

15. Рубин В. А. Применение рекуррентных нейронных сетей с Keras для моделирования пользовательской активности в сети интернет / В. А. Рубин // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: материалы XXIII Республиканской научной конференции студентов и аспирантов. – Гомель: ГГУ им. Франциска Скорины, 2020. – С. 53–54.

© В. И. Жигулин, К. А. Шумилов, В. А. Алфимов

**Ссылка для цитирования:**

Жигулин В. И., Шумилов К. А., Алфимов В. А. Анализ скорости работы и рекомендации при работе с нейронными сетями // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2023. № 4 (46). С. 92–95.

УДК 725

DOI 10.52684/2312-3702-2023-46-4-95-99

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ  
ДЛЯ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ**

**Н. И. Ермолин, О. А. Ермолина, А. П. Оксенюк**

**Ермолин Николай Игоревич**, доцент ВАК, доцент кафедры дизайна и реставрации, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: +7(961)0552895; e-mail: ermol\_lin@inbox.ru;

**Ермолина Ольга Александровна**, доцент кафедры дизайна и реставрации, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: +7(927)5600878; e-mail: olga\_arch@inbox.ru;

**Оксенюк Анастасия Петровна**, магистр, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, тел.: +7(928)6039649; e-mail: sumin59620@gmail.com

В статье рассмотрены основные проблемы, связанные с информационным моделированием зданий (BIM, Building Information Modeling). Информационное моделирование зданий — это новый технологический процесс, который активно распространяется последние время в области проектирования и строительства. BIM позволяет создавать виртуальные модели зданий, которые могут быть связаны с различными видами информации. Приведено описание использования информационного моделирования зданий (BIM) в строительной сфере. Растущее число исследований демонстрирует потенциал информационного моделирования зданий наследия (HBIM) для совместного управления объектами культурного наследия (ОКН). Развитие веб-платформ HBIM иллюстрирует ценность укрепления связи между цифровой моделью и физической областью объектов наследия. Сформирован вывод о возможностях собирать и хранить информацию о зданиях в базе данных.

**Ключевые слова:** объект культурного наследия, BIM, HBIM, цифровая модель, реставрация, архитектура, строительство, здание.

**USE OF BUILDING INFORMATION MODELING TECHNOLOGY FOR CULTURAL HERITAGE OBJECTS**

**N. I. Yermolin, O. A. Yermolina, A. P. Oksenyuk**

**Yermolin Nikolai Igorevich**, Associate Professor of the Higher Attestation Commission, Associate Professor of the Department of Design and Restoration, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation, phone.: +7 (961) 055-28-95; e-mail: ermol\_lin@inbox.ru;

**Yermolina Olga Aleksandrovna**, Associate Professor of the Department of Design and Restoration, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation, phone.: +7 (927) 560-08-78; e-mail: olga\_arch@inbox.ru;

**Oksenyuk Anastasiya Petrovna**, student, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russian Federation, phone.: +7 (928) 603-96-49; e-mail: sumin59620@gmail.com

The main problems associated with building information modeling (BIM, Building Information Modeling) are considered. Building Information Modeling is a new technological process that has been actively spreading in recent years in the field of design and construction. BIM allows you to create virtual models of buildings that can be associated with various types of information. The description of the use of building information modeling (BIM) in the construction industry is given. A growing body of research demonstrates the potential of heritage building information modeling (HBIM) for the collaborative management of cultural heritage sites (CHOs). The development of HBIM web platforms illustrates the value of strengthening the link between the digital model and the physical domain of heritage sites. A conclusion was made about the possibilities to collect and store information about buildings in the database.

