

УДК 004.4'2

DOI: [10.26102/2310-6018/2026.55.4.006](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2026.55.4.006)

Модификация модели информационного процесса удаленного мониторинга состояния объектов на основе гетерогенных источников данных

В.В. Гилка, А.С. Кузнецова✉, Ю.А. Качанов, Д.А. Морозов, А.С. Ломакин

*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград,
Российская Федерация*

Резюме. В статье предложена модификация модели информационного процесса удаленного мониторинга состояния объектов, направленная на повышение корректности интерпретации результатов в условиях гетерогенности источников данных, различий частоты измерений, задержек поступления и неполноты наблюдений. Цель работы заключается в расширении исходной модели за счет включения дополнительных этапов и механизмов, обеспечивающих контроль качества данных, согласование потоков по времени, устойчивость уведомлений и воспроизводимость получаемых оценок. В качестве методов использованы структурно-функциональная декомпозиция информационного процесса и формализация принципов обработки данных на каждом добавленном этапе. В рамках модификации введены: профиль объекта как контекст интерпретации параметров и механизм однозначной привязки измерений к объекту; временная синхронизация потоков на основе оконной обработки; контур контроля качества данных с формированием меток валидности и выявлением аномальных значений; показатель доверия к оценке состояния, учитывающий полноту и качество наблюдений; событийная интерпретация результатов; механизмы устойчивых уведомлений на основе расширенной пороговой модели с гистерезисом и ограничением частоты сообщений; средства объяснимого вывода, указывающие параметры, повлиявшие на присвоенный статус; а также трассируемость результатов за счет журналирования входных данных, правил интерпретации и выходных оценок. В результате сформирована уточненная структура информационного процесса, позволяющая получать оценку состояния с учетом качества и согласованности входных данных, а также обеспечивать устойчивую выдачу результатов субъекту мониторинга.

Ключевые слова: удаленный мониторинг, состояние объекта, гетерогенный источник информации, информационный процесс, структурно-функциональная модель, контроль качества данных, временная синхронизация, оконная обработка, устойчивые уведомления, трассируемость результатов.

Для цитирования: Гилка В.В., Кузнецова А.С., Качанов Ю.А., Морозов Д.А., Ломакин А.С. Модификация модели информационного процесса удаленного мониторинга состояния объектов на основе гетерогенных источников данных. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2026;14(4). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/article?id=2237> DOI: 10.26102/2310-6018/2026.55.4.006

Modification of the information process model for remote monitoring of object condition based on heterogeneous data sources

V.V. Gilka, A.S. Kuznetsova✉, Yu.A. Kachanov, D.A. Morozov, A.S. Lomakin

Volgograd State Technical University, Volgograd, the Russian Federation

Abstract. The paper proposes a modification of the information process model for remote monitoring of object condition aimed at improving the correctness of result interpretation under conditions of

heterogeneous data sources, different measurement frequencies, data transmission delays, and incomplete observations. The objective of the study is to extend the original model by incorporating additional stages and mechanisms that ensure data quality control, temporal alignment of data streams, robustness of notifications, and reproducibility of the obtained assessments. The research methods include structural and functional decomposition of the information process and formalization of data processing principles at each added stage. The proposed modification introduces: an object profile serving as a context for parameter interpretation and a mechanism for unambiguous assignment of measurements to a specific object; temporal synchronization of data streams based on window processing; a data quality control loop with validity labeling and anomaly detection; a confidence indicator for state assessment considering the completeness and quality of observations; event-based interpretation of results; robust notification mechanisms based on an extended threshold model with hysteresis and message rate limiting; explainable inference tools identifying the parameters that influenced the assigned status; and traceability of results through logging of input data, interpretation rules, and output assessments. As a result, a refined structure of the information process has been developed, enabling state assessment that accounts for the quality and consistency of input data and ensuring stable delivery of results to the monitoring subject.

Keywords: remote monitoring, object condition, heterogeneous data source, information process, structural-functional model, data quality control, temporal synchronization, window processing, robust notifications, traceability of results.

For citation: Gilka V.V., Kuznetsova A.S., Kachanov Yu.A., Morozov D.A., Lomakin A.S. Modification of the information process model for remote monitoring of object condition based on heterogeneous data sources. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2026;14(4). (In Russ.). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/article?id=2237> DOI: 10.26102/2310-6018/2026.55.4.006

Введение

Удаленный мониторинг состояния объектов (УМСО) применяется в задачах, где требуется непрерывное или регулярное получение информации о состоянии объекта на основе измеряемых параметров, поступающих от распределенных источников данных. Современные системы мониторинга формируются в условиях роста разнообразия измерительных устройств и каналов передачи, что приводит к появлению гетерогенных потоков данных: значения параметров могут отличаться по формату представления, единицам измерения, частоте регистрации, иметь задержки поступления, пропуски и аномальные выбросы. В результате усложняется обеспечение сопоставимости данных и повышаются риски некорректной интерпретации состояния объекта на стороне субъекта мониторинга [1, 2].

Практика разработки и эксплуатации систем УМСО показывает, что даже при наличии базового конвейера сбора и обработки измерений возникает ряд типовых проблем, непосредственно влияющих на достоверность выходной информации: отсутствие явного контура контроля качества данных и фиксации валидности измерений, несогласованность потоков по времени, неустойчивое формирование уведомлений при колебаниях параметров около порогов, а также недостаточная трассируемость результатов, затрудняющая воспроизводимость оценки состояния и объяснение причин присвоения статуса [3, 4]. Перечисленные особенности приводят к росту числа ложных или избыточных уведомлений и снижению доверия к результатам мониторинга, особенно при использовании нескольких разнородных источников [5, 6].

