

Распределённое управление критически важных объектов городской инфраструктуры на принципах автономности

И.О. Прутчиков¹, В.В. Камлюк¹, И.В. Гречушкин².

¹*Санкт-Петербургский военный ордена Жукова институт войск национальной гвардии Российской Федерации*

²*ООО «НПО 122 УМР», Санкт-Петербург*

Аннотация: В статье рассматриваются особенности и перспективы реализации распределенного управления критически важными объектами городской инфраструктуры на принципах автономности; выделяются основные технологии, направления развития и особенности энергоперехода в условиях городской среды, способствующие внедрению распределенного управления объектами городской инфраструктуры. В исследовании основной акцент сделан на анализе распределенной структуры комплексной безопасности критически важных объектов городской инфраструктуры и разработке общих принципов распределенного управления объектов критической инфраструктуры по технологии «Автономное здание».

Ключевые слова: распределённое управление, технология, энергетика, энергопереход, городская инфраструктура, критически важный объект, электрификация, децентрализация, автоматизация, автономность.

В настоящее время в структуре мировой энергетической системы происходят фундаментальные изменения. В целом, этот комплекс изменений обычно называют «Энергетическим переходом» (Energy Transition), который, по сути, представляет собой переход к новому порядку функционирования энергетической системы. Энергопереход, который осуществляется в настоящее время, представляет собой уже четвёртый этап фундаментальных структурных преобразований мирового энергетического сектора. В отличие от этапов энергопереходов, связанных, в основном, с экономическими причинами и сменой основного энергоносителя (биомасса, уголь, нефть, газ), на четвёртом этапе энергоперехода главными моментами являются декарбонизация и борьба с глобальным изменением климата. При этом основным драйвером четвертого энергоперехода, наряду с декарбонизацией, становится электрификация, поскольку реализация технологий

декарбонизации предполагает использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии [1,2].

С технологической точки зрения новый этап энергоперехода представляет собой глобальные изменения энергосистем по четырем основным взаимосвязанным направлениям: энергоэффективности, декарбонизации, децентрализации и цифровизации. При этом предполагается достичь существенного снижения темпов роста энергопотребления за счет роста энергоэффективности и собственной генерации у потребителей.

Структурная перестройка энергопотребления в настоящее время происходит на базе перехода на самый универсальный, а по ряду применений и безальтернативный энергоноситель – электрическую энергию, то есть, путем электрификации всех секторов энергообеспечения. При этом, ключевым элементом энергоперехода является распространение технологий производства электроэнергии на солнечных, ветряных электростанциях и других нетрадиционных возобновляемых источниках энергии (НВИЭ). Помимо применения НВИЭ, достаточно важным компонентом электрификации и энергоперехода в целом является аккумуляция (хранение) и преобразование электроэнергии. Внедрение современных технологий аккумуляции (хранения) электроэнергии позволяет обеспечивать управляемую выдачу мощности от НВИЭ с учетом потребностей энергосистемы, расширять зоны распределенной генерации, выравнивать графики энергопотребления, повышать качество работы энергосистем. Важнейшую роль в совершенствовании накопителей электроэнергии имеет электрификация транспортного сектора. В целом, распределенные системы хранения электроэнергии в совокупности с собственной ее генерацией, в настоящее время становятся экономически более целесообразными.

Наряду с нетрадиционной энергетикой в контексте энергоперехода, декарбонизацией и электрификацией интенсивное развитие в настоящее время приобретает также водородная энергетика. Энергоисточники, принцип работы которых основан на использовании водорода, могут найти широкое применение в электроэнергетике, на транспорте, в жилом и производственном секторе. Основное преимущество водорода в условиях энергоперехода – возможность использования избыточной выработки электроэнергии для его производства методом электролиза.

Важным направлением энергоперехода является повышение управляемости в первую очередь путем внедрения цифровых и интеллектуальных систем в электроэнергетике. Цифровизация энергетике создает новые возможности в условиях, когда управлять энергосистемами с большой долей децентрализации и развитии НВИЭ становится все сложнее. С цифровизацией тесно связана автоматизация энергооборудования. Комплексная автоматизация энергооборудования, связанная с использованием современных цифровых технологий, таких, как интернет вещей, облачные технологии, большие данные и т.п., способна превратить потребителей энергии в активных полноправных участников энергосистемы. На их базе могут создаваться «умные потребители энергии», «умные электросети» и другие «умные» элементы энергосистемы, позволяющие оптимизировать процессы генерации, преобразования, передачи и потребления электроэнергии.