**Keywords:** cultural heritage site, BIM, HBIM, digital model, restoration, architecture, construction, building.

**Введение**

За последние десятилетия произошло стремительное развитие информационных технологий (далее – ИТ), что повлияло на процесс и способы визуализации архитектуры. В конце прошлого века профессионалы использовали системы автоматизированного проектирования (CAD) для создания своих проектов без обмена и хранения связанных метаданных. В настоящее время стремительное развитие приобретает информационное моделирование зданий (BIM). На сегодняшний день технологии информационного

моделирования в первую очередь воспринимаются как инструмент для проектирования и строительства новых современных зданий. Но именно эта технология может стать настоящим подспорьем в вопросах реставрации и сохранения культурных объектов.

Объекты культурного наследия несут в себе большую ценность для страны, но, к сожалению, с каждым годом их становится все сложнее сохранять. Эти памятники, которым минимум несколько столетий, подвергаются разрушениям из-за возрастных деформаций

ций материалов и внешнего воздействия, а их реставрация осложняется отсутствием документации и принадлежностью к другой архитектурной эпохе. В этой ситуации использование BIM-технологий становится особенно актуальным. Технологии информационного моделирования позволяют просканировать объект с помощью высококачественных лазерных сканеров и сгенерировать полученные в виде миллиардов точек данные в трехмерную модель.

Объектом данного исследования являются технологии BIM, с помощью которых можно собрать всю информацию, необходимую во время строительных работ, в один файл создавая так называемые «умные» модели [1–4]. Это трехмерное (3D) представление проекта, которое связывает всю доступную информацию с каждым трехмерным объектом модели [5]. CAD по сути является 3D-моделью, которая позволяет создавать планы и разрезы, но по-прежнему состоит из чисто геометрических элементов [1, 2, 4]. Выражение «умные модели» относится к моделям, состоящим из параметрических объектов [3, 6], то есть виртуальные компоненты здания, которые идентифицируются изменяемыми параметрами, такими как размеры. Эти виртуальные объекты также могут содержать другие типы данных, например, информацию о материалах [3, 5, 6]. Мерфи и др. [7] расширили это понятие, утверждая, что в BIM параметры определяются до этапа моделирования. Это означает, что их можно модифицировать в любое время по мере необходимости [5, 8]. Эта функция может стать решающей для исторических зданий, поскольку модели необходимо часто обновлять из-за новых открытий или новых интерпретаций, вмешательств или непреднамеренные изменения в структуре здания, такие как процессы выветривания [1–3, 5, 6]. Однако архитектурное наследие характеризуется сложной морфологией и неоднородными элементами, которые противостоят стандартизированным процедурам BIM.

Растущее число исследований демонстрирует потенциал информационного моделирования зданий наследия (HBIM) для совместного управления объектами культурного наследия (далее – ОКН). Предметом исследования является возможность использования цифрового управления ОКН. Оно имеет решающее значение для деятельности по его сохранению, обслуживанию и защите. Этот метод предполагает интеграцию ОКН как интерпретируемых данных в HBIM и последующее использование моделей в качестве цифровой копии для мониторинга изменений, выявления рисков, предложения возможных решений и оценки потенциального воздействия и угроз. В настоящее время BIM в основном используется при строительстве новых зданий, а не реставрации существующих [5]; некоторые это связывают со скептицизмом специалистов по культурному наследию [9, 10], но также и из-за того, при обработке данных существующих зданий обычно имеются проблемы, связанные с неопределенностью и интерпретацией. Кроме того, исторические здания обычно не допускают процедур стандартизации, которые являются сильной стороной BIM, поскольку они являются результатом различных

исторических слоев, дополнений и сносов, изменений использования.

Модели BIM можно создавать с разным уровнем точности. Во время преобразования между облаком точек и геометрической моделью можно принять несколько решений для достижения различных диапазонов точности. В литературе по BIM упоминается уровень детализации (LoD) и уровень информации (LoI). LoD относится к графическим элементам модели, тогда как LoI относится к неграфической информации [11].

