

Цифровая экономика и управление

УДК 004.7:658.512

DOI:10.25729/ESI.2026.41.1.009

Совершенствование управления жизненным циклом информационной инфраструктуры предприятия на основе агрегированной оценки с учётом структуры и критичности компонентов

Улыбин Тимофей Тимофеевич

Иркутский государственный университет путей сообщения,
Россия, Иркутск, timoxasem@mail.ru

Аннотация. В статье представлена методика совершенствования управления жизненным циклом информационной инфраструктуры предприятия (ИИП), основанная на логико-аксиологическом подходе и теории агрегированных систем. Данная методика представляет собой инновационный инструмент, позволяющий учитывать сложную иерархическую структуру ИИП, нелинейные взаимозависимости между её компонентами и многоуровневую категоризацию критичности оборудования. В отличие от традиционных методик, оперирующих линейными свёртками, такими, как взвешенное среднее, предлагаемый подход базируется на нелинейном агрегировании, реализуемом в рамках нечёткой логики. Целевая функция, разработанная на основе понятий «дефицита функциональности» и «ценности компонента», учитывает вероятностные характеристики компонентов и их критичность для функционирования системы. Для оборудования категории К1 применяется агрегирование по принципу необходимости (с использованием функции \max), что обеспечивает максимальную надёжность системы. Категория К3 характеризуется агрегированием по принципу достаточности, минимизирующим избыточные затраты. Категория К2 предполагает смешанное агрегирование, основанное на вероятностном объединении, что позволяет гибко адаптироваться к изменяющимся условиям эксплуатации. Данный подход позволяет идентифицировать критические компоненты ИИП, отказ которых может привести к полной потере функциональности системы. Это обеспечивает высокую интерпретируемость управленческих решений и позволяет лицам, принимающим решения (ЛПР), обоснованно выбирать стратегии управления (эксплуатация, ремонт или замена). Методика может быть интегрирована в систему поддержки принятия решений (СППР) и цифровой двойник ИИП, что повышает её практическую применимость и адаптивность к динамично меняющимся условиям эксплуатации. Для демонстрации корректности и эффективности предложенного подхода приведены примеры расчётов для критически важного сервера управления движением поездов (категория К1) и сетевого коммутатора (категория К2). Результаты включают формализованную онтологическую модель ИИП, адаптированную под требования ГОСТ Р 53114-2008, что подтверждает её соответствие нормативным требованиям и высокую степень детализации. Проведённые расчёты демонстрируют, что предложенный подход значительно повышает обоснованность, интерпретируемость и безопасность управленческих решений в условиях высокой неопределённости и критической зависимости от надёжности информационной инфраструктуры предприятия.

Ключевые слова: информационная инфраструктура предприятия, жизненный цикл, агрегированная оценка, логико-аксиологический подход, онтология, экспертная система

Цитирование: Улыбин Т.Т. Совершенствование управления жизненным циклом информационной инфраструктуры предприятия на основе агрегированной оценки с учётом структуры и критичности компонентов / Т.Т. Улыбин // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2026. – № 1(41). – С. 123-135 – DOI:10.25729/ESI.2026.41.1.009.

Введение. Управление жизненным циклом информационной инфраструктуры предприятия (ИИП) представляет собой одну из ключевых задач в условиях стремительной цифровой трансформации. В соответствии с результатами исследований [1], ИИП является сложной, динамичной и высоко интегрированной системой, где отказ одного элемента может инициировать цепную реакцию, приводя к остановке критически важных бизнес-процессов и значительным финансовым потерям. В условиях нарастающей сложности и взаимозависимости компонентов ИИП, разработка эффективных методов управления становится первостепенной задачей для обеспечения устойчивости и непрерывности функционирования предприятий.

В современной практике управления ИИП применяются различные методологические подходы, каждый из которых обладает своими преимуществами и ограничениями.

1. Процессно-ориентированные модели управления, такие как ITIL (Information Technology Infrastructure Library) и COBIT (Control Objectives for Information and Related Technologies), представляют собой наиболее распространённые методологии, обеспечивающие структурированное управление информационными технологиями и связанными с ними активами [2]. Эти подходы охватывают ключевые этапы жизненного цикла информационных и коммуникационных технологий, включая планирование, эксплуатацию, мониторинг и непрерывное улучшение. Однако, несмотря на широкое применение, эти модели имеют ряд ограничений. Они носят качественный и процедурный характер, что не позволяет проводить количественную оценку функциональности информационных и коммуникационных технологий. Кроме того, отсутствие структурно-зависимой оценки затрудняет учёт внутренней иерархии компонентов и их взаимосвязей. Также эти модели не позволяют адекватно отразить критические зависимости между элементами системы. Однако в настоящее время управление активами всё чаще осуществляется в соответствии со стандартом ISO 55000 [3], который предполагает системный учёт рисков, обеспечение надёжности и анализ стоимости жизненного цикла.

2. Системы класса ERP (Enterprise Resource Planning) и CMMS (Computerized Maintenance Management System), такие, как SAP EAM, IBM Maximo, Oracle EAM представляют собой инструменты для управления активами и планирования технического обслуживания и ремонта (ТОиР) [4]. Эти системы позволяют вести учёт активов, планировать ТОиР, рассчитывать жизненный цикл стоимости (LCC) и управлять заявками на обслуживание. Однако, несмотря на их функциональность, они также обладают рядом ограничений, такими, как ограниченная способность к объективной, количественной и предиктивной поддержке решений в условиях высокой неопределённости [5], игнорирование многокритериальности задачи принятия решений, что затрудняет адаптацию к специфике критичности различных типов оборудования, а также недостаточная гибкость в адаптации к специфическим требованиям и особенностям критичности различных типов.

