МНОГОКОМПОНЕНТНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ НАДЁЖНОСТИ КАДАСТРОВОГО СЕРВИСА В УПРАВЛЕНИИ РЕСУРСАМИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Махмудов Махсум Мубаширович

директор ООО «UNICON.UZ», к.т.н., с.н.с.,
ORCID: 0009-0002-8838-5277;
E-mail: maxmudovunicon@gmail.com

K E Y W O R D S

надёжность телекоммуникаций, цифровой кадастр, управление ресурсами, качество данных, процессное сопровождение, интегральная оценка

A B S T R A C T

Рассмотрена задача оценки надёжности цифровой кадастровой системы, используемой для управления ресурсами телекоммуникационной инфраструктуры. Показано, что оценка только технической доступности ИТ-платформы не отражает информационные и процессные отказы: устаревание записей, нарушение топологии, противоречия атрибутов и несоблюдение регламентов сопровождения. Цель исследования состоит в разработке многокомпонентного метода, объединяющего техническую готовность, надёжность данных и устойчивость процессов. Метод основан на декомпозиции события корректного сервиса и двух взаимодополняющих контурах интеграции. Первый контур формирует строгую мультипликативную вероятность корректного функционирования и чувствителен к наиболее слабой компоненте. Второй контур вычисляет нормированный взвешенный индекс, пригодный для мониторинга, сравнения подразделений и контроля KPI. Основная научная новизна выражена логико-структурной схемой, связывающей частные показатели, два интегральных контура, декомпозицию причин и обратную корректировку регламентов. На иллюстративном двенадцатимесячном сценарии установлено, что при стабильной готовности ИТ-платформы и деградации информационной составляющей вероятностная оценка снижается с 0,903 до 0,326, тогда как управленческий индекс изменяется с 0,959 до 0,677. Различие динамики подтверждает необходимость совместного применения показателей: первого - для контроля критического риска, второго - для оперативного управления качеством сервиса.

ВВЕДЕНИЕ

Цифровая система учёта объектов телекоммуникационной инфраструктуры формирует информационную основу для проектирования, размещения, модернизации и эксплуатации сетевых ресурсов. В такой системе отказ возникает не только при недоступности серверов или каналов связи. Формально доступный сервис также перестаёт выполнять назначение, если сведения об объектах устарели, нарушена топологическая связанность, координаты выходят за установленный допуск либо процесс согласования изменений не завершён в регламентный срок. Поэтому инженерная оценка должна относиться к корректному сервису в целом, а не к отдельной программно-технической платформе.

Многомерная природа качества данных показана в работах Р.Ванга и Д.Стронг [3], методологии AIMQ [4] и подходе к объективной оценке качества информации [5]. Систематизация измеримых характеристик полноты, точности, непротиворечивости и актуальности приведена в [6], а вероятностное представление актуальности данных развито в [7]. Средства непрерывного контроля качества рассмотрены в [8]. Нормативную основу составляют модели качества структурированных данных ISO/IEC 25012 [9], принципы управления качеством данных ISO 8000-1 [10] и требования к качеству пространственной информации ISO 19157-1 [11]. Для геоинформационных систем важна связь позиционной, атрибутивной и топологической составляющих [12].

(cc) BY *dtai.uz*

В теории надёжности готовность и вероятность выполнения функции рассматриваются как вероятностные характеристики [13, 14], тогда как информационный и процессный уровни часто оцениваются раздельно. Поэтому высокий коэффициент готовности способен скрывать накопление неподтверждённых изменений. В работах [1, 2] предложены отдельные компоненты оценки; требуется единая процедура их связи с управленческим решением.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

1. Классы отказов кадастрового сервиса

Объект исследования представляет собой цифровой кадастровый сервис, содержащий сведения о площадках, линиях, узлах, оборудовании, координатах, топологических связях, технических параметрах и статусах объектов. В отличие от классической информационной системы здесь работоспособность определяется пригодностью сведений для принятия решения в заданный момент времени.