Например, новые технологические возможности электропотребителей в новой информационной среде позволяют автоматизировать сбор данных о нагрузке, и при помощи автоматизированных, в том числе использующих искусственный интеллект, систем управления — оперативно принимать решения о ее изменении. Считается, что реализация стратегий «умных» цифровых сетей создаст новый тип инфраструктуры энергоснабжения,

адекватный появляющейся новой распределенной энергетике и запросам активных потребителей.

Среди активных драйверов энергоперехода следует также выделить децентрализацию энергетике, проявляющуюся в первую очередь в развитии распределенной энергетике. Новые решения в этой области позволяют подключать к системе всё больше устройств, отдающих электроэнергию в сеть. К технологиям распределенной энергетике традиционно относят распределенную генерацию, управление спросом, микрогриды, распределенные системы аккумулирования электроэнергии, а также электротранспорт.

В городской среде современные тенденции энергоперехода сохраняются, но имеют при реализации свои особенности. В частности, различные технологии энергоперехода распределяются неравномерно по отраслям городского хозяйства. В бытовом секторе наблюдается вытеснение «грязных» энергоносителей (уголь, мазут) более экологически чистыми: природного газа и электричества, происходит электрификация быта, всячески поощряется прямое использование НВИЭ отдельными домохозяйствами. На транспорте наблюдается переход на электромобили и другие виды электротранспорта. В промышленном секторе энергопереход первоочередное развитие получил в металлургии (электропечи), силовых агрегатах (привод), строительство, 3D печатании и т.д. НВИЭ, в целом, по показателю полных приведенных затрат постепенно становятся конкурентоспособны с традиционной генерацией, однако требуют особого строения энергосистем, чего пока в условиях городской среды достичь пока не удастся.

Таким образом, в условиях городской среды внедрение технологий и драйверов энергоперехода проходит неравномерно, что в целом ограничивает эффект от их внедрения. В первую очередь это относится к перспективам и возможностям децентрализованного автономного энергоснабжения.

Доминирование централизованных систем энергоснабжения в условиях городской среды сейчас сохраняется. Основные технологии, направления развития и особенности энергоперехода в условиях городской среды показаны на рис. 1.