3. Методы многокритериального оценивания, такие, как метод анализа иерархий (АНР) [6], свёртки на основе среднего арифметического или геометрического [7], а также интеграл Шоке [8] и другие, широко используются для агрегации критериев, таких, как LCC, надёжность и риск. Эти методы позволяют учитывать множество факторов при принятии решений. Однако, они также обладают следующими ограничениями – это линейный или квазилинейный характер, не позволяющий адекватно отразить нелинейные зависимости между компонентами системы, невозможность полного учёта структуры системы, что приводит к «размыванию» влияния критически важных активов при использовании средних значений и отсутствию дифференциации в учёте критичности компонентов, что снижает точность и интерпретируемость результатов.

4. Подходы на основе цифровых двойников представляют собой перспективное направление, позволяющее создавать виртуальные копии физических активов и прогнозировать их состояние. Цифровые двойники [1, 9] обладают потенциалом для улучшения мониторинга и симуляции, однако большинство реализаций сосредоточены на этих аспектах и не включают встроенной логики принятия решений [10]. Таким образом, несмотря на их преимущества, цифровые двойники также требуют дальнейшего развития и интеграции с другими методологическими подходами.

Таким образом, существующие подходы к управлению ИИП не обеспечивают комплексного решения фундаментальной задачи: объективной оценки функциональности ИИП с учё-

том её иерархической структуры, зависимостей между компонентами и категорий критичности оборудования. В условиях нарастающей сложности и динамичности ИИП, разработка новых методов, учитывающих эти аспекты, становится актуальной и востребованной задачей.

В настоящей работе предлагается новая целевая функция, основанная на логико-аксиологическом подходе [11] и теории агрегируемых систем [12, 13]. Эта целевая функция обладает следующими преимуществами:

1. Учёт структуры ИИП через онтологическую модель, что позволяет адекватно отразить иерархическую природу системы.
2. Поддержка ключевых компонентов, обеспечивая значение функции близкое или равное 1 для критически важных активов.
3. Применение агрегирования по необходимости для К1 (критически важные компоненты), по достаточности для К3 (некритические компоненты) и смешанное агрегирование для К2 (компоненты средней критичности).
4. Обеспечение интерпретируемости управленческих решений, что способствует повышению прозрачности и обоснованности принимаемых решений.

Предложенная целевая функция представляет собой инновационный подход к управлению ИИП, позволяющий учесть сложные структурные и функциональные аспекты системы, а также обеспечить объективность и интерпретируемость принимаемых решений.

Теоретические основы. Согласно теории агрегируемых систем [14], любая система с неубывающим или невозрастающим законом агрегирования, чья функциональность определяется состоянием компонентов, подчиняется одному из трёх типов агрегирования:

- 1) по необходимости: утрата функциональности системы происходит при утрате всех компонентов из необходимого подмножества (их утрата влечёт утрату функциональности системы в целом независимо от состояния других частей системы);
- 2) по достаточности: функциональность системы обеспечивается, если функционируют все компоненты из достаточного подмножества (то есть, для функционирования системы достаточно, чтобы функционировали хотя бы эти компоненты);
- 3) смешанное: присутствуют оба типа подмножеств.

Для ИИП ОАО «РЖД» характерны все три типа оборудования:

К1-оборудование (источники питания, серверы управления движением и другие) характеризуется агрегированием по необходимости;

К3-оборудование (рабочие станции) – характеризуются агрегированием по достаточности;

К2 – характеризуются смешанным агрегированием.

Ключевым инструментом является понятие ценности компонента $v_i \in [0,1]$ – мера влияния дефицита функциональности компонента i на дефицит функциональности содержащего его надкомпонента. При $v_i = 1$ компонент i является ключевым для своего надкомпонента [14, 15]. Надкомпонент представляет собой структурный элемент системы, занимающий более высокий уровень в иерархической конфигурации и включающий в себя один или несколько элементов, расположенных на субкомпонентном уровне. Таким образом, если элемент C_i является составной частью элемента C' , то C_i классифицируется как субкомпонент (или подкомпонент), а C' выполняет роль надкомпонента по отношению к C_i . Эта иерархическая структура позволяет эффективно организовывать и систематизировать компоненты системы, обеспечивая их функциональную взаимосвязанность и координацию.

Составной частью обсуждаемой здесь методики является онтологическая модель информационной инфраструктуры предприятия (ИИП), разработанная в рамках логико-аксиологи-

ческого подхода [14]. Она представляет собой иерархическую структуру компонентов, отражающую технологическую, управленческую и функциональную организацию ИИП и служит основой для построения специальной продукционной базы знаний, предназначенной для последующего агрегированного оценивания функциональности системы.

Целью онтологии является формализовать состав ИИП как системы, отношения между компонентами (включение, подчинение, влияние), категории критичности (К1-К3), роли компонентов в обеспечении функциональности всей ИИП.

В онтологии можно выделить три уровня абстракции: высший – система в целом, средний – подсистемы, такие, как система управления движения поездов (СУДП), сетевая инфраструктура, системы хранения данных (СХД), системы бесперебойного питания (СБП), системы кондиционирования, рабочие станции и прочее, а также низший уровень, представленный функциональными элементами, такими, как серверы, коммутаторы и коммутационное оборудование.

Иерархическая структура информационной инфраструктуры предприятия (ИИП) – это многоуровневая, вложенно-подчинённая организация компонентов, отражающая технологическую, функциональную и управленческую логику функционирования ИИП, как агрегируемой системы. Она служит основой для построения онтологической модели, продукционной базы знаний и последующего агрегированного оценивания в рамках логико-аксиологического подхода.

Иерархия ИИП представляет собой структуру, которая строится по принципу «сверху вниз», от целого (ИИП) к его составным частям (подсистемам и функциональным элементам). Этот процесс предполагает движение от общего к частному, от абстрактных целей к конкретным техническим элементам. Тип агрегирования определяется для каждого уровня иерархии независимо, в зависимости от структуры подсистемы и её роли в надкомпоненте.

