

УДК 681.518.3  
doi:10.21685/2307-5538-2022-2-3

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ И УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ТЕХНОСФЕРЫ

**О. Е. Безбородова**

Пензенский государственный университет, Пенза, Россия  
oxana243@yandex.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Для разработки способов и средств контроля состояния территориальной техносферы как динамической системы необходимо использование математического моделирования с целью исследования влияния и взаимодействия всех ее составляющих в различных режимах их функционирования. Также необходима достоверная измерительная информация о большом количестве контролируемых параметров. *Материалы и методы.* Предложена интеллектуальная информационно-измерительная и управляющая система контроля состояния территориальной техносферы. Базовым элементом этой системы, обеспечивающим минимизацию ошибки контроля, является интеллектуальный датчик, позволяющий проводить измерение, преобразование, самодиагностику и автоматическую коррекцию результатов измерений. Для обеспечения минимизации ошибки контроля предлагается в зоне предельных значений параметров использовать трансформирование чувствительности интеллектуального датчика на основе метода Монте-Карло. Предлагаются структурные схемы интеллектуальной информационно-измерительной и управляющей системы и входящего в ее состав интеллектуального датчика и алгоритм трансформирования чувствительности интеллектуального датчика на основе метода Монте-Карло. *Результаты.* Авторами разработана схема для алгоритмической коррекции чувствительности интеллектуального датчика на основе метода Монте-Карло. Современные интеллектуальные датчики имеют многовариантную блочную структуру. Основными блоками являются первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент, сенсор), коммутатор, аналого-цифровой преобразователь, микроконтроллер, цифро-аналоговый преобразователь. *Вывод.* Предлагаемая интеллектуальная информационно-измерительная и управляющая система может оказать интеллектуальную поддержку при решении большого количества задач контроля и управления качеством территориальной техносферы, так как способна: обрабатывать и анализировать большой массив измерительной информации, проводить контроль состояния территориальной техносферы при ограниченной информации или неопределенности, распознавать аномальные состояния территориальной техносферы, адаптироваться, самообучаться в изменяющихся условиях и т.д.

**Ключевые слова:** интеллектуальная информационно-измерительная и управляющая система, территориальная техносфера, интеллектуальный датчик

**Для цитирования:** Безбородова О. Е. Интеллектуальная информационно-измерительная и управляющая система контроля состояния территориальной техносферы // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 2. С. 21–28. doi:10.21685/2307-5538-2022-2-3

## INTELLIGENT INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEM FOR CONTROL OF THE STATE OF THE TERRITORIAL TECHNOSPHERE

**O.E. Bezborodova**

Penza State University, Penza, Russia  
oxana243@yandex.ru

**Abstract.** *Background.* To develop methods and means of monitoring the state of the territorial technosphere as a dynamic system, it is necessary to use mathematical modeling in order to study the influence and interaction of all its components in various modes of their functioning. Reliable measurement information about a large number of controlled parameters is also required. *Materials and methods.* The article proposes an intelligent information-measuring and control system for monitoring the state of the territorial technosphere. The basic element of this system, which en-

sures the minimization of the control error, is an intelligent sensor that allows measurement, conversion, self-diagnosis and automatic correction of measurement results. To ensure the minimization of the control error, it is proposed to use the transformation of the sensitivity of an intelligent sensor based on the Monte Carlo method in the zone of limiting parameter values. Structural diagrams of an intelligent information-measuring and control system and an intelligent sensor included in it, and an algorithm for transforming the sensitivity of an intelligent sensor based on the Monte Carlo method are proposed. *Results.* The authors have developed a scheme for algorithmic correction of the sensitivity of an intelligent sensor based on the Monte Carlo method. Modern smart sensors have a multivariant block structure. The main blocks are the primary measuring transducer (sensing element, sensor), switch, analog-to-digital converter, microcontroller, digital-to-analog converter. *Conclusion.* The proposed intelligent information-measuring and control system can provide intellectual support in solving a large number of problems of monitoring and managing the quality of the territorial technosphere, as it is capable of: processing and analyzing a large array of measurement information, monitoring the state of the territorial technosphere with limited information or uncertainty, recognizing anomalous states territorial technosphere, adapt, self-learn in changing conditions, etc.