Программное обеспечение BIM позволяет оцифровывать здания, предоставляя геометрическую, архитектурную и материальную информацию [5]. Кроме того, данные об окружающей среде и анализ энергоэффективности могут быть добавлены с помощью специальных подключаемых модулей. Термин «информационное моделирование исторического здания (наследия)» (HBIM) был введен Дором и Мерфи в 2012 г. [12]. При использовании HBIM исторические здания представляются не только своей геометрией, но и соответствующей исторической базой данных. Таким образом, на трехмерной модели можно управлять геометрией, материалами, состоянием износа, историческими фазами и дизайнерскими вмешательствами в здание. С одной стороны, такой подход противоречит природе ОКН: в то время как исторические объекты и компоненты зданий ценятся за их индивидуальность, параметрические библиотеки неявно предполагают, что их можно воспроизвести в цифровом виде с помощью цифровых объектов, поддающихся обобщению. Возможности и ограничения параметрических библиотек активно исследуются. Доре и Мерфи [7] предлагают интеграцию библиотеки HBIM с использованием ADE, расширения CityGML (открытая стандартизованная модель данных для хранения цифровых 3D-моделей городов и ландшафтов).

Фактически, ADE делит модель на подэлементы, обогащенные атрибутами и внешними ссылками. Внешние ссылки могут быть базами данных или веб-ресурсами, содержащими информацию, относящуюся к наследию, такую как исторические данные, хронологические фазы, различные слои. Однако многие исследователи согласны с тем, что в целом необходимы дальнейшие исследования [7, 8, 13] для упрощения основных задач, а конкретно – особенно создания параметрических библиотек, которое до сих пор выполняется вручную и требует много времени [5, 13]. Было предпринято несколько попыток [14] использовать BIM для описания теплового поведения и мониторинга энергетических параметров, таких как температура, относительная влажность и т. д. в застроенном наследии. К сожалению, термометрические модели все еще ограничены BIM для новых зданий [2], даже если изменение этих параметров часто является основной причиной деградации материалов. [15] BIM-модель здания наследия с параметрами окружающей среды может сыграть важную роль в поддержке оценки рисков и принятия решений для вмешательств и для прогнозирования возможной деградации в будущем [15].

*Цифровое управление ОКН*, имеет решающее значение для деятельности по его сохранению, обслуживанию и защите. Этот метод предполагает интеграцию ОКН как интерпретируемых данных в НВИМ и последующее использование моделей в качестве цифровой копии для мониторинга изменений, выявления рисков, предложения возможных решений и оценки потенциального воздействия и угроз. С использованием моделей НВИМ в качестве цифровой копии поддерживать превентивную консервацию объектов наследия. Консервация зданий – сложный и многоуровневый процесс, требующий совместной работы различных специалистов [2, 16]. Одним из ключевых этапов является анализ построения, в ходе которого необходимо объединить большое разнообразие источников информации [15–17]. Традиционно анализ здания проводится ручными методами, особенно на этапе обследования. С помощью триангуляции и цифровой фотограмметрии можно получить геометрические и текстурно-материальные свойства здания; затем эта информация оцифровывается на платформе CAD и создается 3D-модель. При этом проводится исторический анализ, исследуя прошлые источники, документацию и вообще все существующие свидетельства [17]. Следующим шагом является обнаружение любой деградации поверхности и соответствующее планирование сеанса вмешательства [11].

*Обычная информация о зданиях наследия, подлежащих сохранению, включает:*

- геометрические данные, такие как размеры и объем;
- архитектурную грамматику, задуманную как архитектурный стиль (конкретные строительные компоненты и методы строительства);
- характеристику материала. Эта информация обычно детализируется на видах фасадов, где каждый материал изображается отдельной штриховкой. Затем штриховки иллюстрируются метками;
- деградацию фасада. Виды фасадов снабжены штриховками, представляющими определенные ухудшения. Типологии деградации могут быть описаны с использованием хартий, таких как ИКОМОС (ICOMOS-ISCS);
- фасадные вмешательства (представляют собой виды фасадов со штриховками, символами и таблицами для детализации запланированных действий);
- если здание страдает от каких-либо структурных повреждений, требуется обследование повреждений, чтобы адекватно спланировать мероприятия по укреплению конструкции.
- сбор данных и, возможно, моделирование параметров окружающей среды и их будущего воздействия на строительную ткань и данные мониторинга с пространственным разрешением.