Иерархическая структура ИИП позволяет в системе поддержки принятия решения формализовать зависимости между компонентами, выявлять ключевые активы (К1) и назначать им приоритет, применять разные типы агрегирования в зависимости от категории и обеспечить интерпретируемость: лицо, принимающее решение, видит, почему рекомендуется та или иная стратегия.

Представленная структура представляет собой иерархическую онтологическую модель информационной инфраструктуры предприятия (ИИП), построенную на основе принципов системного анализа и агрегированного оценивания. Модель отражает функциональную и технологическую организацию ИИП, как сложной системы, где состояние целого определяется состоянием его компонентов.

Разработанная онтологическая модель является примером легкой онтологии, структурированной в виде графа, где концепты предметной области функционируют как узлы, а отношения между ними представлены в виде дуг. В рамках данной модели используется единственный тип отношения – «входит в» (включение), который отражает иерархическую принадлежность компонента к более высокоуровневой подсистеме.

Методологической основой данной методики является логико-аксиологический подход [11], который акцентирует внимание на формализации причинно-следственных связей посредством продукционных правил. Ключевым аспектом данного подхода является не сложность структуры, а способность системы генерировать интерпретируемые результаты. Применение единственного типа связи «входит в» позволяет:

1. Сформировать строго иерархическую структуру, которая напрямую транслируется в систему продукционных правил вида «Если дефицит компонента (C_i), то дефицит надкомпонента (C')». Это обеспечивает прозрачность логического вывода и интерпретируемость результатов.

2. Избежать избыточной сложности, которая не влияет на расчет агрегированного показателя. Как показано в исследовании [13], для целей агрегированной оценки достаточно использовать «лёгкие» онтологии, где основное внимание уделяется структурной принадлежности, а не множеству семантических связей [18, 19].

3. Обеспечить соответствие методологии построения продукционной базы знаний. Каждая дуга на графе (рис. 1) интерпретируется как логическое утверждение «Компонент (C_i) является составной частью компонента (C')», что соответствует продукционному правилу ($\neg C_i \rightarrow \neg C'$) и позволяет рассчитывать агрегированные показатели посредством нечеткого вывода.

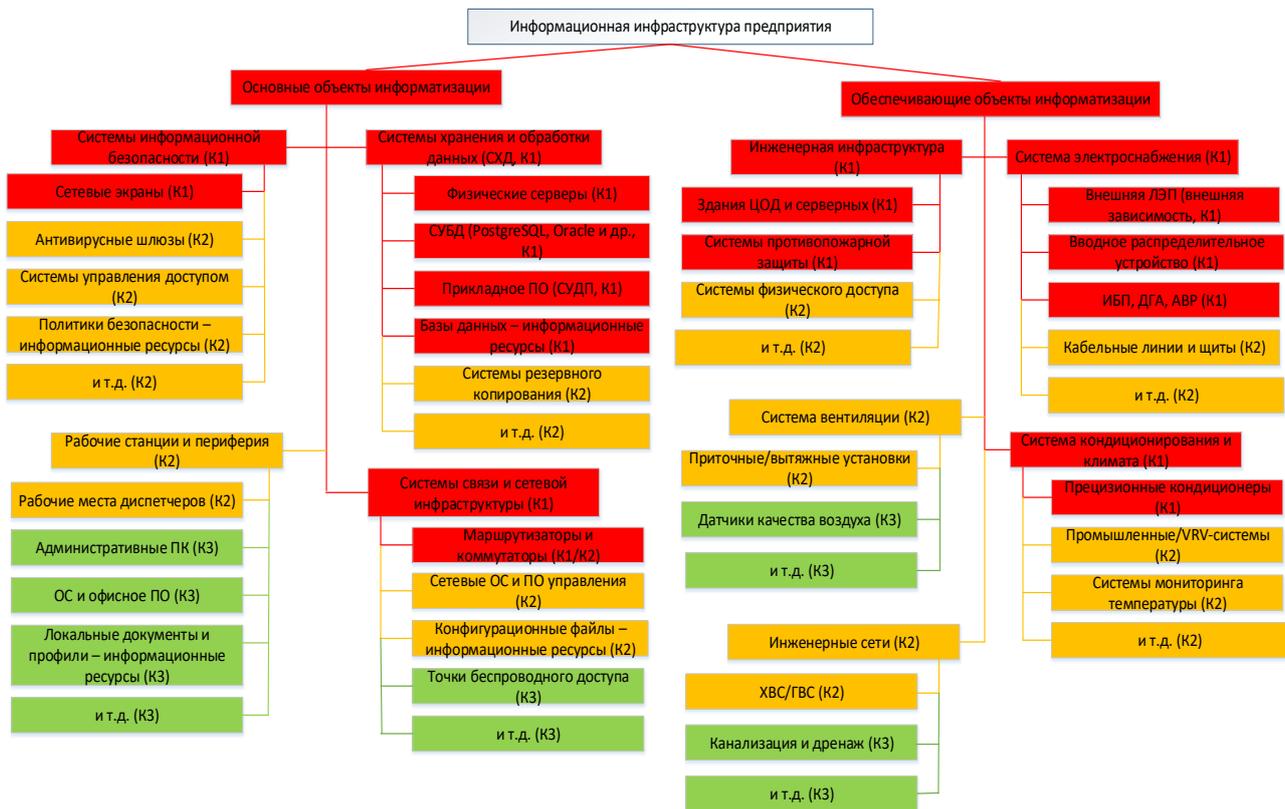


Рис. 1. Иерархическая структура ИИП

Таким образом, использование единственного типа отношения «входит в» представляет собой не упрощение, а осознанный методологический выбор, направленный на достижение основной цели исследования: построение интерпретируемой и математически корректной модели для оптимизации управления жизненным циклом оборудования на основе агрегированной оценки.