**Keywords:** intelligent information-measuring and control system, territorial technosphere, intelligent sensor

**For citation:** Bezborodova O.E. Intelligent information-measuring and control system for control of the state of the territorial technosphere. *Izmereniya. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurements. Monitoring. Management. Control.* 2022;(2):21–28. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2022-2-3

### *Постановка проблемы*

Территориальная техносфера (ТТ) – это сложный динамический многопараметрический объект, включающий подсистемы естественного и искусственного происхождения: биосферу, социум и техногенику [1]. Параметры, характеризующие каждую подсистему, меняются во времени в зависимости от внешних и внутренних факторов и влияют на другие подсистемы и на всю ТТ в целом. Для разработки способов и средств контроля состояния ТТ как динамической системы необходимо использование математического моделирования с целью исследования влияния и взаимодействия всех ее составляющих в различных режимах их функционирования [2]. Также необходима достоверная измерительная информация о большом количестве контролируемых параметров (КП). По соображениям экономической целесообразности для контроля и управления состоянием ТТ выбираются наиболее значимые КП, изменяя которые можно управлять сразу несколькими параметрами. Для обеспечения минимизации ошибки контроля в зоне предельных значений КП предлагается использовать трансформирование чувствительности интеллектуального датчика на основе метода Монте-Карло (ММК).

### *Материалы и методы*

Контролю качества ТТ сегодня уделяют большое внимание во всем мире, что свидетельствует об актуальности данной темы [3–8]. Под качеством ТТ авторы понимают состояние входящих в ее состав подсистем, характеризующееся физическими, химическими, биологическими и иными параметрами и (или) их совокупностью, отвечающее потребностям социума, обеспечивающее равновесие в биосфере и эффективное и безаварийное функционирование техногеники. По мнению авторов, для обеспечения контроля качества ТТ необходимо техническое решение, позволяющее в течение долгого времени проводить в автоматическом режиме измерения и обработку разнородных параметров ТТ. Особенно это актуально для проведения контроля качества объектов ТТ, расположенных в труднодоступных (опасных) районах (Арктика, агрессивная среда, комплексное воздействие на биосферу, социум и техногенику), когда важно обеспечить минимизацию ошибки контроля.

Согласно ГОСТу таким решением является интеллектуальная информационно-измерительная и управляющая система (ИнИИиУС), параметры и/или алгоритмы работы которой в процессе эксплуатации могут изменяться в зависимости от сигналов, содержащихся в ней преобразователей, и которая выполняет метрологический самоконтроль<sup>1</sup>. ИнИИиУС автоматически проверяет свою метрологическую исправность в процессе эксплуатации посредством встроенных в нее технических и программных средств. Подсистема управления как

<sup>1</sup> ГОСТ Р 8.673-2009 Национальный стандарт Российской Федерации. Государственная система обеспечения единства измерений. Интеллектуальные датчики и интеллектуальные измерительные системы. Основные термины и определения.

элемент ИнИИиУС обеспечивает сбор сведений о контролируемых подсистемах и содержит средства воздействия на их состояние.

### Результаты и обсуждение

При эксплуатации ИнИИиУС выполняет управляющие, вычислительные и сервисные функции. Управляющие функции предполагают управление переключением каналов и диапазонов измерения, вычислительными ресурсами, регистраторами, внешней памятью, средствами общения с оператором. Вычислительные функции включают распределенную обработку данных, калибровку, масштабирование, фильтрацию, статистическую обработку и др. Сервисные функции предполагают обнаружение и локализация неисправностей. Структура ИнИИиУС представлена на рис. 1 [9].