В связи с этим актуальной является модификация модели информационного процесса УМСО, ориентированная на добавление этапов и механизмов, обеспечивающих корректную интеграцию и согласование данных, повышение устойчивости интерпретации состояния и воспроизводимость результатов.

Целью статьи является представление модификации модели информационного процесса удаленного мониторинга состояния объектов за счет введения дополнительных этапов обработки и представления данных.

Для достижения цели решены следующие задачи:

- введён профиль объекта как контекст интерпретации параметров и механизм однозначной привязки измерений к объекту;
- введены средства временной синхронизации потоков на основе оконной обработки;
- сформирован контур контроля качества данных с метками валидности и выявлением аномалий;
- предложены показатель доверия к оценке состояния и событийная интерпретация результатов;
- уточнены механизмы устойчивых уведомлений на основе расширенной пороговой модели;
- введены средства объяснимого вывода и трассируемости результатов.

Научная новизна работы заключается в модификации модели информационного процесса УМСО, включающей согласование гетерогенных потоков по времени, контур контроля качества данных и расширение представления результатов мониторинга за счет доверия к оценке, событийной интерпретации, объяснимости и трассируемости. Практическая значимость состоит в возможности применения предложенной модификации при проектировании систем УМСО для снижения чувствительности к пропускам, задержкам и аномалиям данных, а также для повышения устойчивости уведомлений и воспроизводимости результатов [5, 6].

Материалы и методы

В работе используется структурно-функциональный подход к описанию информационного процесса удаленного мониторинга состояния объектов, предусматривающий декомпозицию процесса на последовательность этапов с фиксированными входными и выходными данными, а также выделение механизмов, обеспечивающих корректность обработки гетерогенных потоков. Модификация исходной модели выполняется путем формализации назначений добавляемых этапов и определения их роли в обеспечении сопоставимости данных и воспроизводимости результатов оценивания состояния.

В качестве базового принципа интеграции данных принимается унифицированное представление измерений, при котором каждое наблюдение рассматривается как кортеж, включающий идентификатор объекта и источника данных, временную метку, значение параметра, единицы измерения и атрибуты качества. Такой подход обеспечивает возможность согласованной обработки измерений от разнородных устройств и дальнейшего сопоставления параметров в рамках одного объекта мониторинга. Дополнительно вводится профиль объекта, содержащий контекст интерпретации параметров (в том числе допустимые диапазоны и настройки порогов), что позволяет учитывать особенности конкретного объекта при преобразовании количественных значений в качественные уровни состояния.

Согласование потоков по времени реализуется на основе принципа оконной обработки данных: измерения приводятся к единому интервалу наблюдения с использованием процедур агрегирования в пределах окна. Данный принцип применяется для устранения несопоставимости, обусловленной различием частоты регистрации, а также для корректного учета задержек поступления данных. Контур контроля качества данных формируется на основе набора правил валидации (проверка полноты,

диапазонов допустимых значений, выявление выбросов и аномальных изменений), результатом которых является присвоение измерениям меток валидности. Метки качества далее учитываются при вычислении итоговой оценки состояния и при формировании показателя доверия к результату.

Преобразование количественных значений в качественные уровни состояния выполняется на основе пороговой интерпретации нормализованных параметров. В целях повышения устойчивости представления результатов вводятся механизмы устойчивых уведомлений, включающие расширенную пороговую модель, гистерезис и ограничение частоты сообщений, что снижает вероятность генерации повторяющихся уведомлений при колебаниях параметров вблизи границ уровней. Для повышения интерпретируемости результатов применяется принцип объяснимого вывода: вместе с присвоенным статусом формируется перечень параметров и условий, оказавших влияние на итоговую оценку [7, 8].

Принцип трассируемости обеспечивается журналированием исходных данных, промежуточных результатов предобработки, примененных правил интерпретации и финальных оценок, что позволяет воспроизводить результаты мониторинга и анализировать причины изменений статуса

Модифицированная модель информационного процесса УМСО. В рамках ранее выполненных исследований была разработана модель информационного процесса удаленного мониторинга состояния объектов, включающая последовательность этапов интеграции данных от гетерогенных источников информации, их обработки и представления результатов субъекту мониторинга. Научная новизна предложенной модели информационного процесса и ее отличие от существующих заключается в том, что был введен блок подготовки различных вариантов представления информации для различных классов субъектов, что дает возможность контроля состояния целевого объекта различными классами субъектов [9, 10]. Текущая версия базовой модели представлена на Рисунке 1.