Данный метод, акцентирующий внимание на физических активах, как составляющих элементах структуры и обеспечения ИИП в соответствии с [16], предоставляет достаточную семантическую выразительность для целей комплексной оценки жизненного цикла оборудования, сохраняя при этом лёгкость формализации и ясность логических заключений.

Отличительной чертой данной модели от традиционных подходов является то, что она строится в соответствии с [17] и охватывает все компоненты информационной инфраструктуры предприятия. В модель включены как основные объекты информатизации, такие, как серверы, системы управления данными и системы хранения данных, так и обеспечивающие объекты, такие, как источники бесперебойного питания, системы кондиционирования, здания и линии электропередач. Особое внимание в модели уделяется физическим активам, поскольку цель исследования заключается в управлении жизненным циклом оборудования. Кроме того, в модели чётко выделены категории критичности, обозначенные как K1, K2 и K3,

с использованием цветовой кодировки. Это позволяет применять соответствующий тип агрегирования данных: по необходимости для К1, по достаточности для К3 и смешанный для К2, в строгом соответствии с теорией агрегируемых систем.

Модель разработана по принципу «от общего к частному» и состоит из трёх уровней. На первом уровне находится основной концепт, который представляет собой систему в целом (ИИП). Целевое значение $\|ИИП\|$ определяется, как совокупная оценка всех функций ИИП.

Величина $\|A\|$ представляет собой меру истинности утверждения $A =$ «Компонент X исправен» (функционален полностью); $\|A\|$ при этом интерпретируется, как количественный показатель, характеризующий состояние (функциональность) компонента системы. К примеру, значение $\|A\| = 1$ указывает на полную истинность утверждения, что свидетельствует о полной функциональной исправности и соответствии компонента установленным требованиям. В случае $\|A\| = 0$ утверждение о функциональности (исправности) является полностью ложным, что может означать утрату компонента, его неисправность или несоответствие заданным параметрам. При этом значение $\|A\| = 0,85$ интерпретируется как «частично истинное утверждение», что, например, может отражать уровень надежности компонента, равный 85%.

Цветовая маркировка соответствует уровню критичности и определяет тип объединения данных: красный (К1) – объединение по необходимости, оранжевый (К2) – смешанное объединение, зелёный (К3) – объединение по достаточности.

Необходимо отметить, что системы обеспечения, являясь ключевыми элементами структуры, играют интегративную роль в функционировании всех подсистем ИИП, включая К1-оборудование. Компоненты структуры представляют собой элементы, совокупная утрата которых приводит к прекращению функционирования надкомпонента. В контексте систем обеспечения, особенно источников энергоснабжения и систем кондиционирования, данное условие приобретает еще более критическое значение: утрата одного компонента системы обеспечения влечет за собой не только утрату самого компонента, но и полное прекращение функционирования связанных с ним подсистем, включая системы хранения данных и системы управления.

На первом уровне рассматриваются подсистемы ИИП, и в работе выделено пять основных групп. Эти первичные подсистемы представляют собой подсистемы верхнего уровня, которые могут оцениваться независимо друг от друга. Связи между ИИП и подсистемами построены по принципу включения, что позволяет рассматривать их как единое целое.

В соответствии с теорией агрегируемых систем [12], каждая подсистема является надкомпонентом для своих нижележащих элементов. Её состояние $\|S_i\|$ зависит от состояния её компонентов C_j по некоторому закону агрегирования $U(C_1, \dots, C_n)$.

На втором уровне находятся функциональные элементы и технические устройства, которые составляют подсистему. Например, в подсистеме «СХД» (К1) серверы (К1, красный) играют роль ключевых компонентов, а виртуализационные хосты (К2, оранжевый) относятся к обеспечивающим элементам. В подсистеме «Рабочие станции и периферия» (К3, зелёный) принтеры, сканеры и многофункциональные устройства (К3, зелёный) также являются обеспечивающими компонентами, что означает, что их ценность ниже единицы.

Если ключевой компонент системы выйдет из строя, то за ним последует сбой или прекращение работы надкомпонента. Например, если серверы баз данных перестанут функционировать, то это приведёт к проблемам с системой хранения информации, что, в свою очередь, повлечёт за собой полную потерю функциональности информационной инфраструктуры предприятия. Формализованное описание этого явления выглядит следующим образом:

$$\|\neg\text{Сервер}\| = 1 \Rightarrow \|\neg\text{СХД}\| = 1 \Rightarrow \|\neg\text{ИИП}\| = 1 \quad (1)$$

Роль обеспечивающего компонента заключается в обеспечении надёжной работы вышестоящего компонента, но при этом он не является обязательным. Например, состояние принтеров не влияет на движение поездов.

Каждая из категорий (K1, K2, K3) определяет тип агрегирования, которое применяется к соответствующему оборудованию. В рамках теории агрегируемых систем [12], следует отметить, что K1-оборудование характеризуется необходимостью обязательного наличия компонентов. В случае, когда хотя бы один из ключевых компонентов системы полностью утрачивает свою функциональность, что соответствует $\|K_i\| = 0$, это неизбежно приводит к полной потере функциональности всей интегрированной информационной и исполнительной системы (ИИП), что выражается в $\|K'\| = 0$. Данный принцип является фундаментальным для понимания надёжности и безопасности функционирования сложных технических систем, где критическая зависимость от отдельных компонентов может существенно влиять на общую производительность и стабильность системы. Это соответствует определению необходимого подмножества.

Оборудование категории K2 часто содержит как ключевые, так и вспомогательные компоненты. При проведении агрегации по критерию достаточности достаточно, чтобы хотя бы один элемент из подмножества, обладающего требуемыми свойствами, функционировал.

На основе данной онтологии сформирована продукционная база знаний на K1-оборудовании, что позволяет продемонстрировать ключевые элементы методологии, а именно, продукционные правила вида $\neg K_i \rightarrow \neg K'$, ценность компонентов, агрегирование по необходимости и выявление ключевого компонента.