Информационный отказ фиксируется при устаревании, неполноте, ошибке координат, нарушении топологии, дублировании или противоречии атрибутов. Процессный отказ соответствует нарушению сроков обновления, верификации, аудита или согласования. Инфраструктурный отказ связан с серверами, системами хранения, сетью, СУБД и геоинформационным слоем. Организационно-человеческий отказ возникает вследствие ошибочных действий, неоднозначного толкования регламентов и недостаточной квалификации. Эти классы не являются статистически независимыми: процессное нарушение может породить информационный дефект, а инфраструктурная недоступность — прервать процедуру актуализации.

Экспертно-аналитическая приоритизация показывает, что информационные и процессные причины нельзя считать вторичными относительно технической готовности. При практической апробации их доли должны оцениваться по журналам инцидентов, протоколам аудита и результатам обследования конкретной организации.

2. Событийная модель корректного сервиса

Пусть $\varepsilon_{ИТ}(t)$ означает доступность и корректность работы ИТ-инфраструктуры; $\varepsilon_{Д}(t)$ - соответствие кадастровых данных требованиям актуальности, полноты, точности и топологической согласованности; $\varepsilon_{П}(t)$ - соблюдение процессов сопровождения. Событие корректного сервиса выполняется только при одновременном выполнении трёх условий:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_{\text{ИТ}}(t) \bigcap \varepsilon_{\text{Д}}(t) \bigcap \varepsilon_{\text{П}}(t), \qquad (1)$$

где знак ∩ задаёт логическое пересечение событий. Такое представление исключает ситуацию, когда высокий уровень одной компоненты полностью компенсирует критический дефект другой.

Интегральная надёжность определяется вероятностью наступления события $\varepsilon(t)$:

$$R_{\text{КС}}(t) = P\{\varepsilon(t)\} = P\left\{\varepsilon_{\text{ИТ}}(t) \bigcap \varepsilon_{\text{Д}}(t) \bigcap \varepsilon_{\text{П}}(t)\right\}, \qquad (2)$$

где $R_{КС}(t)$ - вероятность того, что в момент t сервис доступен, данные пригодны к использованию, а процессы сопровождения не нарушают установленные ограничения. Формула (2) задаёт целевую функцию метода.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДОЛОГИЯ

1. Исходные данные и измеримые компоненты

Материалами исследования являются эксплуатационные журналы доступности сервисов, журналы изменений объектов, протоколы обновления записей, результаты выборочного аудита, реестр нарушений топологии и сведения о прохождении процедур согласования. Единицей наблюдения служит пара «объект инфраструктуры — кадастровая запись» в установленном временном окне. До расчёта выполняются синхронизация временных меток, дедупликация событий и сопоставление записей по устойчивому идентификатору объекта.

(cc) BY

ISSN: 3030-3346

Таблица 1.

Компоненты метода, показатели и источники данных

Компонента	Содержание оценки	Основные показатели	Источник
$R_{ИТ}(t)$	Техническая готовность платформы	доступность, время восстановления, ошибки сервисов	журналы мониторинга
$I_{inf}(t)$	Надёжность кадастровых данных	полнота, точность, топология, актуальность, доля ошибок	журналы изменений и аудит
$R_{П}(t)$	Вероятность соблюдения процесса	переходы между штатными и деградированными состояниями	журналы workflow
$I_{proc}(t)$	Управленческий индекс процесса	сроки, верификация, согласование, закрытие конфликтов	регламентные KPI

Техническая компонента $R_{ИТ}(t)$ может оцениваться коэффициентом готовности либо вероятностью выполнения целевой операции в контрольном интервале. Информационная компонента формируется из характеристик данных и их актуальности. Процессная вероятность $R_{П}(t)$ применяется в строгом контуре, а индекс $I_{proc}(t)$ - в управленческом контуре. Разделение необходимо, поскольку вероятность безошибочного прохождения всего процесса и средневзвешенное выполнение отдельных KPI имеют различный смысл.