НВИМ обычно рассматривается как специальная библиотека параметрических интеллектуальных объектов [13, 18]. Однако, когда он был создан в 2009 году, сами авторы описали его как особый процесс BIM для построенного наследия, который состоит из трех основных этапов [11]:

- сбор данных осуществляется совмещением TLS и цифровой фотограмметрии, так как рекомендуется уменьшить вероятность ошибки;

- обработка данных, выполняемая путем очистки от шума, повторной выборки точек и регистрации облака точек;

- этап моделирования, то есть полигональная сетка поверхности и текстурирование. Создается параметрическая библиотека, моделирующая элементы с помощью комбинации простых геометрических форм, где параметры определяются до формирования формы.

НВИМ следует рассматривать как процедурное моделирование [19] адаптированное к каждому конкретному случаю. Процессы НВИМ постоянно развиваются. В последних исследованиях пытаются автоматизировать процесс НВИМ, создавая доступную и модифицируемую параметрическую библиотеку цифровых объектов, которые могут представлять разнообразие реальных объектов.

Особенно в последние годы растут исследования и разработки решений в среде НВИМ:

- Штвиртня и др. в 2019 г. в своей работе обсудили применение НВИМ к храму Ван в Карпаче в Польше, показав потенциал этой системы в создании обширной, сложной и подробной документации здания [20];

- Салам, 2020 г. Описал использование НВИМ в восстановлении дворца барона Эмпайна в Гелиополе, Египет [21];

- Костантино и др. в 2021 г. предложили процедуру НВИМ для консервации и сохранения церкви Сан-Пьетро-ин-Монторио (Италия) [22];

- Сантагати и др. в 2021 г. обсудили результаты применения НВИМ к Кафедральному Собору Иоанна Богослова, Никосия, Кипр [23];

- Баньюэлос и др. в 2022 г. представили часть анализа, монастыря Сан-Миллан-де-ла-Коголья-де-Юсо (Испания), основанного на моделировании НВИМ [24];

- Фемистоклеус и др. в 2022 г., использовали в своей работе НВИМ для церкви Панагии Кармиотиссы, Кипр [25];

- Сансеверино и др. в 2022 г., описали методологию НВИМ для точной и географической привязки городских контекстов на примере Дворца Карла V, Испания [26].

Реставрационная деятельность – это та сфера, которую пока в меньшей степени затронули BIM технологии. И хотя значение компьютерного моделирования для повышения уровня эффективности научных исследований и анализа памятников архитектуры не подвергается сомнениям. Исследование архитектурного наследия предполагает большую аналитическую работу с архивными и проектными документами и старыми фотографиями.

Результатом развития BIM технологии в реставрации и реконструкции может являться создание электронных каталогов с использованием локальных и общегосударственных баз данных, которые будут включать в себя наборы объемных моделей памятников архитектуры и их элементов, а также

исторических территорий городов и содержат общую информацию об объекте: текстовое описание, изображение, картографическую информацию. Подобные архивы будут иметь бесценную теоретическую и практическую значимость. Также позволят повысить скорость и точность поиска, обеспечили достоверность информации об объекте.

Исторические здания – это не просто произведения архитектуры и ценные достопримечательности. Это то, что позволяет не утратить нам физическую связь с нашим прошлым. Поэтому защита культурного наследия заключается не только в сохранении самих зданий, но и содержащихся в них пластов информации о прошлом и тех, кто жил или работал в этих зданиях до нас. Необходимые данные о здании, во время реконструкции, часто либо теряются, либо не регистрируются. Возможность собирать и хранить информацию о зданиях в базе

данных могла бы решить эту проблему. Благодаря комбинированному использованию семантически обогащенных моделей HBIM в качестве цифровых копий с оперативными данными в реальном времени может быть использована в области сохранения/восстановления ОКН. И подобный процесс планового технического обслуживания, потенциально бесконечен и демонстрирует огромный потенциал подхода HBIM в области восстановления и консервации сложных ОКН.