Каждое правило имеет вид:

$$\neg K_i \rightarrow \neg K' \quad (2)$$

где K_i – компонент, K' – надкомпонент, $\|\neg K_i \rightarrow \neg K'\| = v_i$ – ценность K_i для K' .

Разберём пример применения данной методологии на оборудовании информационно-вычислительного центра.

Базу знаний (систему продукций) удобнее представить в табличном виде (таблица 1).

Таблица 1. База знаний

№	Антецедент $\neg K_1$	Консеквент $\neg K'$	Ценность $\ \neg K_i \rightarrow \neg K'\ $	Обоснование
1	\neg Процессор	\neg Сервер СУДП	1,0	Ключевой компонент
2	\neg ОЗУ	\neg Сервер СУДП	0,9	Критически важный
3	\neg RAID – массив	\neg Сервер СУДП	1,0	Ключевой компонент
4	\neg Сетевые интерфейсы	\neg Сервер СУДП	0,8	Важный, но не ключевой
5	\neg Сервер СУДП	\neg СХД	1,0	Ключевой компонент
6	\neg СХД	\neg ИИП	1,0	Ключевой компонент

В таблице 1, где ценность равна 1, означает, что в случае выхода из строя компонента надкомпонент полностью утрачивает свою функциональность. Далее положим, что аудитор дал оценки функциональности субкомпонентам (таблица 2).

Таблица 2. Оценки функциональности

Компонент	$ K_i $	$ \neg K_i = 1 - K_i $
Процессор	0,999	0,001
ОЗУ	0,99	0,01
RAID-массив	0,95	0,05

С целью расчёта дефицита функциональности сервера СУДП для каждого правила применяем нечёткий *modus ponens* по формуле (3). Результаты сведены в таблицу 3.

$$\|\neg K'\|_i = \|\neg K_i\| \cdot \|\neg K_i \rightarrow \neg K'\| \quad (3)$$

Таблица 3. Результаты расчёта дефицита функциональности

Компонент	$\ \neg K_i\ \cdot \ \neg K_i \rightarrow \neg K'\ $	$\ \neg K'\ _i$
Процессор	$1,0 \cdot 0,001$	0,001
ОЗУ	$0,9 \cdot 0,01$	0,009
RAID-массив	$1,0 \cdot 0,05$	0,05
Сетевые интерфейсы	$0,8 \cdot 0,0$	0,0

Так как сервер относится к К1-оборудованию, используется агрегирование по необходимости. Функцией объединения будет max.

$$\|\neg \text{Сервер СУДП}\| = \max(0,001; 0,009; 0,05; 0,0) = 0,05 \quad (4)$$

$$\|\text{Сервер СУДП}\| = 1 - 0,05 = 0,95 \quad (5)$$

Соответственно, расчёт дефицита СХД и ИИП будет представлен в следующем виде:

$$\|\neg \text{СХД}\| = 0,05 \cdot 1,0 = 0,05 \rightarrow \|\text{СХД}\| = 0,95 \quad (6)$$

$$\|\neg \text{ИИП}\| = 0,05 \cdot 1,0 = 0,05 \rightarrow \|\text{ИИП}\| = 0,95 \quad (7)$$

Исходя из полученных данных, можно прийти к выводу, что основной причиной ухудшения ИИП в данном примере является RAID-массив, который характеризуется дефицитом в 0,05. Это позволяет лицу, принимающему решение, понять, почему оценка именно такая, и определить, какие меры необходимо предпринять в первую очередь для улучшения ситуации.

В контексте управления жизненным циклом ИИП выделяются три ключевых критерия, определяющих состояние физического актива:

1. Экономический критерий, выраженный через среднегодовую стоимость жизненного цикла (LCC), измеряемую в млн. рублей в год. Логика этого критерия заключается в том, что чем ниже стоимость жизненного цикла, тем лучше.
2. Критерий надёжности, определяемый через вероятность безотказной работы актива в течение заданного периода. Чем выше этот показатель, тем выше надёжность актива.
3. Критерий риска или ожидаемого ущерба от отказа актива, измеряемый в миллионах рублей в час. Чем ниже этот показатель, тем меньше риск и, следовательно, лучше.

Все три критерия имеют разную размерность и смысл, поэтому их необходимо привести к единому диапазону значений. В процессе нормализации значение 1 соответствует идеальному состоянию, а 0 – полной потере функциональности.

В рамках логико-аксиологического подхода [11] агрегирование осуществляется не на основе показателей, характеризующих функциональность, как это принято в традиционных подходах, а по дефицитам функциональности – то есть мерам отклонения от идеального состояния.

Для каждого компонента вводится параметр, который характеризует его функциональность и измеряется в диапазоне от 0 до 1. В соответствии с этим параметром определяется недостаток (дефицит) функциональности:

$$\|K\| \in [0,1] \quad (8)$$

$$\|\neg K\| = 1 - \|K\| \quad (9)$$

В отношении основных критериев недостаток функциональности экономического критерия и критерия надёжности определяется по формуле (9). Однако критерий риска уже является по своей природе дефицитным, поэтому его инвертирование не требуется.

$$\|\neg C\| = 1 - C_{norm} \quad (10)$$

$$\|\neg R\| = 1 - R_{norm} \quad (11)$$

$$\|\neg Risk\| = Risk_{norm} \quad (12)$$

Во всех случаях построение агрегата основывается на дефицитах, а не на непосредственных оценках. Такой подход позволяет корректно обрабатывать ключевые элементы, при необходимости осуществлять агрегацию, а также избегать компенсации. Последнее означает, что низкая надёжность не может быть восполнена за счёт снижения затрат.

Экспертно определены веса для критериев в зависимости от категории актива $v_C^{(k)}$, $v_R^{(k)}$, $v_{Risk}^{(k)}$ и представлены в таблице 4.