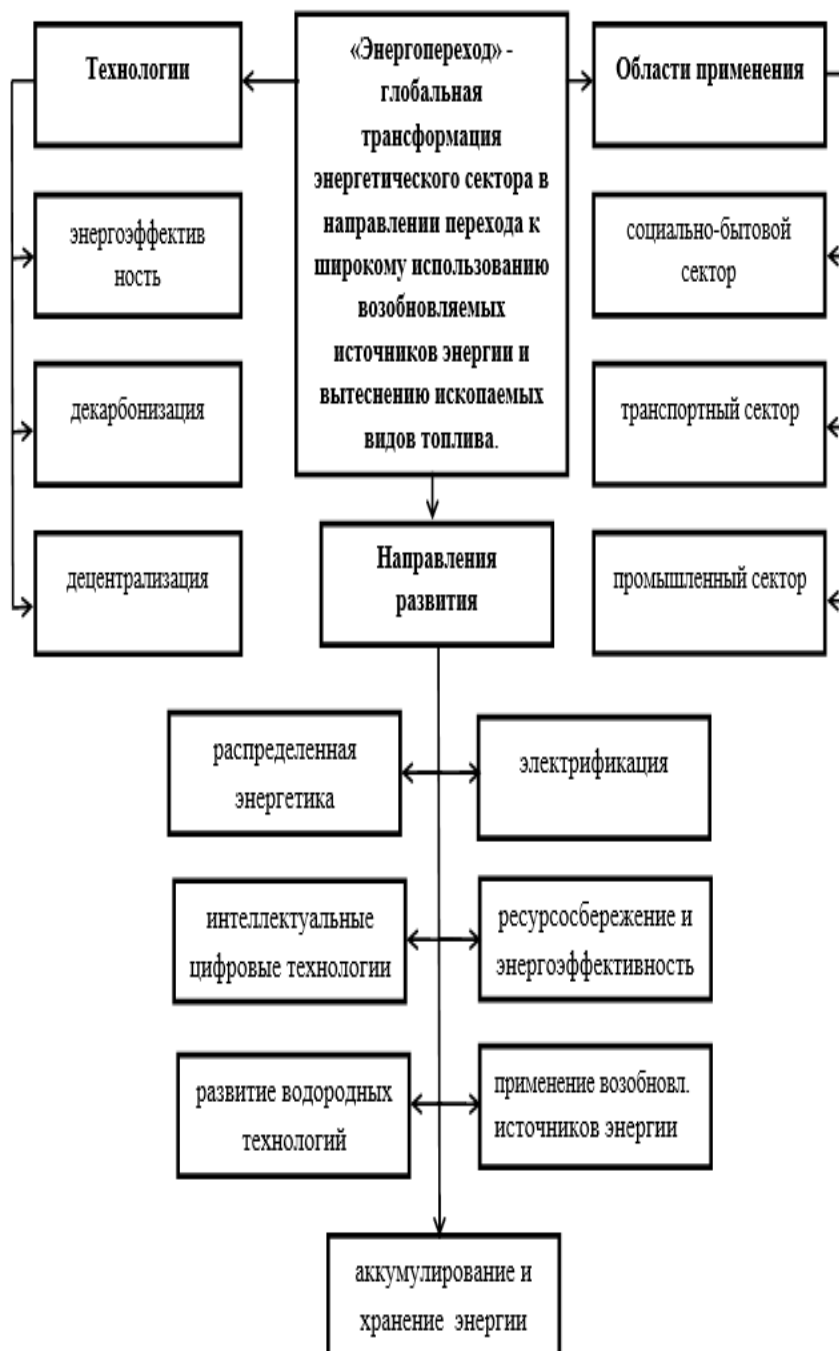


Рис 1. – Основные технологии, направления развития и особенности энергоперехода в условиях городской среды

Революционные изменения в электроэнергетике города, связанные с энергопереходом, в настоящее время сопровождаются качественным повышением требований и возможностей по обеспечению его комплексной безопасности.

При этом, особая роль отводится первоочередному обеспечению безопасности функционирования критически важных объектов (КВО) городской инфраструктуры, включая в первую очередь объекты жизнеобеспечения, в том числе энергетические. Комплексная безопасность КВО городской инфраструктуры в общем случае предполагает единовременное обеспечение коммунально-бытовой, техносферной, техногенной, информационной, психологической, криминальной, террористической, военной и некоторых других видов безопасности. При этом должны быть соблюдены нормативы и требования по безопасности жизнедеятельности и промышленной безопасности. Важную роль в обеспечении комплексной безопасности КВО городской инфраструктуры приобретают их технические системы, основными из которых являются: инженерные, обеспечения безопасности и информационные. Наблюдаемое в настоящее время интенсивное развитие и совершенствование данных систем на базе современных интеллектуальных, информационных, энергоэффективных и иных технологий может служить основой для существенного повышения комплексной безопасности КВО городской инфраструктуры. При этом, как показано в ряде работ [3,4] совместное применение элементов систем жизнеобеспечения и безопасности является достаточно рациональным и перспективным решением для создания эффективных систем комплексной безопасности объектов по ее основным видам: энергетической, экологической, противопожарной, охранной,

контроля доступа и т.п. Основные составляющие, пути обеспечения и структура комплексной безопасности критически важных объектов городской инфраструктуры представлены на рис.2.