2. Вероятностный контур оценки

Для практической реализации используется цепное разложение совместной вероятности, сохраняющее зависимости между компонентами:

$$R_{КС}(t) = P\{\varepsilon_{ИТ}(t)\} \cdot P\{\varepsilon_{Д}(t) \mid \varepsilon_{ИТ}(t)\} \cdot P\{\varepsilon_{П}(t) \mid \varepsilon_{ИТ}(t) \cap \varepsilon_{Д}(t)\} \quad (3)$$

Первый множитель характеризует техническую готовность. Второй представляет условную вероятность состоятельности данных при доступной платформе. Третий выражает вероятность соблюдения процесса при технической доступности и приемлемом состоянии данных. Введём частные обозначения:

$$\begin{aligned} R_{ИТ}(t) &= P\{\varepsilon_{ИТ}(t)\}, \\ R_{Д}(t) &= P\{\varepsilon_{Д}(t) \mid \varepsilon_{ИТ}(t)\}, \\ R_{П}(t) &= P\{\varepsilon_{П}(t) \mid \varepsilon_{ИТ}(t) \cap \varepsilon_{Д}(t)\}. \end{aligned} \quad (4)$$

где $R_{ИТ}(t)$, $R_{Д}(t)$ и $R_{П}(t)$ - частные условные вероятности технического, информационного и процессного уровней. Тогда строгая интегральная оценка принимает мультипликативную форму:

$$R_{КС}(t) = R_{ИТ}(t) \cdot R_{Д}(t) \cdot R_{П}(t). \quad (5)$$

Если информационная составляющая рассчитывается как самостоятельный нормированный показатель $I_{inf}(t)$, в формуле (5) величина $R_{Д}(t)$ заменяется на $I_{inf}(t)$ после калибровки показателя как условной вероятности пригодности данных. Мультипликативная форма соответствует последовательной структуре необходимых условий и делает результат чувствительным к слабейшей компоненте.

(cc) BY

3. Формирование информационной и процессной компонент

Качество кадастровых данных оценивается по четырём базовым характеристикам: полноте *C(t)*, точности *A(t)*, топологической согласованности *T(t)* и непротиворечивости *S(t)*. Чтобы исключить полную компенсацию низкого значения одной характеристики высокими значениями остальных, применяется взвешенное геометрическое среднее:

$$G_Q(t) = \left(C(t)^{\alpha} \cdot A(t)^{\beta} \cdot T(t)^{\gamma} \cdot S(t)^{\delta} \right)^{\frac{1}{\alpha+\beta+\gamma+\delta}} \quad (6)$$

где α, β, γ и δ - неотрицательные веса, определяемые критичностью характеристик для соответствующего класса объектов.

Для линий связи может повышаться вес топологии, для площадок оборудования - координатной точности и полноты технических атрибутов.

Итоговый информационный показатель дополнительно учитывает вероятность актуальности записи *p(t)* и долю выявленных ошибок *ε(t)*:

$$I_{\text{inf}}(t) = G_Q(t) \cdot p(t) \cdot [1 - \varepsilon(t)], \quad (7)$$

где $G_Q(t)$ - агрегированное качество;

p(t) - вероятность того, что запись соответствует текущему состоянию объекта;

ε(t) - доля ошибочных записей в проверенной выборке.

Все множители нормируются в диапазоне [0; 1].

Для мониторинга исполнения регламентов используется аддитивный процессный индекс:

$$I_{proc}(t) = \sum_{j=1}^{m} v_j q_j(t), \quad \sum_{j=1}^{m} v_j = 1, \quad v_j \geq 0, \quad (8)$$

где $q_j(t)$ - нормированный показатель *j*-й процедуры (например, доля своевременно обновлённых записей или доля конфликтов, закрытых в установленный срок); v_j - его вес; *m* - число контролируемых процедур.