Таблица 4. Вес критерия актива

Категория	v_C	v_R	v_{Risk}
К1	0,2	0,5	0,3
К2	0,3	0,5	0,2
К3	0,5	0,4	0,1

Частные вклады будут определены по следующим формулам:

$$d_C = \|\neg C\| \cdot v_C \quad (13)$$

$$d_R = \|\neg R\| \cdot v_R \quad (14)$$

$$d_{Risk} = \|\neg Risk\| \cdot v_{Risk} \quad (15)$$

С целью определения наилучшего решения по управлению жизненным циклом информационной инфраструктуры предприятия необходимо провести объединение дефицитов в зависимости от категории оборудования, как показано:

для К1-оборудования (по необходимости):

$$\|\neg F\| = \max(d_C, d_R, d_{Risk}) \quad (16)$$

для К2-оборудования (смешанное):

$$\|\neg F\| = 1 - (1 - d_C)(1 - d_R)(1 - d_{Risk}) \quad (17)$$

для К3-оборудования (по достаточности):

$$\|\neg F\| = \frac{d_C + d_R + d_{Risk}}{3} \quad (18)$$

В таком случае итоговая функциональность будет определена по формуле:

$$\|F\| = 1 - \|\neg F\| \in [0, 1] \quad (19)$$

Далее приведен пример расчета для сервера, который обеспечивает процесс управления движением поездов (К1-оборудование).

Результаты нормализации критериев представлены в таблице 5.

Таблица 5. Нормализация критериев актива

Критерий	Стратегия 1	Стратегия 2	Стратегия 3
C_{norm}	1,0	0,57	0,0
R_{norm}	0,9997	0,9998	0,9999
$Risk_{norm}$	1,0	0,73	0,0

В таком случае дефициты будут представлены следующие:

- Стратегия 1: $d_R = \|\neg R\| \cdot v_R = (1 - 0,9997) \cdot 0,2 = 0,00015$
- Стратегия 2: $d_{Risk} = \|\neg Risk\| \cdot v_{Risk} = 0,73 \cdot 0,3 = 0,219$
- Стратегия 3: $d_C = \|\neg C\| \cdot v_C = 1,0 \cdot 0,2 = 0,2$

Объединение дефицитов проведено для К1-оборудования, то есть:

- Стратегия 1: $\|\neg F\| = \max(0; 0,00015; 0) = 0,00015 \rightarrow \|F\| = 0,99985$
- Стратегия 2: $\|\neg F\| = \max(0,43; 0,00005; 0,219) = 0,43 \rightarrow \|F\| = 0,57$
- Стратегия 3: $\|\neg F\| = 0,2 \rightarrow \|F\| = 0,8$

Наилучшей стратегией при данном расчёте будет продолжение эксплуатации, проведение капитального ремонта не требуется, а надёжность близка к идеальной и риск компенсируется резервированием.

Также представлен пример расчета для сетевого коммутатора (К2-оборудование).

Дефициты представлены в таблице 6.

Таблица 6. Дефициты по критериям

Стратегия	d_R	d_{Risk}	d_C
1	0,0	0,09	0,2
2	0,08	0,048	0,097
3	0,2	0,003	0,0

Объединение дефицитов проведено для К1-оборудования, то есть:

- Стратегия 1: $\|\neg F\| = 1 - 1 \cdot 0,91 \cdot 0,8 = 0,272 \rightarrow \|F\| = 0,728$
- Стратегия 2: $\|\neg F\| = 1 - 0,92 \cdot 0,952 \cdot 0,903 = 0,208 \rightarrow \|F\| = 0,792$
- Стратегия 3: $\|\neg F\| = 1 - 0,8 \cdot 0,997 \cdot 1 = 0,2024 \rightarrow \|F\| = 0,7976$

Наилучшей стратегией при данном расчёте будет проведение замены оборудования, так как надёжность достаточно низкая, а стоимость жизненного цикла на текущий момент высокая.

Заключение. В рамках данного исследования была разработана методика оптимизации процессов управления жизненным циклом информационной инфраструктуры предприятия (ИИП), базирующаяся на принципах логико-аксиологического подхода и теории агрегируемых систем. Анализ существующих моделей показал, что традиционные методы, основанные на линейных свёртках, не обеспечивают адекватного учёта сложной структуры ИИП и критичности её компонентов. В качестве альтернативы предложено использование нелинейной целевой функции, учитывающей дефициты и ценности компонентов, что позволяет идентифицировать ключевые активы и обеспечивает высокую интерпретируемость управленческих решений. Предложенная целевая функция может служить ядром цифрового двойника, как это предложено в работах [9, 20].

Методика была успешно интегрирована в систему поддержки принятия решений и адаптирована к специфическим требованиям информационно-вычислительного центра ОАО «РЖД». Это позволило достичь основной цели исследования – создания научно обоснованного инструмента для разработки оптимальной стратегии управления физическими активами. Полученные результаты обладают как теоретической, так и практической значимостью, способствуя повышению обоснованности, безопасности и эффективности управленческих решений в условиях высокой неопределённости и динамичности внешней среды.