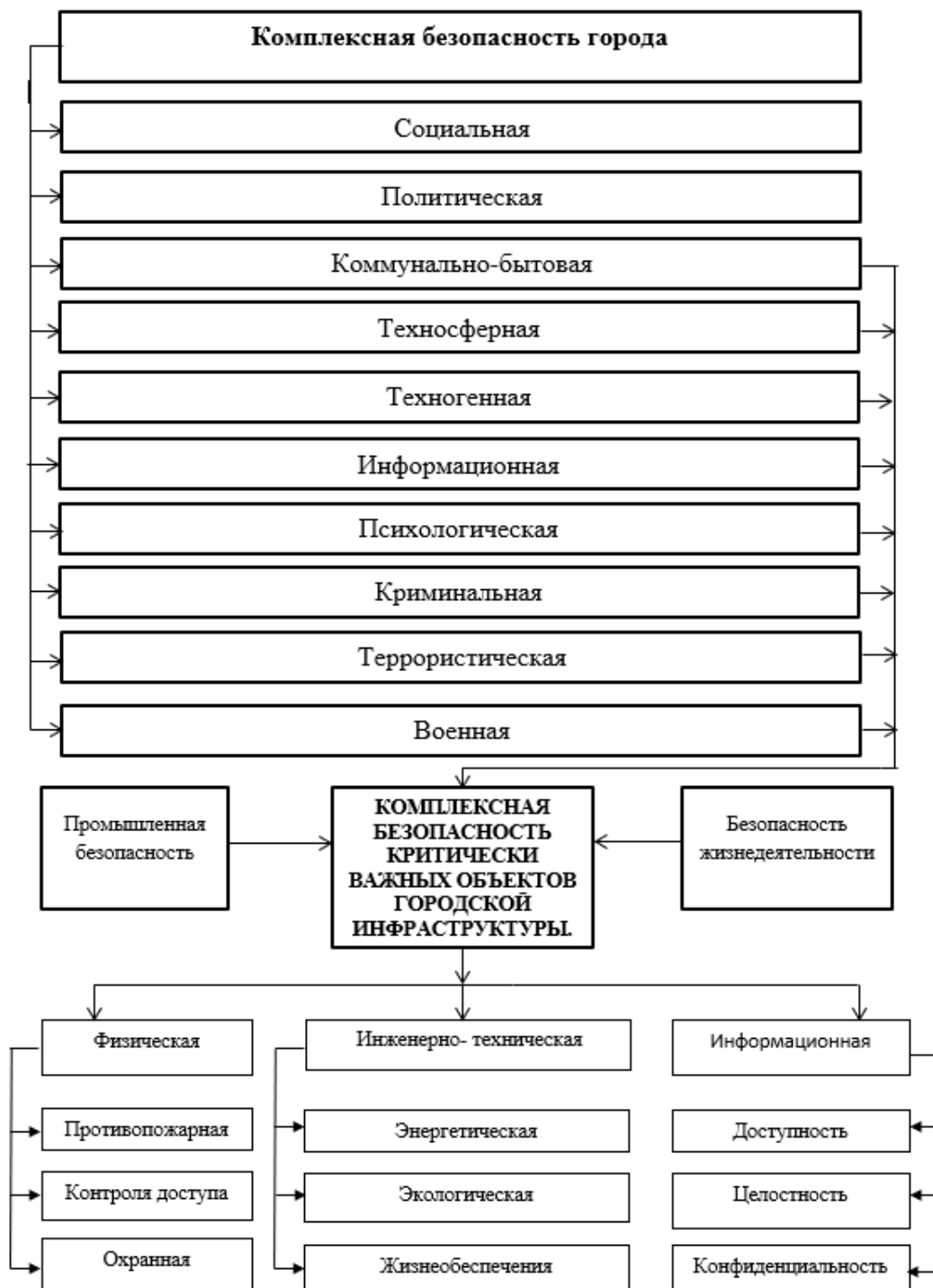


Рис 2. – Основы и структура комплексной безопасности критически важных объектов городской инфраструктуры

Анализ данных, представленных на рис.2 позволяет сделать заключение о возможности и целесообразности первоочередного развития технических систем, которые осуществляют комплексную безопасность КВО городской инфраструктуры на базе совместного применения элементов систем безопасности и жизнеобеспечения, в том числе энергоснабжения. Среди технологий управления объектами городской инфраструктуры, которые интенсивно внедряются и хорошо себя зарекомендовали, следует отметить известные технические решения типа «Интеллектуальная городская среда» [5, 6], «Умный дом» [7-9], «Энергоэффективное здание» [10,11], «Экологически чистое здание» и т.п.

Данные технологии при всех достоинствах ориентированы, в первую очередь, на централизованное управление городской инфраструктурой, что не всегда является оптимальным техническим решением с точки зрения обеспечения безопасности в условиях возможного выхода из строя централизованных систем контроля. В этой связи достаточно актуальной представляется разработка и создание индифферентных по отношению к характеристикам централизованных систем контроля локальных систем комплексной безопасности объектов городской инфраструктуры, особенно критически важных. Помимо отмеченных выше современных технологий управления и контроля, базовой основой создания локальных систем безопасности могут служить автономные системы жизнеобеспечения, в том числе, внедряемые в процессе энергоперехода собственные средства энергообеспечения объектов с НВИЭ. При этом возможна разработка децентрализованных систем управления и контроля критически важными объектами городской инфраструктуры с учётом обеспечения требуемого уровня их безопасного автономного функционирования. В этой связи

актуальным становится структурное построение технических систем КВО городской инфраструктуры на принципах и технологии, которые можно обобщенно определить, как технологию «Автономное здание».