4. Управленческий контур и логико-структурная схема метода

Строгая вероятность необходима для контроля риска полного нарушения сервиса, однако она неудобна как единственный KPI: при снижении одного множителя результат быстро уменьшается и не показывает величину частичного улучшения других направлений. Поэтому вводится нормированный управленческий индекс:

$$R_{\text{КС}}(t) = \omega_1 R_{\text{ИТ}}(t) + \omega_2 I_{\text{inf}}(t) + \omega_3 I_{\text{proc}}(t), \quad \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1, \quad (9)$$

где ω_1, ω_2 и ω_3 - веса технической, информационной и процессной составляющих.

Веса устанавливаются экспертно или по последствиям ошибок и должны пересматриваться при изменении состава активов и регламентов. Индекс не является вероятностью без калибровки и применяется только для ранжирования, мониторинга и контроля целевых уровней.

Логико-структурная схема метода показана на рис.1. На первом этапе по журналам и данным аудита формируются четыре частных показателя. На втором этапе они поступают в два интегральных контура. На третьем этапе результаты совместно интерпретируются: вероятностная оценка задаёт критический риск, управленческий индекс показывает направление динамики, а декомпозиция частных компонент определяет причину отклонения. Корректирующее решение возвращается в виде обратной связи к регламентам обновления, правилам контроля и параметрам мониторинга.

(cc) BY

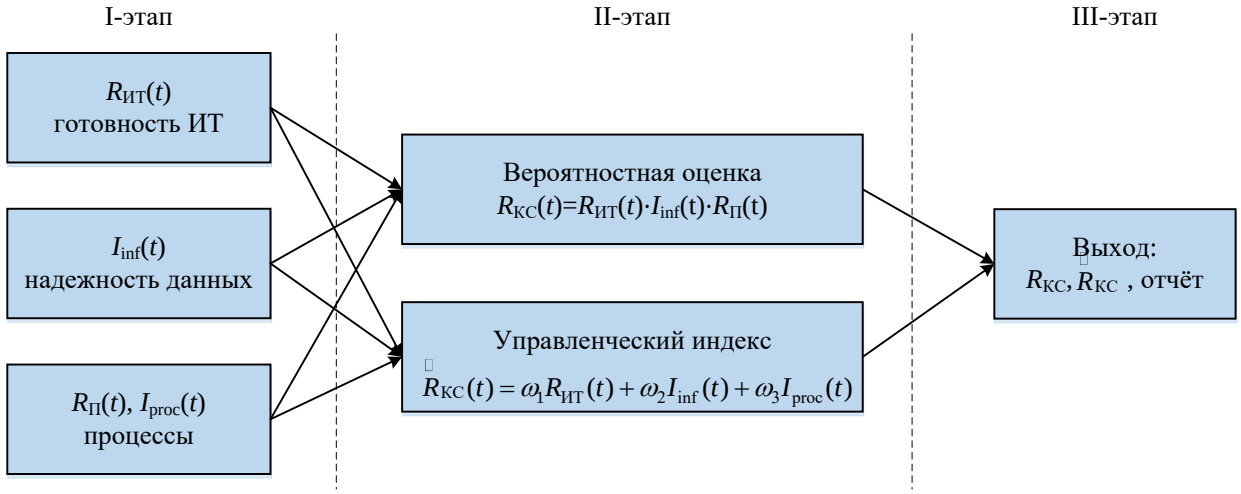


Рис.1. Логико-структурная схема метода многокомпонентной оценки надёжности системы управления ресурсами телекоммуникаций

Именно наличие двух различных по смыслу контуров и замкнутой обратной связи образует основную новизну метода. Схема не сводит надёжность к среднему значению: строгий контур блокирует компенсацию критического дефекта, а управленческий контур сохраняет чувствительность к плановым улучшениям и позволяет сопоставлять организационные единицы по единой шкале.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Аналитические свойства показателей