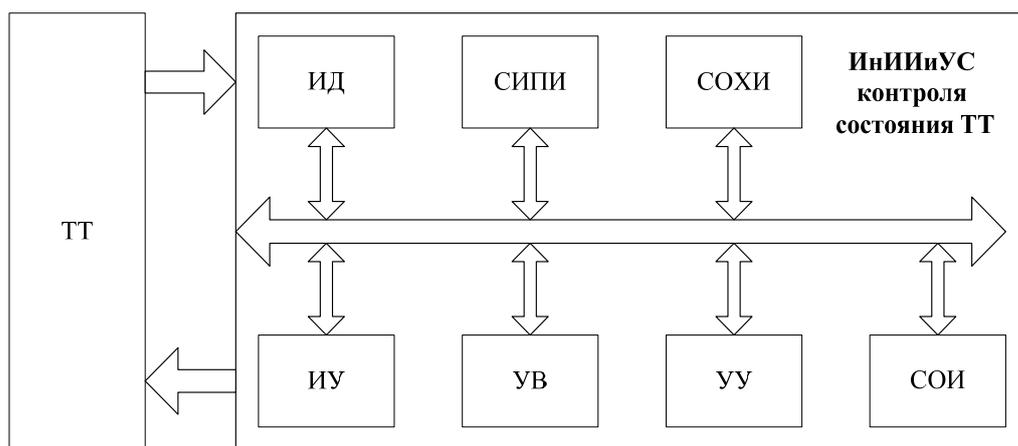


Рис. 1. Структура интеллектуальной информационно-измерительной и управляющей системы: ИД – интеллектуальный датчик; СИПИ – структура измерения и преобразования информации; СОХИ – структура обработки и хранения информации; СОИ – структура отображения информации; УУ – устройства управления; УВ – устройство вывода; ИУ – исполнительное устройство

Принцип работы ИнИИиУС заключается в следующем: в систему встроена заранее построенная по экспериментальным данным динамическая модель ТТ, учитывающая все значимые КП, управляющие воздействия, зависимости выходных параметров (в том числе не измеряемых КП) от входных управляющих воздействий.

ИнИИиУС получает от сенсоров текущие значения КП и вводит их в модель, и вычисляет по модели значения ее выходных параметров, которые представляют собой прогноз поведения объекта. СОХИ по заданному критерию и с соблюдением ограничений рассчитываются управляющие воздействия на определенное число тактов управления; если рассчитанное управляющее воздействие не отличается от действующего на объекте, то коррекция не осуществляется. В противном случае управляющее воздействие корректирует состояние объекта и на следующем такте эти действия повторяются.

Для минимизации ошибки контроля состояния ТТ авторами предлагается использовать автоматическую коррекцию погрешностей измерения наиболее значимых КП.

Основной характеристикой измерительной системы является погрешность измерения КП. Погрешность измерения отображает величину расхождения между результатом измерения и реальным значением КП. Однако на практике величина погрешности часто не соответствует паспортным данным, а иногда и вовсе неизвестна. Более того, в процессе эксплуатации измерительной системы величина погрешности постоянно меняется. Причинами изменения погрешности могут стать изменение условий эксплуатации (внешние факторы), дрейф физических параметров системы (внутренние факторы), возмущения в каналах связи датчика с регистрирующей аппаратурой, его выход из строя датчика и т.д. В связи с этим разработка соответствующих алгоритмов коррекции погрешностей является актуальной задачей, причем очевидна необходимость построения адаптивных подходов, функционирующих в условиях неопределенности и изменчивости окружающей среды.

