

УДК 504.064.36
doi:10.21685/2307-5538-2022-3-2

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ТЕХНОСФЕРЫ

О. Е. Безбородова

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

Аннотация. *Актуальность и цели.* Повышение эффективности мониторинга территориальной техносферы необходимо для обеспечения экологического благополучия человека. Поэтому важны интеллектуализация процессов сбора и обработки данных, минимизация вероятности человеческой ошибки и возможность быстрой адаптации информационно-измерительных и управляющих систем к изменяющимся требованиям внешней среды за счет использования мультиагентной обработки данных. *Материалы и методы.* Приведен обзор и анализ существующих систем мониторинга окружающей среды. Анализ показал, что большинство существующих систем мониторинга не являются универсальными и не способны комплексно оценивать безопасность территориальной техносферы. Другим недостатком этих разработок является отсутствие моделирования динамики угроз. Все эти системы не имеют возможности связаться с другими системами мониторинга и для анализа и сравнения могут использовать только «свою» информацию, что не позволяет в полном объеме оценить ситуацию в территориальной техносфере. *Результаты.* Для задач комплексного мониторинга территориальной техносферы предложено использовать мультиагентную обработку и объединить получаемые данные в систему комплексных показателей, поддающихся многокритериальной оценке. Системы, построенные на основе мультиагентных технологий, относятся к открытым системам, что предполагает наличие развитых возможностей и средств адаптации к изменениям среды, в том числе путем модификации своей структуры и параметров. Возможности мультиагентных технологий при решении этих задач обусловлены не только возможностью оперировать огромными массивами данных, но и системным подходом при их обработке, устойчивостью к случайным искажениям информации (робастностью), возможностью учитывать самые различные данные (элиминация), а также способностью принимать многокритериальные решения. *Выводы.* Разработанные модели поведения агентов обеспечивают взаимодействие контролирующих органов и предприятий, самостоятельно находят варианты и принимают индивидуальные решения для всех факторов, обладающих множеством персональных особенностей, генерируя предложения по индивидуальным схемам принятия решений. С функциональной точки зрения модель комплексного мониторинга территориальной техносферы позволяет: прогнозировать результат действия, сравнивать прогноз и результат, принимать стратегию действий и корректировать ее при всевозможных изменениях среды.

Ключевые слова: территориальная техносфера, комплексный мониторинг, мультиагентные технологии, гиперкомплексные числа, многокритериальная оценка

Для цитирования: Безбородова О. Е. Мультиагентная обработка данных мониторинга территориальной техносферы // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 3. С. 20–28. doi:10.21685/2307-5538-2022-3-2

MULTI-AGENT PROCESSING OF DATA MONITORING THE TERRITORIAL TECHNOSPHERE

O.E. Bezborodova

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

Abstract. *Background.* Increasing the effectiveness of monitoring the territorial technosphere is necessary to ensure the ecological well-being of a person. Therefore, the intellectualization of data collection and processing processes, minimization of the probability of human error and the ability to quickly adapt information-measuring and control systems to changing environmental requirements through the use of multi-agent data processing are important. *Materials and methods.* The article provides an overview and analysis of existing environmental monitoring systems. The analysis showed that most of the existing monitoring systems are not universal and are not capable of comprehensively assessing

the security of the territorial technosphere. Another disadvantage of these developments is the lack of threat dynamics modeling. All these systems do not have the ability to communicate with other monitoring systems and can only use “their own” information for analysis and comparison, which does not allow a full assessment of the situation in the territorial technosphere. *Results.* For the tasks of complex monitoring of the territorial technosphere, it is proposed to use multi-agent processing and combine the data obtained into a system of complex indicators that can be assessed by multi-criteria. Systems built on the basis of multi-agent technologies are classified as open systems, which implies the presence of advanced capabilities and means of adapting to changes in the environment, including by modifying their structure and parameters. The capabilities of multi-agent technologies in solving these problems are due not only to the ability to operate with huge data arrays, but also to a systematic approach to their processing, resistance to random information distortions (robustness), the ability to take into account a wide variety of data (elimination), as well as the ability to make multicriteria decisions. *Conclusions.* The developed agent behavior models provide interaction between regulatory authorities and enterprises, independently find options and make individual decisions for all factors that have many personal characteristics, generating proposals for individual decision-making schemes. From a functional point of view, the model of integrated monitoring of the territorial technosphere allows: predicting the result of an action, comparing the forecast and the result, adopting an action strategy and adjusting it with all kinds of changes in the environment.