Чувствительность мультипликативной оценки к изменению каждой компоненты определяется частными производными:

$$\frac{\partial R_{KC}}{\partial R_{ИТ}} = I_{\text{inf}} R_{П},\ \frac{\partial R_{KC}}{\partial I_{\text{inf}}} = R_{ИТ} R_{П},\ \frac{\partial R_{KC}}{\partial R_{П}} = R_{ИТ} I_{\text{inf}} \quad , (10)$$

где остальные множители рассматриваются как фиксированные. Относительная эластичность R_{KC} по каждому множителю равна единице: снижение любой компоненты на 1% при прочих равных приводит к снижению интегральной вероятности приблизительно на 1%. Абсолютная чувствительность максимальна к той компоненте, при дифференцировании по которой произведение остальных компонент выше. Для управленческого индекса частные производные равны соответствующим весам ωk, поэтому его реакция заранее задаётся приоритетами управления.

Показатели не должны интерпретироваться взаимозаменяемо. Значение R_{KC}=0,70 означает вероятность одновременного выполнения необходимых условий при принятой калибровке. Значение $\tilde{R}_{KC}$=0,70 означает средневзвешенный уровень выполнения контролируемых характеристик. Совпадение численных значений не свидетельствует о совпадении риска.

2. Сценарный расчёт

Для проверки методической непротиворечивости рассмотрен иллюстративный горизонт 12 месяцев. Техническая готовность принята постоянной $R_{ИТ}$=0,99.

Информационная надёжность снижается по закону $I_{inf}(t)=0{,}96e^{-0{,}06t}$;

вероятность соблюдения процесса - $R_{П}(t)=0{,}95e^{-0{,}025t}$;

а управленческий процессный индекс - $I_{proc}(t)=0{,}93e^{-0{,}02t}$.

Для индекса (9) заданы веса ω_1=0,25, ω_2=0,45 и ω_3=0,30. Такой сценарий имитирует накопление неподтверждённых изменений при формально доступной платформе.

(cc) BY

Таблица 2.

Динамика частных и интегральных показателей

t, мес.	$R_{ИТ}$	I_{inf}	$R_{П}$	I_{proc}	$R_{КС}$	$\tilde{R}_{КС}$
0	0,990	0,960	0,950	0,930	0,903	0,959
3	0,990	0,802	0,881	0,876	0,700	0,871
6	0,990	0,670	0,818	0,825	0,542	0,796
9	0,990	0,559	0,759	0,777	0,420	0,732
12	0,990	0,467	0,704	0,732	0,326	0,677

Результаты показывают (рис.2), что к шестому месяцу вероятностная оценка снижается до 0,542 и пересекает контрольный уровень 0,70 между третьим и четвёртым месяцами. Управленческий индекс на шестом месяце сохраняет значение 0,796 и пересекает уровень 0,70 только к одиннадцатому месяцу. Следовательно, ориентация только на аддитивный KPI создаёт риск позднего обнаружения критического ухудшения.