Сегодня BIM является передовой технологией, использование которой может изменить процесс восстановления объектов культурного наследия. Посредством точного документирования и анализа данных технологии информационного моделирования могут стать важным инструментом сохранения значимых культурных и исторических объектов для будущих поколений.

#### Список литературы

1. Бадьин Г. М. Современные технологии строительства и реконструкции зданий / Г. М. Бадьин, С. А. Сычев. – Санкт-Петербург : БХВ, 2013. – С. 204.
2. Заграевский С. В. Культурно-историческая среда российских городов. Способы ее сохранения / С. В. Заграевский // Территория и планирование. – 2011. – № 2 (32). – С. 4–13.
3. Долотказина Н. С. Особенности реновации городских территорий с учетом существующих ограничений / Н. С. Долотказина, Ю. Г. Кожевникова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 2 (32). – С. 36–40.
4. Соболев Н. А. Проблемы реставрации и реконструкции памятников архитектуры / Н. А. Соболев, О. Г. Дегтярева // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : сборник статей по материалам IX Всероссийской конференции молодых ученых. – 2016. – С. 879–880.
5. Worrell L. L. Building information modeling (BIM): the untapped potential for preservation documentation and management / L. L. Worrell. – Clemson University, 2015.
6. Baik A. Jeddah historical building information modeling "JHBIM" Old Jeddah-Saudi Arabia / A. Baik, J. Boehm, S. Robson // Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci. – 2013. – № 40 (5W2). – P. 73–8.
7. Murphy M. Historic Building Information Modelling - adding inphonelignence to laser and image based surveys of European classical architecture / M. Murphy, E. McGovern, S. Pavia // ISPRS J Photogramm Remote Sens. – 2013. – № 76. – P. 89–102.
8. Brumana R. From survey to HBIM for documentation, dissemination and management of built heritage: the case study of St. Maria in Scaria d'Inphonevi / R. Brumana, D. Oreni, A. Raimondi, A. Georgopoulos, A. Bregianni // Proceedings of the DigitalHeritage 2013–federating the 19th Int'l VSMM, 10th Eurographics GCH, and 2nd UNESCO Memory of the World Conferences, Plus Special Sessions from CAA, Arqueologica 20 et al. IEEE. – 2013. – P. 497–504.
9. Di Mascio D. Building Information Modelling (BIM)-supported cooperative design in sustainable renovation projects / D. Di Mascio, X. Wang // In: Cooperative design, visualization, and engineering SE-30. – 2013. – P. 205–212.
10. Volk, R. Building Information Modelling (BIM) for existing buildings – literature review and future needs / R. Volk, J. Stengel, F. Schlmann // Autom Constr. – 2014. – № 38. – P. 109–127.
11. Pcobelli D. P. BIM for heritage science: a review / D. P. Pcobelli, J. Boehm, P. Bryan, et al. // Herit Sci. – 2018. – № 6. – P. 30.
12. Dore C. Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for recording and managing cultural heritage sites / C. Dore, M. Murphy // 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia. – Milan, 2012. – P. 369–376.
13. Barazzetti L. Cloud-to-BIM-to-FEM: structural simulation with accurate historic BIM from laser scans / L. Barazzetti, F. Banfi, R. Brumana, G. Gusmeroli, M. Previtali, G. Schiantarelli // Simul Model Pract Theory. – 2015. – № 57. – P. 71–87.
14. Percy K. Integrated digital technologies for the architectural rehabilitation & conservation of Beinn Bhreagh Hall & surrounding site, Nova Scotia, Canada / K. Percy, S. Ward, M. S. Quintero, T. Morrison // ISPRS Ann Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci. – 2015. – № 2 (5). – P. 235–241.
15. Odgers D. Practical building conservation: stone / D. Odgers, A. Henry. – Farnham : Ashgate, English He ; 2012. – P. 338.
16. Arias P. Digital photogrammetry, GPR and computational analysis of structural damages in a mediaeval bridge / P. Arias, J. Armesto, D. Di-Capua, R. González-Drigo, H. Lorenzo, V. Pérez-Gracia // Eng Fail Anal. – 2007. – № 14(8). – P. 1444–57.
17. Baila A. Design for knowledge and restoration. instrumental survey at Santa Maria in Celso / A. Baila, L. Mazza, A. Anzani // Cultural heritage: documentation, preservation, and protection: 5th international conference, EuroMed 2014, Limassol, Cyprus, November 3–8, 2014. – Cham : Springer International Publishing; 2014. – P. 427–437.
18. Oreni D. From 3D content models to HBIM for conservation and management of built heritage / D. Oreni // The 13th international conference on computational science and its applications. – 2013. – P. 344–357.
19. Baik A. From point cloud to Jeddah heritage BIM Nasif historical house–case study / A. Baik // Digit Appl Archaeol Cultur Herit. – 2017. – № 4. – P. 1–18.
20. Sztwiertnia D. HBIM (heritage Building Information Modell) of the Wang Stave Church in Karpacz–Case Study / D. Sztwiertnia, A. Ochalek, A. Tama, P. Lewińska // Int J Archit Herit. – 2019. – № 1. – P. 15.
21. Salam NFA. HBIM-a sustainable approach for heritage buildings restoration in Egypt / Salam NFA // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 410, No. 1. – P. 012072.
22. Costantino, D. Scan-to-HBIM for conservation and preservation of Cultural Heritage building: the case study of San Nicola in Montedoro church (Italy) / D. Costantino, M. Pepe, A. Restuccia // Appl Geomat. – 2021.
23. Santagati C. HBIM for the knowledge and documentation of the St. John the Theologian cathedral in Nicosia (Cyprus) / C. Santagati, D. Papacharalambous, G. Sanfilippo, N. Bakirtzis, C. Laurini, S. Hermon // J. Archaeol. Sci.: Reports, – 2021. – № 36. – Article 102804.