В соответствии с [10] при измерениях с необходимостью коррекции погрешности измеренную величину можно представить следующим образом:

$$\lambda_j^* = \lambda_j^{**} - \Delta_{\text{кор}}^* \lambda_j^*, \quad (1)$$

где  $\lambda_j^*$  – результат измерения в  $j$ -м измерительном эксперименте;  $\lambda_j^{**} = L\gamma_j$  – предварительный результат измерения КП с учетом погрешности измерительного канала;  $\gamma_j$  – входное воздействие (носитель информации об измеряемой величине), измененное внешним или внутренним воздействием  $L$ ;  $\Delta_{\text{кор}}^* \lambda_j^*$  – величина коррекции измеренной величины, определяемая по формуле

$$\Delta_{\text{кор}}^* \lambda_j^* = \Delta_{\text{кор}} \lambda_j^* + \delta_{\text{кор}} \lambda_j^*, \quad (2)$$

при  $\Delta_{\text{кор}} \lambda_j^* = 0$  коррекция приводит к изменению полной погрешности  $\Delta_{\text{кор}}^* \lambda_j^*$  на величину  $\delta_{\text{кор}} \lambda_j^*$ . Это приводит к росту среднеквадратического отклонения погрешности, так как полная погрешность может быть определена как сумма корректируемой  $\Delta_{\text{кор}} \lambda_j^*$  и некорректируемой  $\Delta_{\text{нкор}} \lambda_j^*$  погрешностей по формуле

$$\Delta \lambda_j^* = \Delta_{\text{кор}} \lambda_j^* + \Delta_{\text{нкор}} \lambda_j^*, \quad (3)$$

получаем значение погрешности без коррекции

$$\Delta \lambda_j^* = \Delta_{\text{нкор}} \lambda_j^*,$$

с коррекцией

$$\Delta \lambda_j^* = \Delta_{\text{нкор}} \lambda_j^* - \delta_{\text{кор}} \lambda_j^*.$$

Воспользовавшись предложенным в работе [10] представлением процедуры адаптивной коррекции погрешности  $\Delta_{\text{кор}}^* \lambda_j^* \leq \Delta_{\text{п}}$  ( $\Delta_{\text{п}}$  – пороговый уровень  $\Delta_{\text{кор}}^* \lambda_j^*$ , определяющий границу целесообразности применения коррекции), получаем  $\lambda_j^* = L\gamma_j \vee \Delta_{\text{кор}}^* \lambda_j^* > \Delta_{\text{п}}$  и  $\lambda_j^* = R_{\text{кор}} L\gamma_j$ .

В научной и справочной литературе предлагаются различные подходы к коррекции погрешностей измерений [10]. Наиболее эффективным, с нашей точки зрения, является подход, заключающийся в разработке алгоритмических методов коррекции по математической модели – концепция интеллектуального датчика (ИД)<sup>1</sup>. ИД помимо функции измерения и преобразования параметра выполняет функции самодиагностики, защиты и блокировки, контроля состояния узлов исполнительного механизма и пр. Именно поэтому приборы, выполняющие новые дополнительные функции, принято называть интеллектуальными.

В настоящее время благодаря наличию однокристалльных микроконтроллеров с малым энергопотреблением, встроенными прецизионными аналого-цифровыми преобразователями и энергонезависимой памятью данные ведущие фирмы перешли от аналоговых методов коррекции погрешности к цифровым. ИД имеет цифровой выход и может обеспечивать передачу информации о метрологической исправности через интерфейс. При этом, обладая вычислительными возможностями, он позволяет осуществлять: автоматическую коррекцию погрешности, появившейся в результате воздействия влияющих величин и/или старения компонентов, самовосстановление при возникновении единичного дефекта в датчике, самообучение. ИД создают техническую основу для установления двух значений межповерочных (межкалибровочных) интервалов (при эксплуатации с использованием функции метрологического самоконтроля и без нее). Таким образом, постоянную коррекцию погрешности  $\Delta_{\text{кор}}^* \lambda_j^*$  осуществляет ИД.

<sup>1</sup> ГОСТ Р 8.673-2009 Национальный стандарт Российской Федерации. Государственная система обеспечения единства измерений. Интеллектуальные датчики и интеллектуальные измерительные системы. Основные термины и определения.