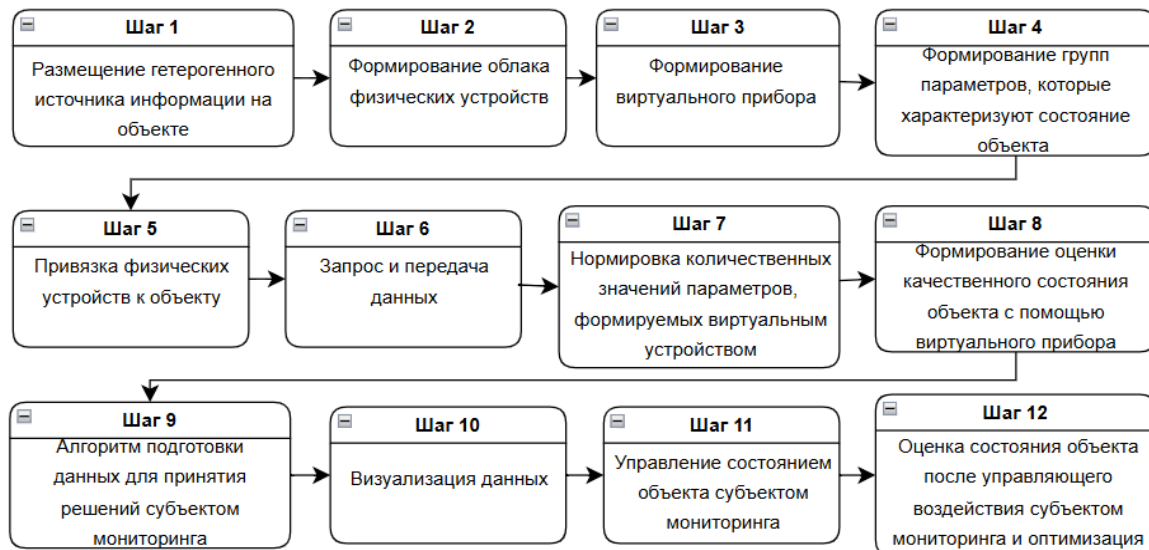


Рисунок 1 – Базовая модель информационного процесса УМСО

Figure 1 – Basic model of the information process for remote monitoring of object condition

Подробное описание назначения и взаимодействия базовых блоков модели приведено в ранее опубликованных работах [9, 10]. В настоящей статье рассматривается модификация указанной модели, направленная на повышение корректности интерпретации состояния объекта при гетерогенности источников данных, наличии

задержек и пропусков наблюдений, а также на повышение устойчивости уведомлений и воспроизводимости результатов. Модифицированная модель представлена на Рисунке 2.

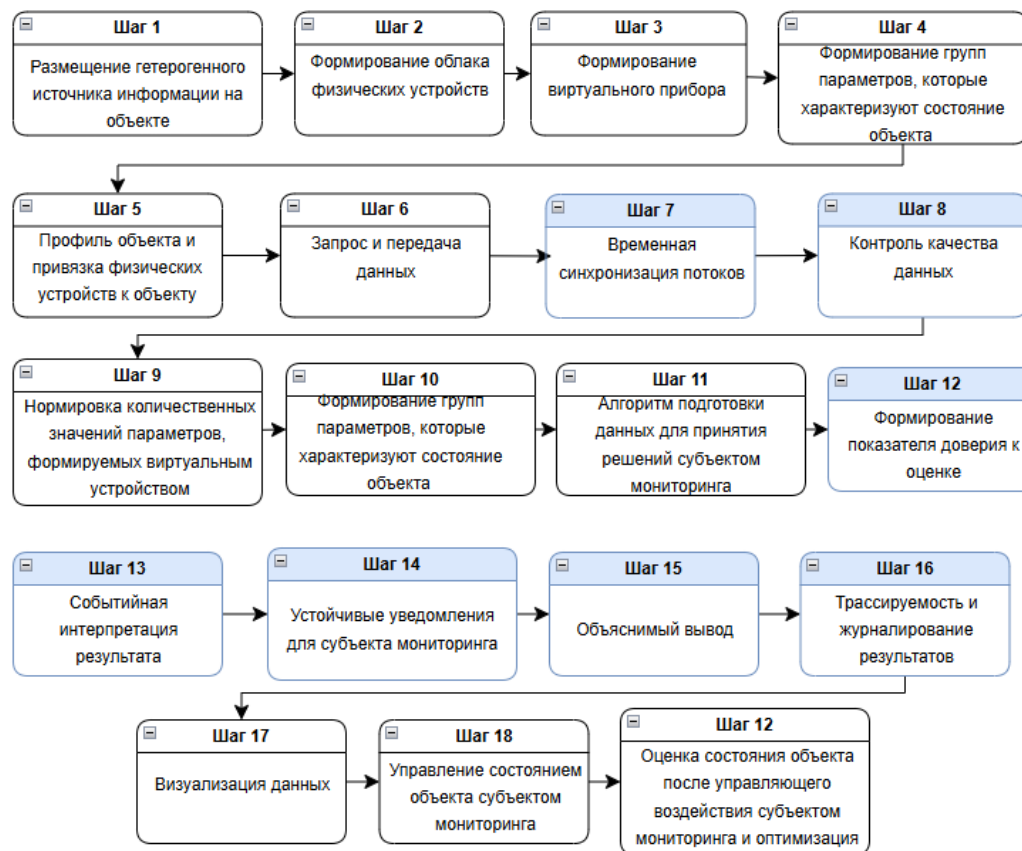


Рисунок 2 – Модифицированная модель информационного процесса УМСО
Figure 1 – Modified model of the information process for remote monitoring of object condition

Новые элементы, введенные в рамках модификации, выделены цветом. В отличие от базовой модели, модифицированная версия включает: профиль объекта и привязку физических устройств к объекту, временную синхронизацию потоков, контроль качества данных и метки валидности, показатель доверия к оценке состояния, событийную интерпретацию результатов, устойчивые уведомления, средства объяснимого вывода; а также трассируемость результатов за счет журналирования входных данных, правил интерпретации и выходных оценок. Далее в статье приводится описание только добавленных этапов и механизмов, поскольку базовые блоки модели подробно рассмотрены в работах. В модифицированной модели информационного процесса удаленного мониторинга вводится понятие профиля объекта, предназначенного для формализации контекста интерпретации измеряемых параметров и обеспечения однозначного сопоставления данных конкретному объекту мониторинга. Профиль объекта используется на этапе предварительной обработки данных и является связующим элементом между гетерогенными источниками информации и процедурами оценки состояния.