24. Korro Bañuelos, J., Pinto-Puerto, F., Casphonelano-Román, M., Valle-Melón, J.M., Rodríguez Miranda, Á. Methodological and Conceptual Phases for HBIM Modelling: The Case of the Monastery of San Millán de la Cogolla de Yuso (Spain). In: Ródenas-López, M.A., Calvo-López, J., Salcedo-Galera, M. (eds) Architectural Graphics. EGA 2022. Springer Series in Design and Innovation. – 2022. – Vol. 21.
25. Kyriacos Themistocleous, Marinos Ioannides, George Tryfonos, Douglas Pritchard, Harriet Cliften, Maria Katiri, Nenad Jončić, Giulia Osti, Thomas Rigauts, Francesco Ripanti, Andreas Anayiotos, "HBIM for cultural heritage: the case study of Panayia Karmiotissa church," Proc. SPIE 12268, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications XIII, 122680B (26 October 2022).
26. Долотказина Н. С. Особенности реновации городских территорий с учетом существующих ограничений // Н. С. Долотказина, Ю. Г. Кожевникова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 2 (32). – С. 36–40.

© Н. И. Ермолин, О. А. Ермолина, А. П. Оксенюк

**Ссылка для цитирования:**

Ермолин, Н. И., Ермолина, О. А., Оксенюк, А. П. Использование технологии информационного моделирования зданий для объектов культурного наследия // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2023. № 4 (46). С. 95–99.