В качестве инструментальной основы данной комплексной технологии могут служить известные подходы оптимального управления и контроля объектов, реализованные для условий автономной работы объекта без его связи с внешними техническими системами, такие, как «Умный дом», «Безопасный город» и т.п. В соответствии с предлагаемой технологией «Автономное здание», построение автономных систем жизнеобеспечения данного класса объектов может быть осуществлено на принципах комбинированного применения НВИЭ с использованием технологий частотного регулирования и преобразования энергии [12,13]. При этом безопасность объектов может быть обеспечена путем синтеза автономных систем комплексной защиты в соответствии с ранее рассмотренными техническими решениями комбинированного применения средств безопасности и жизнеобеспечения [3,4].

Организационно-технические основы функционирования объектов критической инфраструктуры по предлагаемой технологии «Автономное здание» представлены на рис. 3. Практическая разработка и внедрение систем комплексного локального управления и контроля, обеспечивающих безопасное функционирование объектов городской инфраструктуры по предлагаемой технологии «Автономное здание», в настоящее время может проводиться в соответствии со следующими основными концептуальными положениями:

1. Функционирование объекта критически важной инфраструктуры технически и технологически строится на принципах автономности, обеспечивающих его функционирование без связи с внешними техническими

системами (инженерными, обеспечения безопасности, информационными и т.д.).

2. В зависимости от назначения и условий функционирования, требуемого периода автономной работы, необходимой степени автоматизации, обитаемости и защищенности может устанавливаться разный уровень автономности критически важных объектов городской инфраструктуры от частично до полностью автономного.

3. Автоматическое управление и контроль над автономными объектами критически важной городской инфраструктуры организуется на базе использования наиболее эффективных информационных и интеллектуальных цифровых технологий, а также комплексных технологий управления «Умный дом», «Безопасный город» и т.п.

4. Технические системы жизнеобеспечения автономных объектов строятся на базе комбинированного применения автономных источников энергии, в том числе, НВИЭ, на принципах совместной работы электромашинных и статических преобразователей электроэнергии, аккумулирования, частотного регулирования и преобразования энергии.

5. Технические системы безопасности автономных объектов критически важной инфраструктуры города строятся с использованием комбинированных оптико-электронных средств обнаружения и распознавания событий с возможностью контроля полного спектра электромагнитных излучений.

6. Надежное и безопасное функционирование объектов критически важной инфраструктуры города обеспечивается посредством синтеза специальных технических систем комплексной защиты объекта от основных угроз безопасности на базе комбинированного применения элементов систем жизнеобеспечения и безопасности.

7. В тех случаях, когда объекты имеют связи с внешними техническими системами, допускается в нормальных условиях их функционирование совместно с внешними системами при условии обеспечения приоритетного перехода на автономные системы в случае наличия угроз безопасности функционирования объекта.

