТО.

Этот структурный признак основывается на одном из постулатов системного анализа — *решение прикладной (и не только) задачи требует её представления в виде определённых **форм** или **моделей***. Эти формы различны и служат для перехода от одного этапа решения задачи к другому. Так, большинство инженерных задач формулируются с использованием принятой **системы понятий** (концептуальной модели) на качественном (физическом) уровне, решаются на количественном уровне путем применения математических моделей, а для оценки результатов расчётов вновь переходят на качественный уровень.

Исходя из изложенного, *структуру* процесса управления состоянием технических объектов как *сложной научной практической* задачи составляют следующие **этапы**.

1. Определение целей исследования и условий их достижения (комплекса исходных данных);
2. Формулировка задач исследования в выбранной системе понятий (концептуальной модели).
3. Составление физических моделей различного уровня общности.
4. Анализ моделей и выбор метода решения задач, разработка методик детализация их до уровня алгоритмов
5. Переход к количественным (математическим) моделям и постановка задач в терминах и обозначениях этих моделей.
6. Решение задач вычисления количественных значений параметров моделей.
7. Анализ результатов и оценка степени достижения поставленных целей.

Приведенные этапы хорошо согласуются с процедурой принятия решения, принятой в системном анализе [9, с. 301.].

Продemonстрируем приведенную классификацию на примере решения задач в научной дисциплине «Строительная механика».

Вначале определяется *цель*: обеспечение надёжности функционирования строительных конструкций в условиях действия силовых нагрузок.

Свойство *надёжность* в механике разделяют на частные свойства: *прочность*, *жёсткость* и *устойчивость*. В соответствии с этим, заявленная цель достигается путём решения задач обеспечения этих трёх частных свойств.

Общая модель (физическая) решения указанных задач основана на определении понятий прочность, жёсткость и устойчивость как *способности сопротивляться* действующим нагрузкам без соответственно: разрушения, деформации и изменения формы первоначального равновесия. Эти последствия не наступают, если приложенные к конструкции нагрузки *уравновешиваются* действием внутренних сил сопротивления материала конструкции.

Внутренние силы определяются по *методу сечений*, который применяется к *расчётной схеме сооружений*.

Математические модели решения задач представляют собой определённые совокупности уравнений равновесия, составленных по результатам кинематического анализа расчётных схем и включающих значения нагрузок, реакций в связях и внутренних сил. По вычисленным значениям внутренних силовых факторов выбирается материал, форма и площадь поперечного сечения элементов конструкции.

Проверка результатов решения задачи обеспечения надёжности строительных конструкций сводится к проверке выполнения требования непревышения *расчётных* значений параметров напряжённо деформированного состояния конструкции (напря-

жений, перемещений) *допустимым* значениям для выбранного материала, которые определены экспериментально и приведены в соответствующих нормативных документах.

Заключение

Приведенные в работе результаты составляют основу дальнейшей систематизации проблемы управления состоянием технических объектов. Ключевым элементом систематизации является понятие *состояние* технического объекта (см. рис.1), которое должно быть сформулировано на основе философских категорий и содержать необходимую информацию для его расширения на виды, способы и средства определения состояний. Это позволит в свою очередь, сформировать *систему существования* ТО, определить место в ней *системы управления состоянием* ТО и классифицировать её виды. Следующим этапом исследований, в соответствии с методологией системного анализа, будет являться формирование комплекса ограничений и разработка методов обеспечения эффективности функционирования системы в условиях действия этих ограничений.