УДК 621.395.74

DOI 10.52684/2312-3702-2023-46-4-99-103

**УВЕЛИЧЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ БЕСПРОВОДНОЙ  
СЕНСОРНОЙ СЕТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

*Н. С. Мальцева, Р. Р. Ажмуратова, Д. С. Бондаренко*

**Мальцева Наталья Сергеевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Связь», Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (905) 360-64-08; email: maltsevans@mail.ru;

**Ажмуратова Радмила Радиковна**, аспирант, Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (937) 123-54-04; email: radmilochka97\_97@mail.ru;

**Бондаренко Дарья Сергеевна**, ассистент кафедры «Связь», Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (988) 088-26-93; email: d.s.bondar03@yandex.ru

В статье рассмотрен алгоритм, позволяющий увеличить время жизни беспроводных сенсорных сетей. В настоящее время актуальной является задача мониторинга экологического состояния природоохраненных территорий. Применение беспроводных сенсорных сетей для решения задач экологического мониторинга позволит оперативно реагировать на изменения экологической ситуации и минимизировать потери в случае возникновения неблагоприятных воздействий. Для беспроводных сенсорных сетей остро стоит вопрос энергопотребления. Для повсеместного внедрения данного вида сетей необходимо увеличить время жизни беспроводных узлов. Предлагаемый алгоритм позволяет уменьшить потребление энергоресурсов узлов для увеличения времени жизни беспроводных сенсорных сетей. В предлагаемом алгоритме кластеризация осуществляется с использованием соответствующего распределения роли датчиков в каждом кластере. Число членов в каждом кластере становится практически равным, поэтому равное время расходуется на сбор измеренных данных в головных кластерах, а также используется энергия головных кластеров соответственно во всех кластерах. Как следствие, достигается равновесие нагрузки и энергии на каждый кластер, а также по всей сети. Результаты моделирования показывают, что предлагаемый алгоритм более эффективен, чем известный алгоритм LEACH в данного вида сетях независимо от того, является ли среда однородной или неоднородной и является ли базовая станция статической или динамической.

**Ключевые слова:** беспроводная сенсорная сеть, датчик, алгоритм, кластеризация, сенсор, головной узел, энергозатраты, мониторинг.

**EXTENDING THE SERVICE LIFE OF A WIRELESS SENSOR NETWORK ENVIRONMENTAL MONITORING**

*N. S. Maltseva, R. R. Azhmuratova, D. S. Bondarenko*

**Maltseva Nataliya Sergeevna**, Ph. D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Communications, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (905)360-64-08; email: maltsevans@mail.ru;

**Azhmuratova Radmila Radikovna**, postgraduate student of Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (937) 123-54-04; email: radmilochka97\_97@mail.ru;

**Bondarenko Daria Sergeevna**, assistant of the Department of Communications of Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (988) 088-26-93; email: d.s.bondar03@yandex.ru

The article considers the possibility of developing an algorithm that allows to increase the lifetime of sensors in wireless sensor networks (BSS). Currently, the task of monitoring the ecological state of nature-protected areas is urgent. The use of BSS for solving environmental monitoring tasks will allow you to quickly respond to changes in the environmental situation and minimize losses in case of adverse situations. For wireless sensor networks, there is an acute issue of power consumption. For the widespread introduction of the FSU, it is necessary to increase the lifetime of the wireless nodes. The proposed algorithm allows to reduce the energy consumption of nodes to increase the lifetime of wireless sensor networks. The clustering algorithm is implemented using the appropriate sensor distributions in each cluster. The number of members in each cluster becomes almost the same, so equal time is spent on collecting measured data in the head clusters, which are also used in all clusters. As a consequence, the load and energy will be on each cluster. The LEACH algorithm for a wireless sensor network, regardless of whether the medium is homogeneous or heterogeneous and is a static or dynamic base station.

**Keywords:** wireless sensor network, sensor, algorithm, clustering, sensor, head node, energy consumption, monitoring.

**Введение**

Беспроводная сенсорная сеть относится к группе пространственно распределенных и выделенных сетей, состоящих из датчиков для мони-

торинга и записи физических условий окружающей среды и организации собранных данных. С помощью датчиков измеряют такие условия окружающей среды, как температура, звук, уровень загрязнения, влажность, ветер [1].