Для автоматической коррекции погрешностей наиболее значимых КП предлагается в зоне предельных значений параметров использовать алгоритмическую коррекцию чувствительности ИД на основе ММК<sup>1</sup>, заключающуюся в сравнении и коррекции измеренного значения КП в зависимости от соотношения величины погрешности  $\Delta_{кор}^* \lambda_j^*$  и порогового уровня погрешности измерения  $\Delta_{п}$ , определяющего границу целесообразности применения коррекции.

Авторами разработана схема для алгоритмической коррекции чувствительности ИД на основе ММК, представленная на рис. 2.

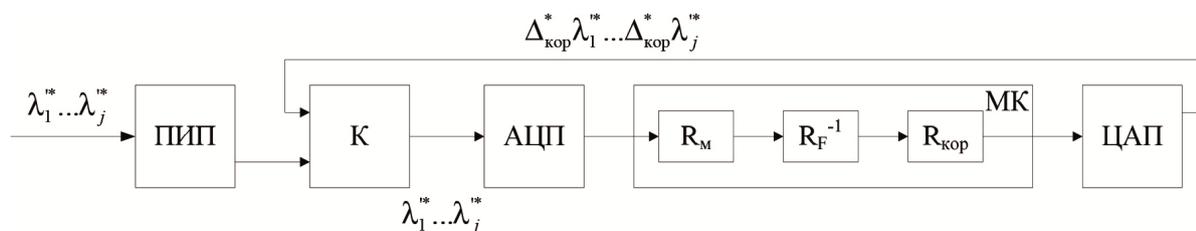


Рис. 2. Структурная схема интеллектуального датчика

Современные ИД имеют многовариантную блочную структуру. Основными блоками являются первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент, сенсор) (ПИП), коммутатор (К), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), микроконтроллер (МК), цифроаналоговый преобразователь (ЦАП).

Сигналы в аналоговой форме через коммутатор поступают от ПИП, преобразуются в цифровую форму вторичными преобразователями сигналов (АЦП). МК с помощью алгоритмов обработки данных на основе ММК, с использованием данных калибровки, данных для корректировки нелинейности, влияния дестабилизирующих факторов, старения, хранящихся в запоминающем устройстве, корректирует поступившие с ПИП значения измеряемой величины, приводит их к требуемым единицам измерения. МК компенсируется погрешность, обусловленная воздействием внешних и внутренних факторов. Кроме того, на него возлагается функция контроля состояния ПИП и оценка достоверности результатов измерений. Обработанный сигнал, несущий информацию об измеряемой величине, в цифровом виде передается для его регистрации и отображения или используется для управления. Кроме того, преобразуется в аналоговую форму и передается с использованием коммуникационных протоколов (IEEE 1451, RS-485, HART и т.п.) и промышленных сетей (Profibus, DeviceNet, Interbus, Fieldbus, CANbusLIN, Modbus и др.). С помощью интерфейса и коммуникационных протоколов реализуются функции калибровки ПИП, запроса и получения информации о его текущем состоянии и ИД в целом. Такие датчики удобно объединять в сеть, а доступ к предоставляемой ими информации возможен через программное обеспечение пользовательского уровня [11].

Коррекцию чувствительности выполняет МК на основе разработанного алгоритма (рис. 3), осуществляя сравнение погрешности измерения значения КП с граничным значением целесообразности применения коррекции в зоне предельных значений параметров и по результатам этого сравнения проводит масштабирование  $R_m$ , коррекцию нелинейности  $R_F^{-1}$  и характеристики преобразования  $R_{кор}$  величины погрешности  $\Delta_{кор}^* \lambda_j^*$ .

Результатом выполнения данного алгоритма является решение о необходимости коррекции погрешности в зоне предельных значений КП.