Пусть $O = o_1, o_2, \dots, o_N$ множество объектов мониторинга, $D = d_1, d_2, \dots, d_M$ множество физических устройств (источников данных), $P = p_1, p_2, \dots, p_K$ множество контролируемых параметров. Для каждого объекта o_i формируется профиль:

$$P(o_i) = \langle D_i, P_i, R_i, W_i \rangle, \quad (1)$$

где $D_i \subseteq D$ – подмножество физических устройств, связанных с объектом o_i ; $P_i \subseteq P$ – множество параметров, используемых для оценки состояния объекта; $R_i = p_j^{\min}{}^{max}$ – набор допустимых диапазонов значений параметров; $W_i = w_j$ – коэффициенты значимости параметров при формировании итоговой оценки состояния.

Привязка «объект–устройства» реализуется в виде отображения:

$$f: D \rightarrow O. \quad (2)$$

Оно обеспечивает однозначное сопоставление каждого физического устройства соответствующему объекту мониторинга. Использование данного отображения позволяет исключить неоднозначность интерпретации данных при работе с распределенными и мультифункциональными устройствами, а также при динамическом изменении состава источников информации.

Каждое измерение, поступающее в систему мониторинга, представляется в виде кортежа:

$$x = \langle o_i, d_j, p_k, t, v \rangle, \quad (3)$$

где o_i – идентификатор объекта; d_j – идентификатор устройства; p_k – идентификатор параметра; t – временная метка; v – измеренное значение.

Наличие профиля объекта позволяет на раннем этапе обработки проверить принадлежность параметра p_k множеству P_i и корректность значения v относительно диапазонов R_i . Введение профиля объекта обеспечивает адаптацию процессов нормализации и интерпретации данных к индивидуальным особенностям объекта мониторинга и создает формальную основу для последующих этапов обработки, включая контроль качества данных, оценку состояния и формирование устойчивых уведомлений. При этом профиль объекта не реализует функции управления состоянием, а используется исключительно в качестве контекста интерпретации количественных показателей.

В условиях гетерогенности источников данных измерения, поступающие от различных устройств, могут отличаться по частоте регистрации, моментам фиксации и задержкам передачи. Для обеспечения сопоставимости параметров в модифицированной модели вводится этап временной синхронизации потоков на основе оконной обработки данных. Пусть для параметра p_k , связанного с объектом o_i , формируется временной ряд наблюдений, представленный последовательностью измерений:

$$X_{i,k} = (t_1, v_1), (t_2, v_2), \dots, (t_n, v_n), \quad (4)$$

где t_l – временная метка измерения; v_l – значение параметра.

Вводится разбиение временной оси на интервалы фиксированной длины ΔT , формирующие последовательность окон наблюдения:

$$W_m = (T_m, T_m + \Delta T), \quad (5)$$

где

$$T_m = T_0 + m\Delta T, \\ m = 0, 1, 2, \dots$$

Для каждого окна W_m формируется агрегированное значение параметра:

$$\tilde{v}_{i,k}^{(m)} = A(v_l \mid t_l \in W_m), \quad (6)$$

где A – функция агрегирования. В зависимости от характера параметра в качестве A могут использоваться операции среднего значения, медианы, максимума, минимума или последнее доступное значение в пределах окна.

Таким образом, временная синхронизация реализуется посредством отображения исходного временного ряда:

$$X_{i,k} \rightarrow \tilde{X}i, k = (T_m, \tilde{v}i, k^{(m)}). \quad (7)$$

Это обеспечивает приведение потоков различной частоты к единому временному масштабу.

Дополнительно учитываются задержки поступления данных. Если измерение с временной меткой t_l поступает после завершения окна W_m , применяется правило включения в соответствующее окно при условии $t_l \in W_m$ либо его игнорирования при превышении допустимого интервала запаздывания δ :

$$t_{\text{arrival}} - t_l \leq \delta. \quad (8)$$

Введение оконной обработки позволяет устранить несопоставимость потоков различной частоты, снизить влияние кратковременных выбросов, обеспечить корректность последующей нормализации и оценки состояния.

Таким образом, этап временной синхронизации формирует согласованные по времени последовательности параметров, являющиеся входом для процедур контроля качества данных и интерпретации состояния объекта.

После этапа временной синхронизации в модифицированной модели вводится контур контроля качества данных, предназначенный для выявления некорректных, неполных и аномальных измерений. Цель данного этапа заключается в формировании дополнительных атрибутов, характеризующих достоверность каждого агрегированного значения параметра и учитываемых при дальнейшей оценке состояния объекта.

Пусть после оконной обработки для параметра p_k объекта o_i получена последовательность агрегированных значений:

$$\tilde{X}i, k = (T_m, \tilde{v}i, k^{(m)}). \quad (9)$$

Для каждого значения $\tilde{v}_{i,k}^{(m)}$ вводится индикатор качества:

$$q_{i,k}^{(m)} \in \{0,1\}, \quad (10)$$

где $q_{i,k}^{(m)} = 1$ значение признано валидным; $q_{i,k}^{(m)} = 0$ значение признано некорректным.

Формирование индикатора качества осуществляется на основе совокупности проверок:

1. Проверка полноты данных, при которой фиксируется наличие измерений в пределах окна:

$$\exists, v_l: t_l \in W_m. \quad (11)$$

2. Проверка допустимого диапазона значений, определенного в профиле объекта:

$$\tilde{v}_{i,k}^{(m)} \in R_i. \quad (12)$$

3. Проверка на аномальные отклонения, основанная на сравнении с предыдущим значением:

$$|\tilde{v}_{i,k}^{(m)} - \tilde{v}_{i,k}^{(m-1)}| \leq \gamma_k, \quad (13)$$

где γ_k – допустимая скорость изменения параметра.