Keywords: territorial technosphere, complex monitoring, multi-agent technologies, hypercomplex numbers, multicriteria assessment

For citation: Bezborodova O.E. Multi-agent processing of data monitoring the territorial technosphere. *Izmereniya. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurements. Monitoring. Management. Control.* 2022;(3):20–28. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2022-3-2

Постановка проблемы

Техносферное развитие человечества неизменно приводит не только к увеличению уровня жизни людей, но и к снижению уровня защищенности среды его жизнедеятельности. С увеличением количества объектов техносферы увеличивается риск и количество катастроф природного и техногенного характера. В 2021 г. 150 природных и 158 антропогенных катастроф в мире послужили причиной гибели и пропажи без вести почти 26 тысяч человек и принесли ущерб мировой экономике в размере 140 млрд долл. Это обусловлено корреляцией размещения объектов техносферы и центров концентрации населения. На рис. 1 изменением интенсивности окраски показаны места локализации объектов техносферы и населения.



Рис. 1. Локализация населения и объектов техносферы

Совмещение этих параметров связано с социальными, экономическими и географическими аспектами развития цивилизации и ведет к постоянному росту количества техногенных катастроф и их жертв.

Масштабы разрушений и прочие последствия техногенных катастроф побудили развитые промышленные страны обратить внимание на вопросы техносферной безопасности. Во всех странах на защиту общества и окружающей среды от техносферных опасностей выделяются огромные средства, призванные компенсировать причиняемый ущерб. Однако если не

менять качественные и количественные подходы и характеристики хозяйственной деятельности человека с учетом требований безопасности и достижений научно-технического прогресса, желаемая эффективность процессов не будет достигнута. В связи с этим актуальность вопросов, связанных с управлением техносферной безопасностью посредством комплексного мониторинга, представляется очевидной.

Материалы и методы

Вопросы и проблемы создания систем комплексного мониторинга территориальной техносферы описаны в большом количестве источников [1–3]. В этих работах комплексный мониторинг рассматривается как система наблюдения, контроля и анализа (прогнозирования) динамики состояний объектов техносферы. И учитывая разнородность объектов техносферы и характеризующих их параметров, а также уже существующие частные системы мониторинга (экологический, экономический, социальный и пр.), интегрирует эти системы в единую систему.

Территориальная техносфера в этом случае рассматривается как динамическая система, структура которой приведена на рис. 2 [4].