На международном уровне требования к ИД сформулированы в серии стандартов IEEE 1451.2-1997, IEEE 1451.1-1999, IEEE 1451.3-2003, IEEE 1451.4-2004.

<sup>1</sup> ISO/IEC Guide 98-3:2008/Supplement 1:2008 «Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995) – Supplement 1: Propagation of distributions using a Monte-Carlo method».

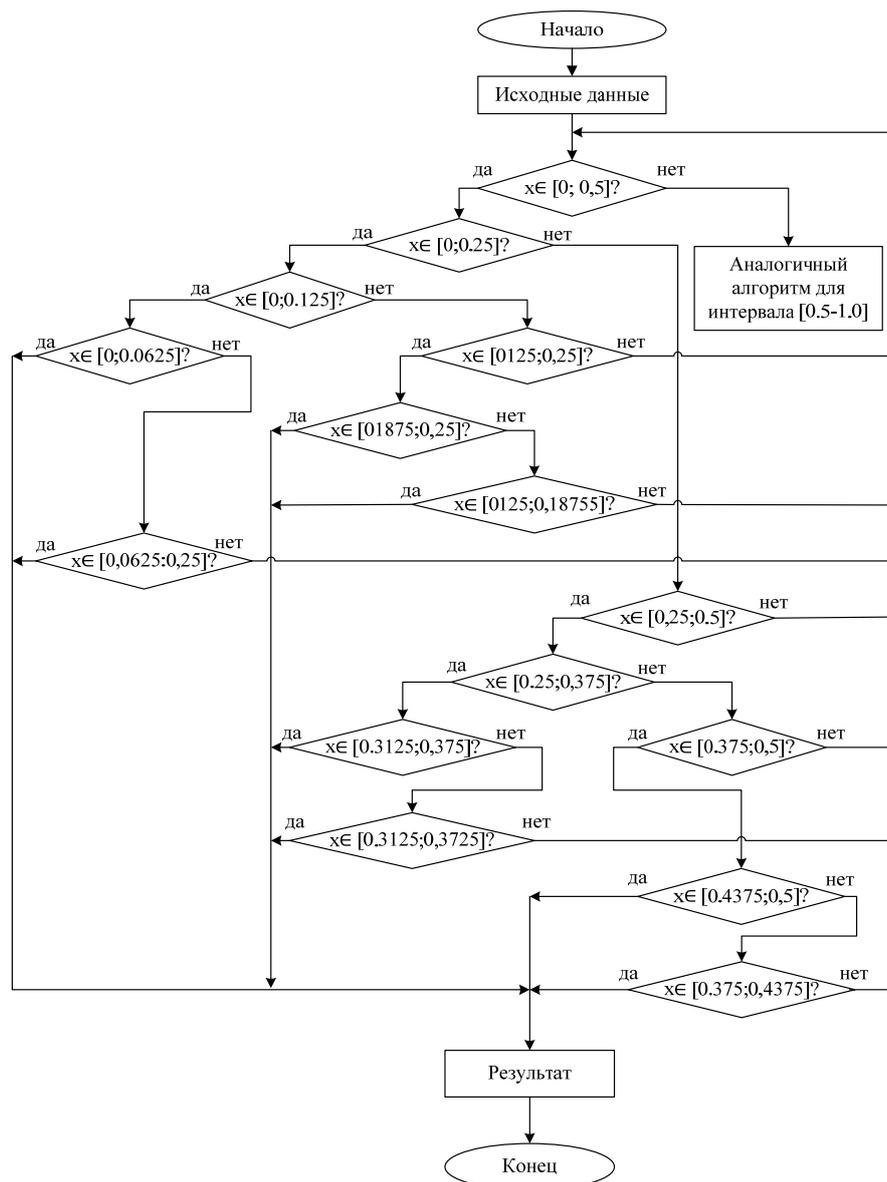


Рис. 3. Алгоритм реализации метода Монте-Карло для интеллектуальной информационно-измерительной и управляющей системы