Итоговый индикатор качества формируется как логическая функция результатов проверок:

$$q_{i,k}^{(m)} = f_q(\text{completeness, range, stability}), \quad (14)$$

где f_q – функция, принимающая значение 1 только при выполнении всех критериев корректности.

В результате этапа контроля качества каждое агрегированное измерение представляется расширенным кортежем:

$$\hat{x}_{i,k}^{(m)} = \langle T_m, \tilde{v}_{i,k}^{(m)}, q_{i,k}^{(m)} \rangle. \quad (15)$$

Введение меток валидности позволяет исключить влияние некорректных значений на итоговую оценку состояния, учитывать полноту и стабильность данных при вычислении показателя доверия, обеспечить прозрачность и воспроизводимость интерпретации результатов. Таким образом, этап контроля качества данных формирует дополнительный информационный слой, характеризующий достоверность измерений и повышающий устойчивость последующих процедур оценки состояния объекта.

Введение контура контроля качества данных позволяет перейти к формированию дополнительной характеристики результата мониторинга – показателя доверия к оценке состояния объекта. Данный показатель отражает степень полноты и достоверности исходных данных, использованных при формировании итогового статуса.

Пусть для объекта o_i в окне наблюдения W_m используется множество параметров $P_i = p_1, p_2, \dots, p_K$. Для каждого параметра после этапа контроля качества сформирован индикатор валидности $q_{i,k}^{(m)} \in \{0,1\}$. Введем коэффициенты значимости параметров $W_i = w_1, w_2, \dots, w_K$, где $w_k \geq 0$ и выполняется условие нормировки:

$$\sum_{k=1}^K w_k = 1. \quad (16)$$

Показатель доверия к оценке состояния объекта в окне W_m определяется как взвешенная сумма индикаторов валидности:

$$C_i^{(m)} = \sum_{k=1}^K w_k \cdot q_{i,k}^{(m)}. \quad (17)$$

Значение $C_i^{(m)} \in [0,1]$ характеризует долю значимых параметров, признанных корректными в рассматриваемом интервале наблюдения. При $C_i^{(m)} = 1$ оценка состояния формируется на основе полностью валидных данных, тогда как уменьшение значения показателя свидетельствует о наличии пропусков или аномалий. Дополнительно может вводиться минимально допустимое значение доверия C_{min} , при котором итоговая оценка состояния считается достоверной:

$$C_i^{(m)} \geq C_{min}. \quad (18)$$

Если условие не выполняется, статус объекта может сопровождаться указанием на пониженную достоверность либо интерпретироваться как неопределенный.

Таким образом, показатель доверия позволяет количественно оценить надежность сформированного состояния объекта и обеспечивает дополнительную прозрачность интерпретации результатов мониторинга без вмешательства в процедуры управления состоянием.

Помимо формирования текущего качественного состояния объекта, в модифицированной модели вводится событийная интерпретация результатов мониторинга. Данный этап предназначен для фиксации изменений состояния во времени

и представления динамики в виде дискретных событий, удобных для анализа субъектом мониторинга.

Пусть для объекта o_i в окне наблюдения W_m сформирована качественная оценка состояния:

$$S_i^{(m)} \in \mathcal{S}, \quad (19)$$

где $\mathcal{S} = S_0, S_1, \dots, S_L$ – конечное множество уровней состояния (например, норма, умеренное отклонение, критическое состояние и т. д.).

Событие изменения состояния фиксируется при выполнении условия перехода между уровнями:

$$S_i^{(m)} \neq S_i^{(m-1)}. \quad (20)$$

В этом случае формируется событие типа:

$$E_i^{(m)} = (S_i^{(m-1)} \rightarrow S_i^{(m)}, T_m). \quad (21)$$

В зависимости от направления перехода различаются:

- событие ухудшения состояния, если уровень увеличивается по шкале критичности;
- событие восстановления, если уровень уменьшается;
- событие стабилизации при возвращении к исходному уровню.

Дополнительно может фиксироваться событие потери данных при снижении показателя доверия ниже допустимого значения $C_i^{(m)} < C_{min}$. В этом случае формируется событие неопределенности состояния $E_i^{(m)} = (uncertain, T_m)$. Таким образом, вместо непрерывного потока статусов субъект мониторинга получает последовательность значимых изменений $\mathcal{E}_i = E_i^{(m)}$.

Введение событийной интерпретации позволяет сократить объем передаваемой информации, выделять моменты, требующие внимания, формировать лог мониторинга в дискретной форме, обеспечить основу для устойчивых уведомлений. Данный этап не изменяет процедуру оценки состояния, а формирует дополнительный уровень представления результатов, отражающий динамику состояния объекта во времени.

Для обеспечения корректного информирования субъекта мониторинга в модифицированной модели вводится механизм устойчивых уведомлений, предназначенный для снижения чувствительности системы к кратковременным колебаниям параметров и предотвращения генерации избыточных сообщений.

Пусть для объекта o_i в окне наблюдения W_m определено качественное состояние:

$$S_i^{(m)} \in \mathcal{S}. \quad (22)$$

Уровни состояния упорядочиваются по возрастанию критичности:

$$S_0 < S_1 < \dots < S_L. \quad (23)$$

Для каждого параметра p_k задаются пороговые значения $\theta_k = \theta_{k,0}, \theta_{k,1}, \dots, \theta_{k,L}$, определяющие границы перехода между уровнями состояния.

Для предотвращения «неустойчивых переходов между уровнями состояния» при колебаниях значения параметра вблизи порога вводится интервал гистерезиса $h_k > 0$. Переход к более критичному уровню выполняется при условии:

$$\tilde{v}_i, k^{(m)} > \theta_k, l + h_k. \quad (24)$$

Возврат к менее критичному уровню при условии:

$$\tilde{v}_i, k^{(m)} < \theta k, l - h_k. \quad (25)$$

Таким образом, изменение уровня состояния требует превышения порога с учётом дополнительного запаса, что исключает частые переключения при малых флуктуациях.