Список источников

1. Son Y.H., Kim G.Y., Kim H.C. et al. Past, present, and future research of digital twin for smart manufacturing. *Journal of Computational Design and Engineering*, 2021, vol. 9, no. 1, pp. 1–23, DOI: 10.1093/jcde/qwab067
2. ITIL Foundation: ITIL 4 Edition. AXELOS, 2019. Available at: <https://www.axelos.com/certifications/itil-service-management/itil-4-foundation> (accessed: 05/15/2025).
3. ISO 55000:2024. Asset management – Overview, principles and terminology. URL: <https://www.iso.org/standard/85776.html> (дата обращения: 05/15/2025).
4. ISACA. COBIT 2019 Framework. ISACA, 2018. Available at: <https://www.isaca.org/resources/cobit> (accessed: 05/15/2025).
5. Управление техническим состоянием железнодорожной инфраструктуры: учеб. пособие / под ред. А.Н. Рахмангулова. – М.: УМЦ ЖДТ, 2020. – 288 с.
6. Ye W., Ren J., Zhang P. et al. Review of integrated full life cycle data management and application of the slab tracks. *Intelligent Transportation Infrastructure*, 2022, vol. 1, no. 1, pp. 1–14, DOI: 10.1093/iti/liac018.
7. Saaty T.L. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, 1980, 287 p.
8. Субетто А.И. Оценочные средства и технологии аттестации качества подготовки специалистов в вузах / А.И. Субетто. – СПб.: Исследовательский центр проблем качества, 2004. – 68 с.
9. Ахаев А.В. Метод выбора программного продукта на основе интеграла Шоке / А.В. Ахаев, И.А. Ходашинский, А.Е. Анфилофьев // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, 2014. – № 2(32). – С. 224–229.

10. Tao F., Qi Q., Liu A. et al. Digital Twins and Cyber-Physical Systems toward Smart Manufacturing and Industry 4.0: Correlation and Comparison. *Engineering*, 2019, vol. 5, no. 4, pp. 653–661, DOI: 10.1016/j.eng.2019.01.014
11. Han S. A review of smart manufacturing reference models based on the skeleton meta-model. *Journal of Computational Design and Engineering*, 2020, vol. 7, no. 3, pp. 323–336, DOI:10.1093/jcde/qwaa027
12. Аршинский Л.В. Логико-аксиологический подход к оценке состояния систем / Л.В. Аршинский // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2013. № 3(39). С. 140-146.
13. Аршинский Л.В. Необходимость и достаточность при агрегировании на основе неубывающих функций / Л.В. Аршинский, В.Л. Аршинский // *Онтология проектирования*. 2022. Т. 12, № 1. С. 93-105.
14. Аршинский Л.В. Необходимость и достаточность в задачах агрегирования для невозрастающих функций / Л.В. Аршинский, В.Л. Аршинский // *Актуальные проблемы прикладной дискретной математики: сб. науч. тр. Вып. 9 / под ред. О.В. Кузьмина. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2023. С. 8-18.*
15. Аршинский Л.В. Учет компонентов структуры и компонентов влияния при логико-аксиологической оценке систем / Л.В. Аршинский // *Информационные и математические технологии в науке и управлении: тр. XX Байкальской Всерос. конф. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015. С. 7-12.*
16. Аршинский Л.В. Построение агрегированных оценок систем как логический вывод на алгебраических сетях / Л.В. Аршинский, Е.А. Асламова, А.Ю. Попов // *Информационные и математические технологии в науке и управлении: тр. XXI Байкальской Всерос. конф. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2016. – С. 12-18.*
17. ГОСТ Р 53114-2008 Защита информации. Обеспечение информационной безопасности в организации. Основные термины и определения
18. Gruber T.R. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*, 1993, vol. 5, no. 2, pp. 199–220, DOI: 10.1006/knac.1993.1008.
19. Noy N.F., McGuinness D.L. *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology*. Stanford Knowledge Systems Laboratory, 2001.
20. Grieves M. *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*. White Paper, 2014.

Улыбин Тимофей Тимофеевич. Ассистент преподавателя кафедры «Информационные системы и защита информации» Иркутского государственного университета путей сообщения. AuthorID: 1230947, SPIN: 9750-3220, ORCID 0009-0005-2024-8737, timoxasem@mail.ru, Россия, Иркутск, Чернышевского, 15.

UDC 004.7:658.512

DOI:10.25729/ESI.2026.41.1.009

Improving the lifecycle management of an enterprise's information infrastructure based on an aggregated assessment, taking into account the structure and criticality of the components

Timofey T. Ulybin

Irkutsk state transport university,
Russia, Irkutsk, *timoxasem@mail.ru*

Abstract. The article presents a methodology for improving the lifecycle management of an enterprise's information infrastructure based on a logical and axiological approach and the theory of aggregated systems. This technique is an innovative tool that allows taking into account the complex hierarchical structure of the IIP, the nonlinear interdependencies between its components, and the multilevel categorization of equipment criticality. Unlike traditional methods using linear convolutions, such as weighted averages, the proposed approach is based on nonlinear aggregation implemented within the framework of fuzzy logic. The objective function, developed on the basis of the concepts of "functional deficit" and "component value", takes into account the probabilistic characteristics of the components and their criticality for the functioning of the system. For equipment of category K1, aggregation is applied according to the principle of necessity (using the max function), which ensures maximum system reliability. Category K3 is characterized by aggregation based on the principle of sufficiency, minimizing excess costs. The K2 category assumes mixed aggregation based on probabilistic pooling, which allows flexible adaptation to changing operating conditions. This approach makes it possible to identify critical IIP components, the failure of which can lead to a complete loss of system functionality. This ensures high

interpretability of management decisions and allows decision makers to reasonably choose management strategies (operation, repair or replacement). The technique can be integrated into the decision support system (DSS) and the digital twin of the IIP, which increases its practical applicability and adaptability to dynamically changing operating conditions. To demonstrate the correctness and effectiveness of the proposed approach, examples of calculations for a mission-critical train traffic control server (category K1) and a network switch (category K2) are given. The results include a formalized IIP ontological model adapted to the requirements of GOST R 53114-2008, which confirms its compliance with regulatory requirements and a high degree of detail. The calculations performed demonstrate that the proposed approach significantly increases the validity, interpretability and security of management decisions in conditions of high uncertainty and critical dependence on the reliability of the enterprise's information infrastructure.