Среди промышленных средств автоматизации получили применение ИД [9]:

- температуры серии STT 3000 включают датчики STT-170, STT-250, STT-350, в которых реализованы следующие дополнительные к основным функции: возможности программирования и настройки с МК; использование обширной библиотеки НСХ датчиков температуры и интерфейсов промышленных шин FF, HART; дистанционная диагностика и обмен данными с удаленными устройствами; дистанционная настройка рабочего диапазона;
- для измерения pH/ORP выполняют следующие функции: автоматическая калибровка по буферному раствору; компенсация температуры раствора; автоматическая очистка электродов;
- для концентрации выполняет следующие функции: термокомпенсация показаний; расчет концентрации углекислого газа и преобразование концентрации в различные единицы измерения; расчет pH по дифференциальной проводимости;
- газоанализатор серии 7866 компании Honeywell осуществляет дистанционную передачу показаний на расстояние до 300 м, формирует аварийные сигналы и связь по шине Modbus для настройки и сбора данных;
- плотности серии DT300 компании Smar снабжен системами автокалибровки, автодиагностики и конфигурирования по сетям FF и Profibus PP.

### Заключение и выводы

Предлагаемая ИИИИУС осуществляет обработку количественных данных методами экспертных систем, к числу которых относятся методы усовершенствованного управления (Advanced Process Control – APC) [9]. Интеллектуальным средством автоматизации в составе ИИИИУС являются ИД: первичные преобразователи температуры, давления, уровня, анализаторы концентрации, рН/ORP, электропроводности, исполнительные механизмы и другие полевые устройства.

За счет совместного использования APC и ИД предлагаемая ИИИИУС может оказать интеллектуальную поддержку при решении большого количества задач контроля и управления качеством ТТ, так как способна:

- обрабатывать и анализировать большой массив измерительной информации;
- проводить контроль состояния ТТ при ограниченной информации или неопределенности;
- распознавать аномальные состояния ТТ;
- адаптироваться, самообучаться в изменяющихся условиях и т.д.

### Список литературы

1. Bezborodova O. E., Bodin O. N., Polosin V. G. Monitoring of Environmental Safety of the Territorial Technosphere on the Basis of Multi-Agent Technology // *International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*. 2018. doi:10.1109/fareastcon.2018.8602540
2. Bezborodova O., Bodin O., Polosin V. Territorial Technosphere as Managed Dynamic System // *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 451. P. 012189. doi:10.1088/1757-899X/451/1/012189
3. Yurtseven H., Akgul M., Akay A. O. [et al.]. Monitoring system of high accuracy for the assessment of the degradation of the surface of forest roads on horizontal curves // *Environ Monitoring and Assess.* 2019. Vol. 191. P. 32. doi:10.1007/s10661-018-7155-8
4. Liu X., Xiong L., Li D. [et al.]. Monitoring and assessment of exposure to organophosphorus flame retardants in source and drinking water // *Nanjing, China Environ Monitoring and Assess.* 2019. Vol. 191. P. 119. doi:10.1007/s10661-019-7239-0
5. Rivas-Ubach A., Liu Y., Steiner A. L. [et al.]. Atmo-ecometabolomics: a new methodology for determining the chemical characteristics of atmospheric particles for environmental studies // *Environ Monitoring and Assess.* 2019. Vol. 191. P. 78. doi:10.1007/s10661-019-7205-x
6. Castle G. D., Mills G. A., Gravell A. [et al.]. Comparison of different monitoring methods for measuring metaldehyde in surface waters // *Environ Monitoring and Assess.* 2019. Vol. 191. P. 75. doi:10.1007/s10661-019-7221-x
7. Fehrmann L., Kukunda C. B., Nölke N. [et al.]. Unified land cover monitoring system based on discrete global sampling system (GSG) // *Environ Monitoring and Assess.* 2019. Vol. 191. P. 46. doi:10.1007/s10661-018-7152-y
8. Bezborodova O. [et al.] Current Problems of Radiation-Ecological Monitoring in Penza Region // *International Symposium on Engineering and Earth Sciences (ISEES 2018)*. 2018. doi:10.2991/isees-18.2018.13
9. Харазов В. Г. Интеллектуальные устройства и системы управления. II. Информационная система. Системы автоматизации и управления // *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*. 2014. № 26 С. 92–94. doi:10.15217/issn19984-9.2014.26.92
10. Цветков Е. И. Метрология. Модели. Метрологический анализ. Метрологический синтез. Дополнительная глава. СПб. : Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. 144 с.
11. Broring A. New Generation Sensor Web Enablement // *Sensors*. 2011. № 11. P. 2652–2699.