Ограничение частоты уведомлений строится следующим образом. В момент формирования последнего уведомления для объекта o_i обозначается как T_i^{last} . Вводится минимальный интервал между уведомлениями $\tau_i > 0$. Новое уведомление формируется только при выполнении условия:

$$T_m - T_i^{\text{last}} \geq \tau_i. \quad (26)$$

Данное ограничение предотвращает повторную отправку уведомлений при сохранении состояния в пределах одного уровня критичности.

Уведомление формируется при одновременном выполнении двух условий:

$$S_i^{(m)} \neq S_i^{(m-1)}, \quad (27)$$

$$C_i^{(m)} \geq C_{\min}. \quad (28)$$

Таким образом, уведомления генерируются только при достоверном изменении состояния и с учетом устойчивости перехода. Введение механизмов пороговой интерпретации с гистерезисом и ограничением частоты сообщений обеспечивает снижение числа ложных и повторяющихся уведомлений, повышает устойчивость функционирования системы и способствует более адекватному восприятию информации субъектом мониторинга.

В целях повышения интерпретируемости результатов мониторинга в модифицированной модели вводится механизм объяснимого вывода, обеспечивающий формирование причин присвоения объекту конкретного уровня состояния. Данный этап не изменяет процедуру оценки состояния, а формирует дополнительную информацию, раскрывающую вклад отдельных параметров в итоговый статус.

Пусть для объекта o_i в окне наблюдения W_m определен уровень состояния $S_i^{(m)}$.

Для каждого параметра $p_k \in P_i$ после нормализации определяется частный уровень состояния $s_{i,k}^{(m)}$.

Итоговое состояние формируется как функция от множества частных уровней:

$$S_i^{(m)} = F(s_{i,1}^{(m)}, s_{i,2}^{(m)}, \dots, s_{i,K}^{(m)}). \quad (29)$$

В рамках объяснимого вывода определяется множество параметров, оказавших влияние на формирование текущего уровня состояния:

$$\mathcal{P}_i^{(m)} = p_k \in P_i \mid s_{i,k}^{(m)} \neq S_0. \quad (30)$$

Множество $\mathcal{P}_i^{(m)}$ включает параметры, значения которых вышли за пределы нормального уровня и привели к изменению статуса объекта. Дополнительно может вычисляться вклад параметра в итоговую оценку с учетом его коэффициента значимости:

$$\alpha_{i,k}^{(m)} = w_k \cdot 1(s_{i,k}^{(m)} \neq S_0), \quad (31)$$

где w_k – коэффициент значимости параметра; 1 – индикаторная функция.

Таким образом, объяснимый вывод представляется в виде кортежа:

$$\mathcal{E}_i^{\text{exp}}(m) = \langle S_i^{(m)}, \mathcal{P}_i^{(m)}, \alpha_i, k^{(m)} \rangle. \quad (32)$$

Формирование такого представления позволяет указать параметры, повлиявшие на присвоенный статус, количественно оценить их вклад, обеспечить прозрачность интерпретации для субъекта мониторинга, повысить доверие к результатам системы.

Механизм объяснимого вывода не вмешивается в процедуру определения состояния, а служит дополнительным уровнем представления информации, обеспечивающим обоснованность и воспроизводимость интерпретации результатов мониторинга.

Пусть для объекта o_i в окне наблюдения W_m сформированы:

- агрегированные значения параметров $\tilde{v}_{i,k}^{(m)}$;
- индикаторы качества $q_{i,k}^{(m)}$;
- итоговый уровень состояния $S_i^{(m)}$;
- показатель доверия $C_i^{(m)}$.

Журналирование осуществляется посредством формирования записи мониторинга вида:

$$L_i^{(m)} = \langle T_m, \{\tilde{v}_{i,k}^{(m)}\}, \{q_{i,k}^{(m)}\}, S_i^{(m)}, C_i^{(m)}, \mathcal{P}_i^{(m)} \rangle, \quad (33)$$

где T_m – временная метка окна наблюдения; $\mathcal{P}_i^{(m)}$ – множество параметров, повлиявших на статус.

Совокупность записей формирует журнал мониторинга объекта:

$$\mathcal{L}_i = L_i^{(m)} m = 0^M. \quad (34)$$

Трассируемость обеспечивается возможностью восстановления процедуры оценки состояния на основе сохраненных данных и правил интерпретации. Пусть версия набора порогов и параметров интерпретации обозначена как $\theta^{(r)}$, где r – номер версии.

Тогда каждая запись журнала дополняется идентификатором версии правил:

$$L_i^{(m)} \rightarrow \langle L_i^{(m)}, \theta^{(r)} \rangle. \quad (35)$$

Такое расширение позволяет воспроизвести процесс формирования состояния при повторном анализе данных и обеспечивает проверяемость результатов мониторинга.

Введение механизма трассируемости и журналирования позволяет анализировать динамику состояния объекта в ретроспективе, выявлять причины переходов между уровнями состояния, проверять корректность функционирования алгоритмов обработки, обеспечивать воспроизводимость результатов при изменении параметров интерпретации.

Таким образом, этап журналирования завершает модифицированный информационный процесс, формируя формально описываемую последовательность преобразований от исходных измерений до итогового представления состояния объекта без включения функций управления состоянием.