Keywords: enterprise information infrastructure, life cycle, aggregated assessment, logical and axiological approach, ontology, expert system

References

1. Son Y.H., Kim G.Y., Kim H.C. et al. Past, present, and future research of digital twin for smart manufacturing. *Journal of Computational Design and Engineering*, 2021, vol. 9, no. 1, pp. 1–23, DOI: 10.1093/jcde/qwab067.
2. ITIL Foundation: ITIL 4 Edition. AXELOS, 2019. Available at: <https://www.axelos.com/certifications/itil-service-management/itil-4-foundation> (accessed: 05/15/2025).
3. ISO 55000:2024. Asset management – Overview, principles and terminology. URL: <https://www.iso.org/standard/85776.html> (accessed: 05/15/2025).
4. ISACA. COBIT 2019 Framework. ISACA, 2018. Available at: <https://www.isaca.org/resources/cobit> (accessed: 05/15/2025)
5. Upravleniye tekhnicheskimi sostoyaniyami zheleznodorozhnoy infrastruktury: ucheb. posobiye [Management of the Technical Condition of Railway Infrastructure: Textbook]. Ed. by A.N. Rakhmanqulov. Moscow, UMTs ZhDT Publ., 2020, 288 p.
6. Ye W., Ren J., Zhang P. et al. Review of integrated full life cycle data management and application of the slab tracks. *Intelligent Transportation Infrastructure*, 2022, vol. 1, no. 1, pp. 1–14, DOI: 10.1093/iti/liac018.
7. Saaty T.L. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, 1980, 287 p.
8. Subetto A.I. Otsenochnyye sredstva i tekhnologii attestatsii kachestva podgotovki spetsialistov v vuzakh [Assessment Tools and Technologies for Quality Certification of Specialist Training in Universities]. Saint Petersburg, Issledovatel'skiy tsentr problem kachestva [Research Center for Quality Problems] Publ., 2004, 68 p.
9. Akhaye A.V., Khodashinsky I.A., Anfilofyev A.Ye. Metod vybora programmnoy produkta na osnove integrala Shoke [Method for selecting a software product based on the Choquet integral]. *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki* [Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics], 2014, no. 2(32), pp. 224–229.
10. Tao F., Qi Q., Liu A. et al. Digital Twins and Cyber-Physical Systems toward Smart Manufacturing and Industry 4.0: Correlation and Comparison // *Engineering*. 2019. Vol. 5, № 4. P. 653-661.
11. Han S. A review of smart manufacturing reference models based on the skeleton meta-model // *Journal of Computational Design and Engineering*. 2020. Vol. 7, № 3. P. 323-336.
12. Arshinsky L.V. Logiko-aksiologicheskiy podkhod k otsenke sostoyaniya sistem [Logical-axiological approach to assessing the state of systems]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2013, no. 3(39), pp. 140–146.
13. Arshinsky L.V., Arshinsky V.L. Neobkhodimost' i dostatochnost' pri agregirovani na osnove neubyvayushchikh funktsiy [Necessity and sufficiency in aggregation based on non-decreasing functions]. *Ontologiya proyektirovaniya* [Ontology of designing], 2022, vol. 12, no. 1, pp. 93–105.
14. Arshinsky L.V., Arshinsky V.L. Neobkhodimost' i dostatochnost' v zadachakh agregirovaniya dlya nevozrastayushchikh funktsiy [Necessity and sufficiency in aggregation problems for non-increasing functions]. In: O.V. Kuzmin (ed.). *Aktual'nyye problemy prikladnoy diskretnoy matematiki: sb. nauch. tr.* [Actual problems of applied discrete mathematics: collection of scientific papers]. Irkutsk, IGU [Irkutsk State University] Publ., 2023, iss. 9, pp. 8–18.
15. Arshinsky L.V. Uchet komponentov struktury i komponentov vliyaniya pri logiko-aksiologicheskoy otsenke sistem [Accounting for structure components and influence components in logical-axiological assessment of systems]. *Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii: tr. XX Baykal'skoy Vseros. konf.* [Information and Mathematical Technologies in Science and Management: Proceedings of the XX Baikal All-Russian Conference]. Irkutsk, ISEM SO RAN [Melentiev Energy Systems Institute SB RAS] Publ., 2015, pp. 7–12.
16. Arshinsky L.V., Aslamova E.A., Popov A.Yu. Postroyeniye agregirovannykh otsenok sistem kak logicheskiy vyvod na algebraicheskikh setyakh [Construction of aggregated system assessments as logical inference on

- algebraic networks]. *Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii*: tr. XXI Baykal'skoy Vseros. konf. [Information and Mathematical Technologies in Science and Management: Proceedings of the XXI Baikal All-Russian Conference]. Irkutsk, ISEM SO RAN [Melentiev Energy Systems Institute SB RAS] Publ., 2016, pp. 12–18.
17. GOST R 53114-2008. Zashchita informatsii. Obespecheniye informatsionnoy bezopasnosti v organizatsii. Osnovnyye terminy i opredeleniya [Information protection. Ensuring information security in the organization. Basic terms and definitions]. Introduced 2009-09-01.
18. Gruber T.R. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*, 1993, vol. 5, no. 2, pp. 199–220, DOI: 10.1006/knac.1993.1008.
19. Noy N.F., McGuinness D.L. *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology*. Stanford Knowledge Systems Laboratory, 2001.
20. Grieves M. *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*. White Paper, 2014.

Ulybin Timofey Timofeevich. *Teaching Assistant at the Department of Information Systems and Information Security at Irkutsk State University of Communication. Author ID: 1230947, SPIN: 9750-3220, ORCID: 0009-0005-2024-8737, timoxasem@mail.ru. Russia, Irkutsk, Chernyshevsky, 15.*

Статья поступила в редакцию 07.11.2025; одобрена после рецензирования 17.12.2025; принята к публикации 16.02.2026.

The article was submitted 11/07/2025; approved after reviewing 12/17/2025; accepted for publication 02/16/2026.