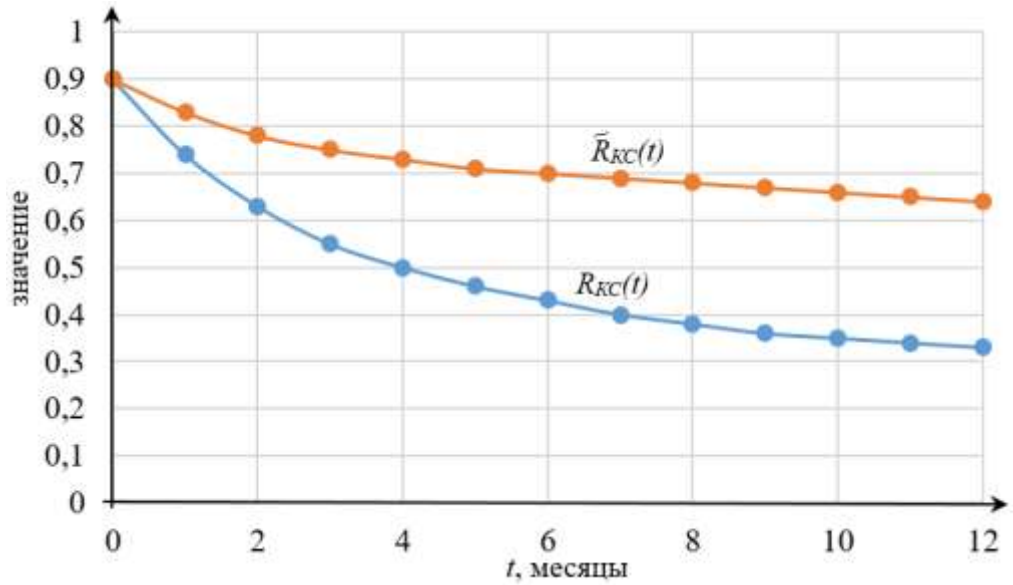


Рис.2. Сравнение динамики вероятностной оценки и управленческого индекса

Для сопоставления изменения используется относительный показатель:

$$\Delta_x(t) = \frac{x(t) - x(0)}{x(0)} \cdot 100\%, \qquad (11)$$

где $\Delta_x(t)$ - относительное изменение выбранного интегрального показателя от начального уровня.

За 12 месяцев $R_{КС}$ уменьшается на 63,9%, тогда как $\tilde{R}_{КС}$ - на 29,4%. Более выраженное снижение первого показателя обусловлено последовательной логикой выполнения условий. Второй показатель изменяется плавнее и пригоден для контроля эффекта организационных мероприятий, но не должен заменять оценку риска полного отказа.

3. Правило принятия решения

Для эксплуатационного применения предлагается трёхуровневое правило.

(cc) BY dtai.uz

1) Если R_{KC} и $\tilde{R}_{KC}$ выше установленных порогов, система работает в штатной зоне.

2) Если управленческий индекс сохраняет допустимое значение, но R_{KC} пересекает предупредительный порог, выполняется обязательная декомпозиция по $R_{ИТ}$, I_{inf} и $R_{П}$.

3) Если оба показателя находятся ниже критических уровней, инициируются внеплановый аудит, приоритетная верификация данных и пересмотр сроков обработки изменений.

Конкретные пороги определяются последствиями ошибки и классом актива; единое значение для всех объектов методически необоснованно.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Предложенный метод развивает подходы к многомерному качеству данных [3-8] за счёт включения их в структуру надёжности сервиса. Стандарты [9-11] задают характеристики и принципы оценки, но не определяют, каким образом объединять техническую готовность, пригодность данных и дисциплину процесса в один механизм принятия решения. Двухконтурная схема устраняет этот разрыв: вероятностная модель сохраняет строгую интерпретацию, а индексная форма обеспечивает управленческую наблюдаемость.

По сравнению с оценкой только коэффициента готовности метод обнаруживает латентный информационный отказ. В сценарии $R_{ИТ}$ остаётся равной 0,99, но R_{KC} снижается до 0,326. Следовательно, технический мониторинг без аудита данных может формировать ложное представление о состоянии сервиса. По сравнению с единственным средневзвешенным индексом мультипликативный контур раньше сигнализирует о достижении опасной зоны. Одновременно индексный контур полезен для оценки результата мероприятий, поскольку показывает постепенное изменение без резкого маскирующего влияния произведения.

Практическая реализация требует калибровки частных показателей. Достоверность результата зависит от полноты эксплуатационных журналов, синхронизации времени, устойчивых идентификаторов объектов и доли записей, охваченных аудитом. Значения C, A, T и S должны рассчитываться по единым правилам для сравниваемых периодов. Веса α, β, γ, δ, ν_j и ω_k необходимо связывать с последствиями дефекта, а не выбирать только по удобству получения данных.