### References

1. Bezborodova O.E., Bodin O.N., Polosin V.G. Monitoring of Environmental Safety of the Territorial Technosphere on the Basis of Multi-Agent Technology. *International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*. 2018. doi:10.1109/fareastcon.2018.8602540
2. Bezborodova O., Bodin O., Polosin V. Territorial Technosphere as Managed Dynamic System. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2018;451:012189. doi:10.1088/1757-899X/451/1/012189
3. Yurtseven H., Akgul M., Akay A.O. [et al.]. Monitoring system of high accuracy for the assessment of the degradation of the surface of forest roads on horizontal curves. *Environ Monitoring and Assess.* 2019;191:32. doi:10.1007/s10661-018-7155-8

4. Liu X., Xiong L., Li D. [et al.]. Monitoring and assessment of exposure to organophosphorus flame retardants in source and drinking water. *Nanjing, China Environ Monitoring and Assess.* 2019;191:119. doi:10.1007/s10661-019-7239-0
5. Rivas-Ubach A., Liu Y., Steiner A.L. [et al.]. Atmo-ecometabolomics: a new methodology for determining the chemical characteristics of atmospheric particles for environmental studies. *Environ Monitoring and Assess.* 2019;191:78. doi:10.1007/s10661-019-7205-x
6. Castle G.D., Mills G.A., Gravell A. [et al.]. Comparison of different monitoring methods for measuring metaldehyde in surface waters. *Environ Monitoring and Assess.* 2019;191:75. doi:10.1007/s10661-019-7221-x
7. Fehrmann L., Kukunda C.B., Nölke N. [et al.]. Unified land cover monitoring system based on discrete global sampling system (GSG). *Environ Monitoring and Assess.* 2019;191:46. doi:10.1007/s10661-018-7152-y
8. Bezborodova O. [et al.]. Current Problems of Radiation-Ecological Monitoring in Penza Region. *International Symposium on Engineering and Earth Sciences (ISEES 2018)*. 2018. doi:10.2991/isees-18.2018.13
9. Kharazov V.G. Intelligent devices and control systems. II. Information system. Automation and control systems. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta) = Proceedings of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)*. 2014;(26):92–94. (In Russ.). doi:10.15217/issn19984-9.2014.26.92
10. Tsvetkov E.I. *Metrologiya. Modeli. Metrologicheskii sintez. Dopolnitel'naya glava = Metrology. Models. Metrological analysis. Metrological synthesis. Additional chapter*. Saint Petersburg: Izd-vo SPbGETU «LETI», 2016:144. (In Russ.)
11. Broring A. New Generation Sensor Web Enablement. *Sensors*. 2011;(11):2652–2699.

**Информация об авторах / Information about the authors**

**Оксана Евгеньевна Безбородова**

кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой техносферной безопасности,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: oxana243@yandex.ru

**Oksana E. Bezborodova**

Candidate of technical sciences, associate professor,  
head of the sub-department of technosphere safety,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию/Received 21.03.2022**

**Поступила после рецензирования/Revised 25.04.2022**

**Принята к публикации/Accepted 8.05.2022**