Анализ свойств модифицированной модели информационного процесса. Предложенная модификация модели информационного процесса удаленного мониторинга состояния объектов направлена не на изменение базовой логики формирования состояния, а на усиление корректности и воспроизводимости результатов в условиях гетерогенности источников данных. В отличие от исходной модели, где основное внимание уделялось интеграции и интерпретации параметров,

модифицированная версия дополняет процесс рядом механизмов, обеспечивающих устойчивость функционирования системы при неполноте и несогласованности данных.

Введение профиля объекта позволило формализовать контекст интерпретации параметров и устранить неоднозначность сопоставления измерений объекту мониторинга. Это особенно важно при использовании мультифункциональных устройств и динамическом изменении состава источников данных. Таким образом, процесс обработки получает объектно-ориентированную основу, что повышает корректность дальнейших процедур нормализации и оценки состояния.

Этап временной синхронизации и оконной обработки устраняет несопоставимость потоков различной частоты и снижает влияние случайных кратковременных выбросов. В традиционных подходах подобная обработка часто выполняется неявно или реализуется на уровне конкретных устройств, что затрудняет формальную интерпретацию результатов. В предложенной модификации синхронизация выделена в самостоятельный этап информационного процесса, что повышает прозрачность модели.

Контур контроля качества данных и введение меток валидности формируют дополнительный уровень оценки достоверности измерений. Это позволяет учитывать полноту и корректность данных при формировании итогового статуса и снижает вероятность некорректной интерпретации состояния объекта при наличии пропусков или аномалий. Связанный с данным этапом показатель доверия к оценке состояния обеспечивает количественную характеристику надежности результата и повышает информативность выходных данных.

Событийная интерпретация результатов переводит непрерывный поток состояний в дискретную последовательность значимых изменений, что облегчает анализ динамики состояния объекта. В сочетании с механизмами устойчивых уведомлений (гистерезис и ограничение частоты сообщений) это снижает число ложных и повторяющихся уведомлений, возникающих при колебаниях параметров вблизи пороговых значений.

Дополнительное введение объяснимого вывода и механизма трассируемости формирует основу для воспроизводимости результатов мониторинга. Сохранение промежуточных данных, меток качества и версий правил интерпретации позволяет восстановить процесс формирования состояния и провести ретроспективный анализ. Это особенно важно при эксплуатации систем мониторинга в условиях повышенных требований к надежности и проверяемости алгоритмов.

Таким образом, модифицированная модель расширяет базовую структуру информационного процесса за счет введения механизмов согласования, контроля и объяснимости, не выходя за рамки задач оценки состояния и не включая функции управления объектом. Полученные дополнения создают формальный задел для последующей детализации отдельных этапов в рамках самостоятельных исследований.

Результаты

В результате выполненной модификации модели информационного процесса удаленного мониторинга состояния объектов получены следующие основные результаты:

– разработана уточненная структура информационного процесса УМСО, включающая дополнительные этапы согласования, контроля и представления данных без изменения базовой логики формирования состояния объекта;

- введен профиль объекта как формализованный контекст интерпретации параметров и механизм однозначной привязки «объект–устройства», обеспечивающий корректное сопоставление измерений объекту мониторинга;
- предложен этап временной синхронизации потоков на основе оконной обработки, обеспечивающий приведение гетерогенных временных рядов к единому масштабу наблюдения;
- сформирован контур контроля качества данных с метками валидности и введен показатель доверия к оценке состояния, количественно характеризующий надежность сформированного статуса;
- реализована событийная интерпретация результатов, позволяющая представлять динамику состояния в виде последовательности значимых изменений;
- предложен механизм устойчивых уведомлений на основе расширенной пороговой модели, гистерезиса и ограничения частоты сообщений, снижающий чувствительность системы к кратковременным колебаниям параметров;
- введены средства объяснимого вывода и трассируемости результатов, обеспечивающие воспроизводимость процесса формирования оценки состояния.

Полученные результаты формируют расширенную модель информационного процесса УМСО, ориентированную на повышение корректности, устойчивости и интерпретируемости результатов мониторинга в условиях гетерогенности источников данных.

Заключение

В статье представлена модификация модели информационного процесса удаленного мониторинга состояния объектов, направленная на повышение корректности и воспроизводимости результатов оценки состояния при гетерогенности источников данных. В отличие от базовой модели, предложенная версия дополнена этапами и механизмами, обеспечивающими формализацию контекста интерпретации параметров, согласование потоков по времени, контроль качества измерений, количественную оценку доверия к результату, устойчивость уведомлений и трассируемость процесса формирования статуса.

Введение профиля объекта и механизма привязки «объект–устройства» позволило обеспечить однозначное сопоставление измерений объекту мониторинга. Реализация временной синхронизации на основе оконной обработки устраняет несопоставимость потоков различной частоты и снижает влияние кратковременных выбросов. Контур контроля качества данных и показатель доверия к оценке состояния формируют дополнительный уровень обоснованности результатов. Механизмы событийной интерпретации, устойчивых уведомлений, объяснимого вывода и журналирования обеспечивают прозрачность, интерпретируемость и воспроизводимость процесса мониторинга.

Предложенная модифицированная модель не затрагивает функции управления состоянием объекта и ориентирована исключительно на совершенствование этапов обработки и представления данных. Полученные результаты создают формальную основу для дальнейшей детализации каждого введенного этапа в рамках самостоятельных исследований, включая развитие методов оценки качества данных, алгоритмов синхронизации временных рядов и адаптивных моделей уведомлений.