Ограничением исследования является иллюстративный характер сценария. Полученные численные значения подтверждают свойства метода, но не являются нормативами для конкретного оператора. Для эмпирической апробации требуется обезличенная выборка журналов, независимый аудит и оценка доверительных интервалов. При выраженной сезонности или пакетных обновлениях вместо стационарных интенсивностей следует применять кусочно-постоянные параметры либо полумарковское описание процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан многокомпонентный метод, объединяющий техническую готовность, надёжность данных и устойчивость процессов сопровождения. Основным результатом является логико-структурная схема двухконтурной интеграции: вероятностный контур оценивает критический риск без компенсации слабой компоненты, управленческий контур формирует взвешенный индекс для мониторинга и KPI, а декомпозиция связывает оценку с причиной отклонения. Сценарный расчёт подтвердил, что при неизменной технической готовности деградация данных снижает строгую оценку быстрее управленческого индекса. Поэтому R_{KC} следует использовать как сигнал критического риска, а $\tilde{R}_{KC}$ - для контроля динамики. Дальнейшая работа должна включать калибровку по обезличенным журналам и разработку порогов по классам активов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Makhmudov M. Analytical Model for Assessing the Reliability of Accounting

(cc) BY

Data of Telecommunication Infrastructure Facilities // International Journal of Innovative Research in Computer Science and Technology. - 2026. - Vol. 14, no. 3. - P. 1-7. - DOI: 10.55524/ijircst.2026.14.3.1.
2. Makhmudov M. Models and Algorithm for Integral Reliability Assessment of the Telecommunication Infrastructure Accounting System // Danish Scientific Journal. - 2026. - No. 107. - P. 135-140. - DOI: 10.5281/zenodo.19922815.
3. Wang R. Y., Strong D. M. Beyond Accuracy: What Data Quality Means to Data Consumers // Journal of Management Information Systems. - 1996. - Vol. 12, no. 4. - P. 5-33. - DOI: 10.1080/07421222.1996.11518099.
4. Lee Y. W., Strong D. M., Kahn B. K., Wang R. Y. AIMQ: A Methodology for Information Quality Assessment // Information & Management. - 2002. - Vol. 40, no. 2. - P. 133-146. - DOI: 10.1016/S0378-7206(02)00043-5.
5. Pipino L. L., Lee Y. W., Wang R. Y. Data Quality Assessment // Communications of the ACM. - 2002. - Vol. 45, no. 4. - P. 211-218. - DOI: 10.1145/505248.506010.
6. Batini C., Scannapieco M. Data and Information Quality: Dimensions, Principles and Techniques. - Cham: Springer, 2016. - 500 p. - DOI: 10.1007/978-3-319-24106-7.
7. Heinrich B., Klier M. Metric-based Data Quality Assessment - Developing and Evaluating a Probability-based Currency Metric // Decision Support Systems. - 2015. - Vol. 72. - P. 82–96. – DOI: 10.1016/j.dss.2015.02.009.
8. Ehrlinger L., Wöß W. A Survey of Data Quality Measurement and Monitoring Tools // Frontiers in Big Data. - 2022. - Vol. 5. - Art. 850611. - DOI: 10.3389/fdata.2022.850611.
9. ISO/IEC 25012:2008. Software Engineering - Software Product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Data Quality Model. – Geneva: ISO, 2008. – 13 p.
10. ISO 8000-1:2022. Data Quality - Part 1: Overview. - Geneva: ISO, 2022. – 20 p.
11. ISO 19157-1:2023. Geographic Information - Data Quality - Part 1: General Requirements. – Geneva: ISO, 2023. – 102 p.
12. Fundamentals of Spatial Data Quality / ed. by R. Devillers, R. Jeansoulin. – London: ISTE; Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. – 312 p. – DOI: 10.1002/9780470612156.
13. Trivedi K. S., Bobbio A. Reliability and Availability Engineering: Modeling, Analysis, and Applications. – Cambridge: Cambridge University Press, 2017. – 726 p.
14. DOI: 10.1017/9781316163047.
15. Recommendation ITU-T E.800 (09/2008). Definitions of Terms Related to Quality of Service. – Geneva: International Telecommunication Union, 2008. – 30 p.

(cc) BY *dtai.uz*