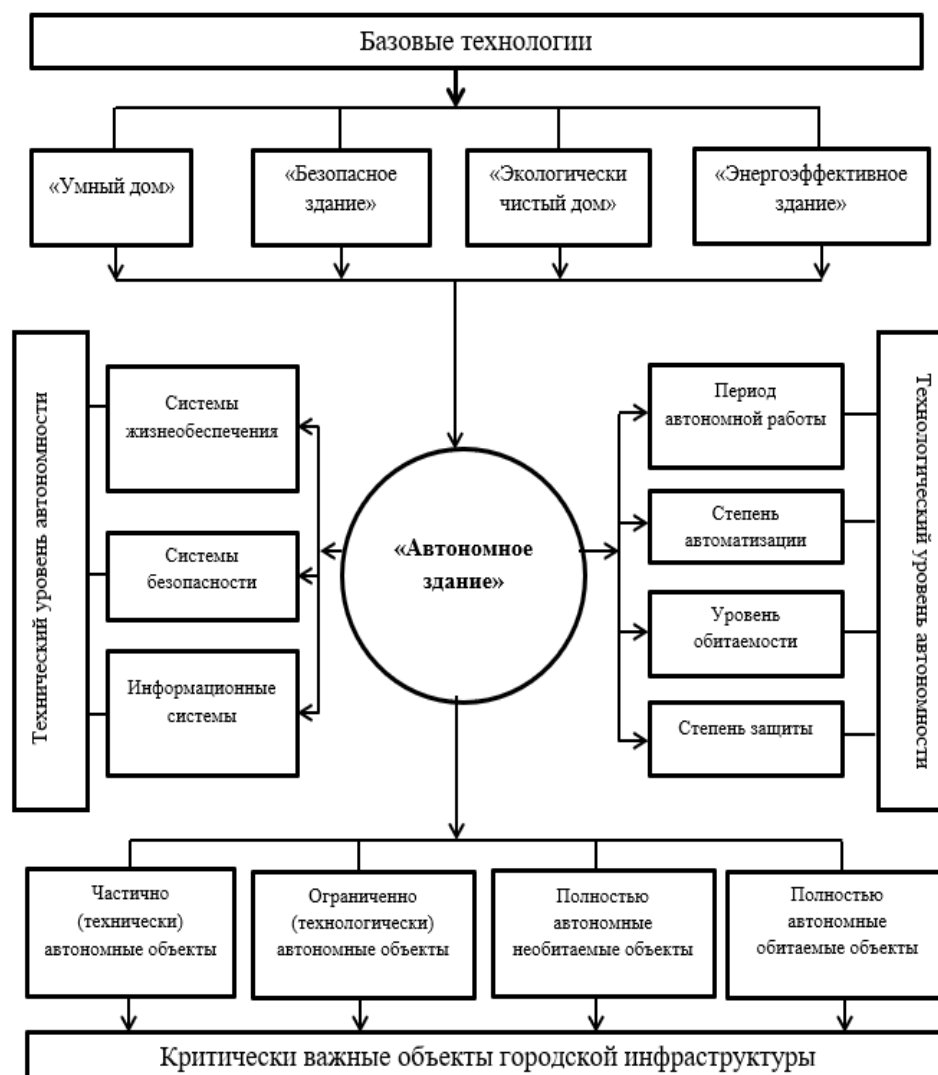


Рис.3. – Организационно-технические основы функционирования критически важных объектов городской инфраструктуры по технологии «Автономное здание»

Таким образом, внедрение систем распределенного управления КВО городской инфраструктуры на принципах автономности позволяет вывести

возможность их безопасного функционирования на новый качественный уровень, соответствующий современным требованиям и процессам энергоперехода, цифровизации, энергосбережения и т.п. Разработка и внедрение локальных систем управления и контроля КВО городской инфраструктуры целесообразна и возможна по предложенной технологии «Автономное здание», реализующей комплексный подход к обеспечению безопасного функционирования объектов и их защиту от основных угроз для безопасности.

Литература

1. Контурсы мирового энергетического перехода // Под ред. С.В. Жукова. – М: ИМЭМО РАН. 2020. 122 С.
2. Попадько Н.В., Рожнятовский Г.И., Паули Д.И. Водородная энергетика и мировой энергопереход // Инновации и инвестиции. 2021. №4. С. 59-64.
3. Прутчиков И.О., Камлюк В.В., Каулин Е.Л., Михайлов В.И., Федяев Л.С. Системы мониторинга, контроля и управления бесперебойным жизнеобеспечением автономных объектов на основе комбинированного применения оптико-электронных средств обнаружения и распознавания событий // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 102-105.
4. Прутчиков И.О., Камлюк В.В. И, Каулин Е.Л., Михайлов В.И., Куртц И.Д. Моделирование, расчёт параметров и режимов работы систем мониторинга, контроля и управления бесперебойным жизнеобеспечением автономных объектов на основе комбинированного применения оптико-электронных средств обнаружения и распознавания событий // Морской вестник. 2018. № 2 (66). С. 75-80.