Таким образом, модифицированная модель расширяет возможности информационного процесса УМСО и формирует задел для последующего развития теоретических и прикладных аспектов удаленного мониторинга состояния объектов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Zhang X., Zhang T., Wang G., et al. *Remote sensing object detection meets deep learning: A meta-review of challenges and advances*. arXiv. URL: <https://arxiv.org/abs/2309.06751> [Accessed 16th January 2026].
2. Hoese Th., Bachofer F., Kuenzer C. Object detection and image segmentation with deep learning on earth observation data: A review – Part II: Applications. *Remote Sensing*. 2020;12(18). <https://doi.org/10.3390/rs12183053>
3. Janga Bh., Asamani G.P., Sun Z., Cristea N. A review of practical AI for remote sensing in earth sciences. *Remote Sensing*. 2023;15(16). <https://doi.org/10.3390/rs15164112>
4. Ye P. Remote sensing approaches for meteorological disaster monitoring: Recent achievements and new challenges. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph19063701>
5. Hajduczuk A.G., Muallem S.N., Nudy M.S., DeWaters A.L., Boehmer J.P. Remote monitoring for heart failure using implantable devices: A systematic review, meta-analysis, and meta-regression of randomized controlled trials. *Heart Failure Reviews*. 2022;27(4):1281–1300. <https://doi.org/10.1007/s10741-021-10150-5>
6. Сиротина А.С., Кобякова О.С., Деев И.А. и др. Удаленный мониторинг состояния здоровья. Аналитический обзор. *Социальные аспекты здоровья населения*. 2022;68(2). URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/1355/30/lang/ru/>
Sirotina A.S., Kobyakova O.S., Deev I.A., et al. Remote health monitoring: Global and domestic experience. *Social Aspects of Population Health*. 2022;68(2). (In Russ.). URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/1355/30/lang/ru/>
7. Шадеркин И.А. Дистанционный мониторинг состояния здоровья и окружающей среды человека: возможности и ограничения. *Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения*. 2022;8(3):45–54. <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2022-8-3-45-54>
Shaderkin I.A. Remote monitoring of human health and the environment: opportunities and limitations. *Russian Journal of Telemedicine and E-Health*. 2022;8(3):45–54. (In Russ.). <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2022-8-3-45-54>
8. Федоров В.Ф., Столяр В.Л. Персональная телемедицина. Перспективы внедрения. *Врач и информационные технологии*. 2020;(2):36–44. <https://doi.org/10.37690/1811-0193-2020-2-36-44>
Fedorov V.F., Stolyar V.L. Personal telemedicine. Prospects for implementation. *Medical Doctor and IT*. 2020;(2):36–44. (In Russ.). <https://doi.org/10.37690/1811-0193-2020-2-36-44>
9. Гилка В.В., Кузнецова А.С., Молдовская А.А., Эль-Аит Д.Ф. Проверка работоспособности модели и метода удаленного мониторинга состояния здоровья на примере отклонений показателей температуры тела человека. *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2023;(5):127–137. <https://doi.org/10.18522/2311-3103-2023-5-127-137>
Gilka V.V., Kuznetsova A.S., Moldovskaya A.A., El-Ait Ja.F. Verification of the model and method functionality for remote health monitoring illustrated by the deviations in human body temperature indicators. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*. 2023;(5):127–137. (In Russ.). <https://doi.org/10.18522/2311-3103-2023-5-127-137>
10. Гилка В.В., Кузнецова А.С. Тестирование работоспособности метода удаленного мониторинга, реализованного в HelpMeTracker на людях, и проверка реагирования приложения на отклонения в показателях здоровья. *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. 2023;50(2):48–57. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2023-50-2-48-57>

Gilka V.V., Kuznetsova A.S. Testing the operability of the remote monitoring method implemented in HelpMe-Tracker on people and checking the application's response to deviations in health indicators. *Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences*. 2023;50(2):48–57. (In Russ.). <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2023-50-2-48-57>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Гилка Вадим Викторович, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Программное обеспечение автоматизированных систем», Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Российская Федерация.
e-mail: gilka.vadim@yandex.ru
ORCID: [0000-0003-1470-8766](https://orcid.org/0000-0003-1470-8766)

Vadim V. Gilka, Candidate of Engineering Sciences, Senior Lecturer at the Department of Software for Automated Systems, Volgograd State Technical University, Volgograd, the Russian Federation.

Кузнецова Агнесса Сергеевна, старший преподаватель кафедры «Программное обеспечение автоматизированных систем», Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Российская Федерация.
e-mail: agnessakyz@yandex.ru
ORCID: [0000-0001-5554-3887](https://orcid.org/0000-0001-5554-3887)

Agnessa S. Kuznetsova, Senior Lecturer at the Department of Software for Automated Systems, Volgograd State Technical University, Volgograd, the Russian Federation.

Качанов Юрий Александрович, старший преподаватель кафедры «Программное обеспечение автоматизированных систем», Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Российская Федерация.
e-mail: yura_1234@mail.ru

Yuriy A. Kachanov, Senior Lecturer at the Department of Software for Automated Systems, Volgograd State Technical University, Volgograd, the Russian Federation.

Морозов Дмитрий Александрович, магистрант кафедры «Программное обеспечение автоматизированных систем» Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Российская Федерация.
e-mail: dimka5rus@yandex.ru

Dmitry A. Morozov, Master's Degree student at the Department of Software for Automated Systems, Volgograd State Technical University, Volgograd, the Russian Federation.

Ломакин Арсений Сергеевич, магистрант кафедры «Программное обеспечение автоматизированных систем» Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Российская Федерация.
e-mail: arseny.lomakin@gmail.com

Arseniy S. Lomakin, Master's Degree student at the Department of Software for Automated Systems, Volgograd State Technical University, Volgograd, the Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 18.02.2026; одобрена после рецензирования 06.04.2026; принята к публикации 19.04.2026.

The article was submitted 18.02.2026; approved after reviewing 06.04.2026; accepted for publication 19.04.2026.