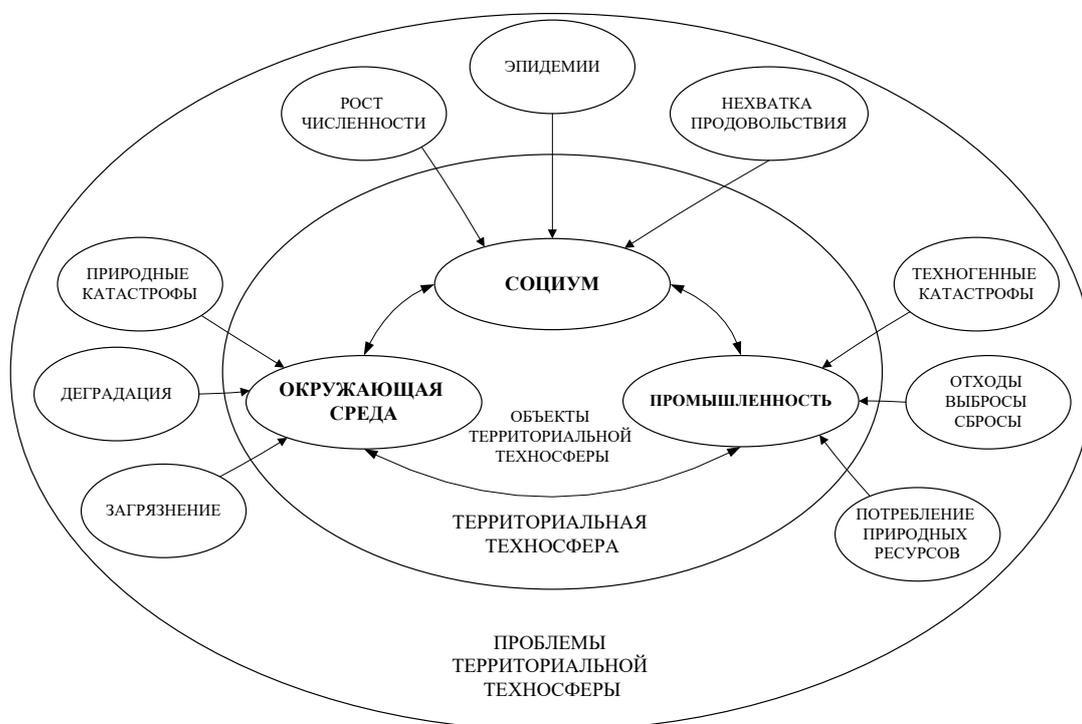


Рис. 2. Структура территориальной техносферы

Взаимодействие объектов территориальной техносферы, кроме формирования среды жизнедеятельности современного человека, создает большое количество проблем, влияющих на безопасность нахождения человека в этой среде. И комплексный мониторинг территориальной техносферы позволяет контролировать уровень безопасности.

Существует большое количество различных схем комплексного мониторинга территориальной техносферы [5–8]. Анализ этих источников показывает, что большинство существующих систем мониторинга не являются универсальными и не способны комплексно оценивать безопасность территориальной техносферы. Другим недостатком этих разработок является отсутствие моделирования динамики угроз. Все эти системы не имеют возможности связаться с другими системами мониторинга и для анализа и сравнения могут использовать только «свою» информацию, что не позволяет в полном объеме оценить ситуацию в территориальной техносфере.

Стоит отметить, что объем информации, получаемой и накапливаемой в процессе комплексного мониторинга, исключительно велик. Кроме того, это гетерогенная информация, так

как характеризует качество различных объектов территориальной техносферы. Совершенно очевидно, что практически работать с таким количеством материала невозможно. Для задач комплексного мониторинга территориальной техносферы она должна быть объединена в систему комплексных показателей, поддающихся многокритериальной оценке. Для этого более подходят критерии качества объектов территориальной техносферы, которые позволяют на количественном и качественном уровнях проводить измерения и оценку происходящих в каждом объекте территориальной техносферы изменений, а также осуществлять прогноз этих изменений во времени на основе многокритериальной оценки. По совокупности значений гетерогенных параметров и критериев должно быть возможно судить об изменениях качества объектов территориальной техносферы, оценивать эффективность осуществляемых для этого мероприятий, регулировать качество объектов территориальной техносферы.

Подобный подход позволяет проследить взаимное влияние объектов территориальной техносферы, а также критические уровни качества каждого из них (максимальный и минимальный). Максимальный уровень соответствует критическим предельным воздействиям на объект, когда в нем начинаются необратимые изменения, выводящие его из состояния динамического равновесия и устойчивости. Минимальный уровень соответствует допустимым воздействиям на объект, когда в нем происходят обратимые изменения, которые могут быть компенсированы за счет специальных мероприятий и не выводят объект из состояния динамического равновесия и устойчивости. Интервал между максимальным и минимальным уровнем, когда объект территориальной техносферы способен к устойчивому развитию, позволяет нагружать территориальную техносферу (развивать промышленность, сельское хозяйство и пр.) без нежелательных изменений. Такое состояние соответствует нагрузке, при которой возможно длительное нормальное функционирование территориальной техносферы.

Создание и эксплуатация компьютерной базы данных с результатами комплексного мониторинга превратили бы статистический метод исследования (наряду с экспериментальным и расчетно-теоретическим методом) в эффективно работающий инструмент решения основных проблем промышленной безопасности: изучения динамики воздействий, ведущих к авариям; создания систем безопасности и разработки безопасных технологий; научного обеспечения действий по проведению поисково-спасательных работ и защите населения при техносферных авариях, а также ликвидации последствий таких аварий.

Для решения поставленных задач необходимо использовать мультиагентные технологии. В работах [9, 10] описаны схемы использования мультиагентных технологий для целей мониторинга.