5. Серая Е.С., Шеина С.Г., Петров К.С., Матвейко Р.Б. Интеллектуальная городская среда. Интеграция ГИС и BIM // Инженерный вестник Дона, 2019. №1. URL: / ivdon.ru magazine/archive/n1y2019/5495.
 6. Allam M.R., Raaz M.B.I., Ali M.A.M. A review of smart homes – Past, present, and future // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews). 2012. 42 (6). Pp. 1190–1203.
 7. Пахаев Х.Х., Айгумов Т.Г., Абдулмукинова Э.М. Анализ технологий построения автоматизированной системы «Умный Дом» // Инженерный вестник Дона. 2023. №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2023/8194.
 8. Кононченко А.С. Автоматизированная система управления электроснабжением умных сетей дома. В сборнике: Достижения вузовской науки: от теории к практике. Сборник материалов II Всероссийской конференции с международным участием. 2019. С. 84-87.
 9. Elshafee, A.M., Hamed, K.A. Design and Implementation of a WiFi Based Home Automation System. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering. 2012. 6. Pp 1074-1080.
 10. Алоян Р.М., Федосов С.В., Опарина Л.А. Энергоэффективные здания – состояние, проблемы и пути решения. Иваново: ПресСто: Ивановский государственный политехнический университет, 2016. 240 с.
 11. Ehsan Asadia, Manuel Gameiro da Silva, Carlos Henggeler Antunes, Luis Diasc. Multi-objective optimization for building retrofit strategies: A model and an application // Energy and Building. 2012. № 44. pp. 81–87.
 12. Прутчиков И.О., Гречушкин И.В., Камлюк В.В., Сизько Д.В. Комплексная система мониторинга, контроля и управления техническими системами жизнеобеспечения и безопасности автономных объектов // Патент
-

на изобретение RU 2759757 C1, 17.11.2021.
Заявка № 2020142367 от 21.12.2020.

13. Прутчиков И.О., Михайлов В.И., Камлюк В.В. Модули энергетической безопасности автономных объектов на базе комбинированных энергоустановок // Двигателестроение. 2019. № 1 (275). С. 28-32.

References

1. Kontury mirovogo jenergeticheskogo perehoda [The Contours of the World Energy Transition] Pod red. S.V. Zhukova. M: IMJeMO RAN. 2020. 122 P.
2. Popad'ko N.V., Rozhnjatovskij G.I., Pauli D.I. Innovacii i investicii. 2021. №4. Pp. 59-64.
3. Prutchikov I.O., Kamljuk V.V., Kaulin E.L., Mihajlov V.I., Fedjaev L.S. Morskoy vestnik. 2017. № 3 (63). Pp. 102-105.
4. Prutchikov I.O., Kamljuk V.V. I, Kaulin E.L., Mihajlov V.I., Kurtc I.D. Morskoy vestnik. 2018. № 2 (66). Pp. 75-80
5. Seraja E.S., Sheina S.G., Petrov K.S., Matvejko R.B. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019. №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2019/5495.
6. Allam M.R., Raaz M.B.I., Ali M.A.M. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews). 2012. 42 (6). Pp. 1190–1203.
7. Pahaev H.H., Ajgumov T.G., Abdumukminova Je.M. Inzhenernyj vestnik Dona. 2023. №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2023/8194.
8. Kononchenko A.S. V sbornike: Dostizheniya vuzovskoj nauki: ot teorii k praktike. Sbornik materialov II Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodny`m uchastiem. 2019. Pp. 84-87.



9. Elshafee, A.M., Hamed, K.A. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering. 2012. 6. Pp. 1074-1080.

10. Alojjan R.M., Fedosov S.V., Oparina L.A. Jenergojefektivnye zdanija – sostojanie, problemy i puti reshenija [Energy-efficient buildings - condition, problems and solutions]. Ivanovo: PresSto: Ivanovskij gosudarstvennyj politehnicheskij universitet, 2016. 240 p.

11. Ehsan Asadia, Manuel Gameiro da Silva, Carlos Henggeler Antunes, Luis Diasc. Energy and Building. 2012. № 44. Pp. 81–87.

12. Prutchikov I.O., Grechushkin I.V., Kamljuk V.V., Siz'ko D.V. Kompleksnaja sistema monitoringa, kontrolja i upravlenija tehničeskimi sistemami zhizneobespečenija i bezopasnosti avtonomnyh ob#ektov [Integrated monitoring, control and management system for technical life support and safety systems of autonomous facilities] Patent na izobrenie RU 2719714 C1, 22.04.2020. Zajavka № 2019114635 ot 13.05.2019.

13. Prutchikov I.O., Mihajlov V.I., Kamljuk V.V. Dvigatolestroenie. 2019. № 1 (275). Pp. 28-32.

Дата поступления: 21.02.2024

Дата публикации: 6.04.2024