Список использованной литературы

1. Тихий И.И. Методологическая модель процесса определения состояния сложных объектов / И.И. Тихий. — EDN NPWCHP // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2010. — № 2 (26). — С. 239–245.
2. Перспективная система технического обслуживания и ремонта авиационной техники / А.Г. Крутилин, Д.П. Середин, В.И. Бутылин, С.О. Литвинцев. — Люберцы, 2006. — 7 с.
3. Григорьев А.В. О неоднозначности понимания и употребления терминов технической диагностики / А.В. Григорьев, В.Н. Осотов // Энергосистема: управление, качество, безопасность : сб. трудов науч.-техн. конф. — Екатеринбург, 2001. — С. 385–388.
4. Комлев Н.Г. Словарь иностранных слов / Н.Г. Комлев. — Москва : Эксмо, 2006. — 669 с.
5. Перспективы развития инженерного образования: инициатива CDIO : информ.-метод. изд. / ред. В.М. Кутузова, С.О. Шапошникова. — Санкт-Петербург : ЛЭТИ, 2012. — 29 с.
6. Оптнер С.Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем / С.Л. Оптнер. — Москва, 1969. — 213 р.
7. Волкова В.И. Основы теории систем и системного анализа / В.И. Волкова, А.А. Денисов. — Санкт-Петербург : Изд. СПбГТУ, 1997. — 510 с.
8. Философский словарь / под ред. И.Т. Фролова. — 4-е изд. — Москва : Политиздат, 1980. — 445 с.
9. Оганджян С.Б. Системный анализ / С.Б. Оганджян // Большая российская энциклопедия : [в 35 т.]. — Москва, 2015. — С. 301.

References

1. Tikhii I.I. Methodological Model of Determining the State of Complex Objects. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie = Modern Technologies. System Analysis. Modeling*, 2010, no. 2, pp. 239–245. (In Russian). EDN: NPWCHP.

2. Krutilin A.G., Seredin D.P., Butylin V.I., Litvintsev S.O. *A promising system for maintenance and repair of aircraft equipment*. Lyubertsy, 2006. 7 p.
3. Grigorev A.V., Osotov V.N. On the ambiguity of understanding and using technical diagnostic terms. In *Power System: Management, Quality, Safety. Proceedings of the Scientific and Technical Conference*. Ekaterinburg, 2001, pp. 385–388. (In Russian).
4. Komlev N.G. *Dictionary of Foreign Words*. Moscow, Ehksmo Publ., 2006. 669 p.
5. Kutuzova V.M., Shaposhnikova S.O. *Prospects for the Development of Engineering Education: The CDIO Initiative*. Saint Petersburg, LEHTI Publ., 2012. 29 p.
6. Optner S. *Systems Analysis for Business and Industrial Problem Solving*. New York, Prentice-Hall, 1965. 116 p. (Russ. ed.: Optner S. *Systems Analysis for Business and Industrial Problem Solving*. Moscow, 1969. 213 p.).
7. Volkova V.I., Denisov A.A. *Fundamentals of Systems Theory and Systems Analysis*. Saint Petersburg Polytechnic University Publ., 1997. 510 p.
8. Frolov I.T. (ed.). *Philosophical Dictionary*. 4th ed. Moscow, Politizdat Publ., 1980. 445 p.
9. Ogandzhanyan S.B. System Analysis. In *The Great Russian Encyclopedia*. Moscow, 2015, pp. 301. (In Russian).

Информация об авторах

Тихий Иван Иванович — доктор технических наук, профессор кафедры «Физика, механика и приборостроение», Иркутский государственный университет путей сообщения, 664074, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, e-mail: tiviv@list.ru.

Тихий Антон Иванович — аспирант, кафедра математических методов и цифровых технологий, Байкальский государственный университет, 664003, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Ленина, 11, e-mail: taniv97@list.ru.

Information about the Authors

Ivan I. Tikhii — D.Sc. in Technical Sciences, Professor, Department of Physics, Mechanics and Instrumentation, Irkutsk State Transport University, 15 Chernyshevsky Str., Irkutsk, 664074, Russian Federation, e-mail: tiviv@list.ru.

Anton I. Tikhii — PhD Student, Department of Mathematical Methods and Digital Technologies, Baikal State University, 11 Lenin Str., Irkutsk, 664003, Russian Federation, e-mail: taniv97@list.ru.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the Authors

The authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Для цитирования

Тихий И.И. Системный анализ и синтез структурных основ управления состоянием технических объектов / И.И. Тихий, А.И. Тихий. — DOI 10.17150/2713-1734.2026.8(2).155-166. — EDN VERLPT // System Analysis & Mathematical Modeling. — 2026. — Т. 8, № 2. — С. 155–166.

For Citation

Tikhii I.I., Tikhii A.I. Systems Analysis and Synthesis of Structural Foundations for Managing the State of Technical Objects. *System Analysis & Mathematical Modeling*, 2026, vol. 8, no. 2, pp. 155–166. (In Russian). EDN: VERLPT. DOI: 10.17150/2713-1734.2026.8(2).155-166.