Предпочтительно для оценки качества каждого из объектов территориальной техносферы (K_{Tj}) использовать не просто значение одного из многих (n) действующих поражающих факторов, а сумму отношений значений каждого i -го поражающего фактора (Y_i) к величине предельного норматива (P_i) для этого фактора с учетом весового коэффициента (коэффициента значимости) для каждого фактора (q_i):

$$K_{Tj} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot Y_i / P_i. \quad (1)$$

При оценке качества всей территориальной техносферы величины K_{Tj} для отдельных объектов могут быть суммированы в интегральный критерий качества территориальной техносферы (K_{TT}) по формуле

$$K_{TT} = \bigcup_{j=1}^m \text{ent} [K_{Tj}]. \quad (2)$$

При анализе полученного по формуле (2) результата получаем информацию о соответствии территориальной техносферы требованиям безопасности. И если хотя бы один из анализируемых параметров Y_i или K_{Tj} больше 1, т.е. не соответствует величине предельного норматива, система выдает сигнал бедствия и требует корректирующего воздействия.

Выполнять эти операции предпочтительнее с использованием мультиагентных технологий. Применение мультиагентных технологий для решения задач обеспечения безопасности территориальной техносферы обусловлено многими факторами. В первую очередь, это слож-

ность территориальной техносферы, которая достигла уровня, на котором централизованное управление становится неэффективным из-за наличия больших потоков информации об объектах, входящих в ее состав, и параметрах, их характеризующих, причем большое количество времени тратится на их передачу в центр принятия решений.

Сами мониторинговые системы также становятся все сложнее и включают комплекс подсистем, обладающих различными функциональными характеристиками и взаимодействующих с различными специалистами, удаленными друг от друга. Кроме того, с усложнением падает надежность систем, и все труднее сформулировать их адекватную целевую функцию. Задачи, решаемые такими системами, распределены в пространстве и неоднородны в функциональном плане.

Системы, построенные на основе мультиагентных технологий, относятся к открытым системам, что предполагает наличие развитых возможностей и средств адаптации к изменениям среды, в том числе путем модификации своей структуры и параметров. Возможности мультиагентных технологий при решении этих задач обусловлены не только возможностью оперировать огромными массивами данных, но и системным подходом при их обработке, устойчивостью к случайным искажениям информации (робастностью), возможностью учитывать самые различные данные (элиминация), а также способностью принимать многокритериальные решения.

При выборе вида агентных программ для решения поставленных задач используют два признака: степень развития внутреннего представления агента о внешнем мире и способ принятия агентом решения. Для решения задач обработки результатов комплексного мониторинга и информационного обеспечения техносферной безопасности агенту необходимы способности восприятия текущего состояния объектов территориальной техносферы по совокупности параметров, отслеживания изменения значений этих параметров и состояний объектов территориальной техносферы, накопления множества внутренних состояний, смена которых зависит от истории восприятия, синтезировать информацию о цели, которая описывает желаемое состояние территориальной техносферы и ее объектов.

Структура такого агента, действующего на основе цели, показана на рис. 3. Агент оценивает текущее состояние среды, изменяющееся во времени, по комплексу критериев, фиксируя их динамику в истории восприятия, и на основе имеющейся информации формирует цель или несколько целей, устанавливая для них приоритеты. Агент следит за состоянием среды, а также за множеством целей, которых он пытается достичь, и выбирает действие, направленное на достижение этих целей.

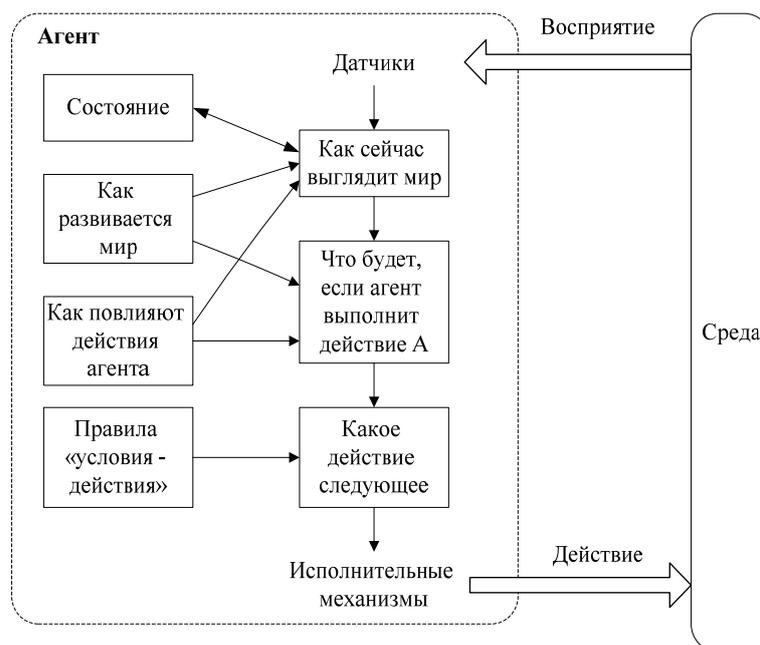


Рис. 3. Структура агента, действующего на основе целей

Обладая накопленным с использованием датчиков множеством состояний среды, агент выбирает действие, направленное на достижение приоритетной цели. Но прежде чем осуществить это действие, он «просчитывает», как оно повлияет на среду и другие цели. И только в случае положительной реакции среды действие будет осуществлено через прописанные исполнительные механизмы.

Результаты и обсуждение

Территориальная техносфера – это многокомпонентная структура, объединяющая объекты техносферы и процессы, происходящие между ними. В этой системе можно выделить три основных объекта: общество в форме контролирующих органов (органы государственной власти), промышленные предприятия, окружающая среда.

Отношения в территориальной техносфере устроены следующим образом: контролирующий орган воздействует на промышленное предприятие и через него на окружающую среду, промышленное предприятие – только на окружающую среду, окружающая среда – на промышленное предприятие.

В соответствии со структурой территориальной техносферы в мультиагентной системе выделены агент ресурса (для оценки состояния ресурса и идентификации источников воздействия на окружающую среду), агент предприятия (представляет интересы промышленного предприятия) и управляющий агент (оценивает и анализирует ситуацию в целом, разрабатывает рекомендации и подходы к оптимальному управлению, ведет переговоры с агентом предприятия). Структура мультиагентной системы обеспечения экологической безопасности (рис. 4) реализуется через этапы непосредственного сбора информации, ее анализа, идентификации ситуации и подготовки вариантов решений для урегулирования сложившейся ситуации.

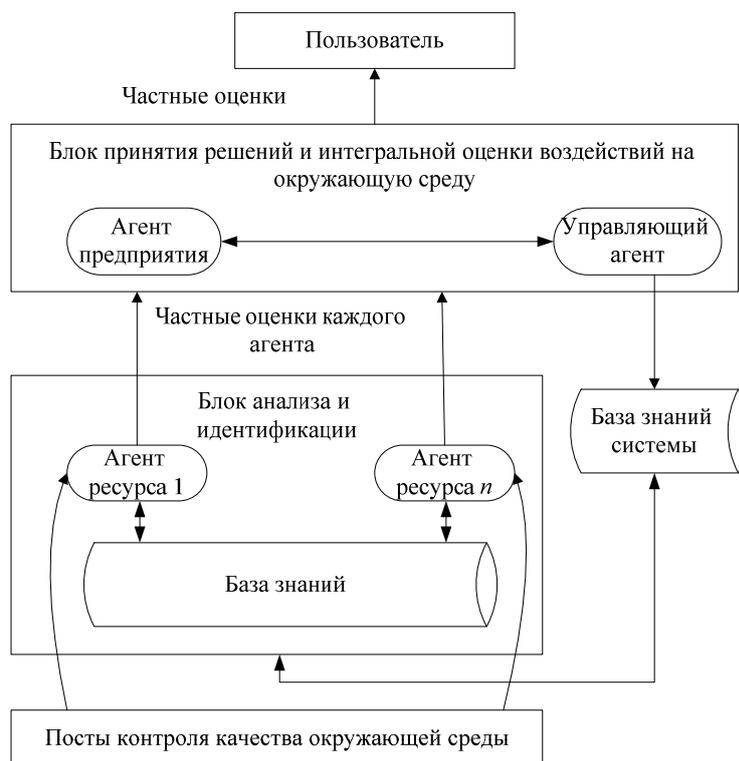


Рис. 4. Структура мультиагентной системы управления техносферной безопасностью

Структура мультиагентной системы управления техносферной безопасностью, приведенная на рис. 4, представляет собой дихотомическую модель принятия решения: ДА или НЕТ. В соответствии с выражением (2) блок принятия решений и интегральной оценки воздействий на окружающую среду выдает пользователю системы комплексного мониторинга территориальной техносферы информацию о превышении уровня допустимых значений любого из поражающих факторов.

При этом каждый агент для достижения сформулированных целей имеет доступ к общей базе знаний (знания о решении поставленных ему задачах), базе данных (информация об окружающей среде) и моделям функционирования. Таким образом, каждый агент имеет возможность узнать, что сделано другими агентами, и скорректировать свои действия для решения общей задачи, действуя на основе своей модели поведения. База данных может содержать, например, информацию об источниках воздействия, характерных для конкретного объекта загрязняющих веществ, их классы опасности, предельно допустимые концентрации, характеристики местности, погодные условия и т.д. Знаниями о решении поставленной задачи являются правила формирования текущего образа объекта территориальной техносферы, подвергающиеся проверке, на основе которой и происходит принятие управленческих решений.

Блок принятия решений и интегральной оценки представляют управляющий агент и агент предприятия. Управляющий агент собирает всю необходимую информацию от агентов ресурса и анализирует ситуацию в целом, дает комплексную оценку состояния территориальной техносферы и принимает управленческие решения. На качественном уровне задача контролирующих органов заключается в выборе на основе поступившей от агента ресурса информации таких условий деятельности предприятий, которые побуждали бы предприятия действовать наиболее выгодным для контролирующих органов образом.

Агент предприятия отстаивает интересы своего предприятия, преследующего свои частные цели, часто расходящиеся с объективно существующими целями устойчивого и безопасного развития территориальной техносферы. По полученной от агента ресурса информации агент предприятия может выявить превышение воздействий на окружающую среду и провести переговоры с управляющим агентом.

Блок анализа и идентификации представлен агентом ресурса, который выполняет функцию обратной связи, оценивая результаты хозяйственной деятельности территориальной техносферы и эффективность задействованных управляющим агентом механизмов управления. Обладая базовыми знаниями об окружающей среде и возможностями «рассуждать», агент собирает информацию о ресурсе, оценивает и анализирует сложившуюся экологическую ситуацию на выделенных ему объектах, определяет источники воздействий и дает локальные оценки. Ресурс в нашем случае можно представить как элемент окружающей среды: атмосферу, гидросферу и литосферу.

Заключение

В статье представлена модель комплексного мониторинга территориальной техносферы, отличительной особенностью которой является мультиагентный подход к управлению безопасностью территориальной техносферы, основанный на использовании больших массивов информации и многокритериальной ее оценки.

Разработанные модели поведения агентов обеспечивают взаимодействие контролирующих органов и предприятий, самостоятельно находят варианты и принимают индивидуальные решения для всех факторов, обладающих множеством персональных особенностей, генерируя предложения по индивидуальным схемам принятия решений.

С функциональной точки зрения модель комплексного мониторинга территориальной техносферы позволяет: прогнозировать результат действия, сравнивать прогноз и результат, принимать стратегию действий и корректировать ее при всевозможных изменениях среды.

Список литературы

1. Molev M. D., Stradanchenko S. G., Maslennikov S. A. Theoretical and experimental substantiation of construction regional security monitoring systems technospheric ARPN // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015. Vol. 10, № 16. P. 6787–6792.
2. 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
3. Penkova T. G., Korobko A. V., Nicheporchuk V. V., Nozhenkova L. F. On-line modelling and assessment of the state of technosphere and environment objects based on monitoring data // 18th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems – KES2014. 2014. doi:10.1016/j.procs.2014.08.095

4. Bezborodova O. E., Bodin O. N., Polosin V. G. Territorial Technosphere as Managed Dynamic System // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 451. P. 012189. doi:10.1088/1757-899X/451/1/012189
5. Патент 2549222 РФ. МПК G01 W1/00. Система экологического мониторинга атмосферного воздуха промышленного региона / Бодин О. Н., Казаков В. А. ; № 2013122314/28 ; заявл. 20.11.2014 ; опубл. 20.04.2015, Бюл. № 11.
6. Патент 2536789 РФ. МПК G01W 1/04. Система экологического мониторинга атмосферного воздуха горнодобывающей промышленности / Пашкевич М. А. [и др.] ; № 2013137519/28 ; заявл. 09.08.2013 ; опубл. 27.12.2014, Бюл. № 36.
7. Патент 2532365 РФ. G01N 33/00, G01W 1/00, G01N 1/22, A01G 15/00. Способ контроля загрязнения природных сред техногенным источником / Девятова А. Ю., Рапуга В. Ф. ; № 2012121866/15 ; заявл. 25.05.2012 ; опубл. 11.10.2014, Бюл. № 31.
8. Патент 2369866 РФ. МПК G01N 33/00. Способ комплексного экологического мониторинга региона / Баринов С. П. [и др.] ; № 2008100341/12 ; 09.01.2008 ; опубл. 10.10.2009, Бюл. № 28.
9. Psaltis D., Sideris A., Yamamura A. A Multilayered Neural Network Controller // IEEE Control Systems Magazine. 1988. Vol. 8. № 2. P. 17–21.
10. Jouffe L. Fuzzy Inference Systems Learning by Reinforcement Methods // IEEE Transactions On Systems, Man and Cybernetics-Part C : Applications and Reviews. 1998. Vol. 28, № 3. P. 338–355.

References

1. Molev M.D., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A. Theoretical and experimental substantiation of construction regional security monitoring systems technospheric ARP. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2015;10(16):6787–6792.
2. 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
3. Penkova T.G., Korobko A.V., Nicheporchuk V.V., Nozhenkova L.F. On-line modelling and assessment of the state of technosphere and environment objects based on monitoring data. *18th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems – KES2014*. 2014. doi:10.1016/j.procs.2014.08.095
4. Bezborodova O.E., Bodin O.N., Polosin V.G. Territorial Technosphere as Managed Dynamic System. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2018;451:012189. doi:10.1088/1757-899X/451/1/012189
5. Patent 2549222 Russian Federation. MPK G01 W1/00. *Sistema ekologicheskogo monitoringa atmosfernogo vozdukhа promyshlennogo regiona = Environmental monitoring system of atmospheric air in an industrial region*. Bodin O.N., Kazakov V.A.; № 2013122314/28; appl. 20.11.2014; publ. 20.04.2015, Bull. № 11. (In Russ.)
6. Patent 2536789 Russian Federation. MPK G01W 1/04. *Sistema ekologicheskogo monitoringa atmosfernogo vozdukhа gornodobyvayushchey promyshlennosti = Environmental monitoring system of atmospheric air of the mining industry*. Pashkevich M. A. et al.; № 2013137519/28; appl. 09.08.2013; publ. 27.12.2014, Bull. № 36. (In Russ.)
7. Patent 2532365 Russian Federation. G01N 33/00, G01W 1/00, G01N 1/22, A01G 15/00. *Sposob kontrolya zagryazneniya prirodnykh sred tekhnogennym istochnikom = A method for controlling pollution of natural environments by a technogenic source*. Devyatova A. Yu., Raputa V.F.; № 2012121866/15; appl. 25.05.2012; publ. 11.10.2014, Bull. № 31. (In Russ.)
8. Patent 2369866 Russian Federation. MPK G01N 33/00. *Sposob kompleksnogo ekologicheskogo monitoringa regiona = Method of integrated environmental monitoring of the region*. Barinov S. P. et al. ; № 2008100341/12 ; 09.01.2008; publ. 10.10.2009, Bull. № 28. (In Russ.)
9. Psaltis D., Sideris A., Yamamura A. A Multilayered Neural Network Controller. *IEEE Control Systems Magazine*. 1988;8(2):17–21.
10. Jouffe L. Fuzzy Inference Systems Learning by Reinforcement Methods. *IEEE Transactions On Systems, Man and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews*. 1998;28(3):338–355.

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 27.04.2022

Поступила после рецензирования/Revised 27.05.2022

Принята к публикации/Accepted 24.06.2022