

УМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА КАК ДРАЙВЕР ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДОВ¹

SMART ENERGY AS A DRIVER FOR SUSTAINABLE CITY DEVELOPMENT

**E. Seregin
S. Gutman
V. Seregin**

Summary. The article explores the relationship between implementing the smart city concept and achieving key sustainable development goals (SDGs). In the face of rapid urbanization and the growing need for efficient resource management, smart technologies have become essential for promoting sustainable environmental, economic, and social development in cities. Special emphasis is placed on the role of smart energy, which involves renewable energy sources, smart grids, and digital technologies to optimize energy use. These solutions enhance urban infrastructure's energy efficiency, reduce carbon emissions, and improve quality of life. The article also examines various smart city assessment systems and their contribution to achieving SDGs, such as affordable clean energy, economic growth, climate action, and sustainable urban development.

Keywords: smart city, smart energy, sustainable development goals, renewable energy, smart grids, energy efficiency.

Середин Евгений Петрович

специалист лаборатории «Промышленные системы потоковой обработки данных», Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
seregin.ep@edu.spbstu.ru

Гутман Светлана Семеновна

к.э.н., доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
SGutman@spbstu.ru

Середин Владислав Петрович

аспирант, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
seregin.vp@edu.spbstu.ru

Аннотация. В статье рассматривается связь между реализацией концепции умного города и достижением ключевых целей устойчивого развития (ЦУР). В условиях быстрой урбанизации и возрастающей потребности в эффективном управлении ресурсами, умные технологии становятся важнейшим инструментом для обеспечения устойчивого экологического, экономического и социального развития городов. Особое внимание уделено роли умной энергетики, которая включает использование возобновляемых источников энергии, интеллектуальных сетей и цифровых технологий для оптимизации энергопотребления. Эти решения играют ключевую роль в повышении энергоэффективности городской инфраструктуры, сокращении углеродных выбросов и улучшении качества жизни населения. В статье также представлены различные системы оценки умных городов и рассматривается их влияние на достижение ЦУР, таких как обеспечение доступной и чистой энергии, поддержка экономического роста, борьба с изменением климата и развитие устойчивой городской среды.

Ключевые слова: умный город, умная энергетика, цели устойчивого развития, возобновляемые источники энергии, умные сети, энергоэффективность.

Введение

Концепция «умного города» (smart city) в последние годы приобрела значительную популярность в России, и мире в целом. Под «умным городом» понимается городская среда, в которой используются современные цифровые технологии и инновационные решения для повышения качества жизни, улучшения городской инфраструктуры и обеспечения устойчивого развития. В условиях стремительного урбанистического роста и необходимости эффективного управления ресурсами, тема умных городов становится особенно актуальной. Поэтому основная цель данного исследования — показать, что система «умной энергетики» посредством

своих подсистем и функциональных элементов оказывает прямое или косвенное влияние на достижение большинства целей устойчивого развития Организации Объединенных Наций (ООН) и соответствующих им показателей.

В данной статье рассматривается связь между реализацией концепции умного города и достижением целей устойчивого развития (ЦУР). Существует множество систем для оценки умных городов, таких как U4SSC, разработанная Европейской экономической комиссией ООН и Международным телекоммуникационным союзом, которая охватывает экономические, социальные и экологические аспекты. Также используется стандарт ISO

¹ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-28-01206

37120, включающий целевые показатели оценки по 17 тематическим блокам [1–3].

Умный город представляет собой комплексную экосистему, в которой ключевые элементы, такие как умный транспорт, умное образование, умное управление, умное здравоохранение, умная безопасность, умная инфраструктура и умная энергетика, работают совместно для повышения качества жизни и устойчивого развития. Умный транспорт включает интеллектуальные транспортные системы и экологичные виды транспорта, а умное образование предоставляет доступ к цифровым платформам для обучения. Умное управление и здравоохранение используют цифровизацию для улучшения административных и медицинских услуг, а умная безопасность опирается на системы видеонаблюдения и ИИ для защиты граждан. Умная инфраструктура модернизирует городские системы, делая их более энергоэффективными, а умная энергетика, используя возобновляемые источники энергии и умные сети, снижает углеродный след и повышает энергетическую устойчивость городов (см. Рисунок 1) [4–6].

Ключевым компонентом умного города является «умная энергетика», которая обеспечивает эффективное управление энергоресурсами и способствует достижению целей устойчивого развития. Внедрение умных сетей, возобновляемых источников энергии и цифровых технологий играет важную роль в улучшении городской инфраструктуры и повышении энергоэффективности, что подтверждается рядом исследований и отчётов [7–10]. Эти инновации помогают городам более эффективно использовать ресурсы и адаптироваться к вызовам, связанным с изменением климата.

Методы и материалы

Методологической основой исследования выступают общенаучные методы, такие как синтез и анализ информации. Поиск исследований по рассматриваемой проблеме проводился в базах данных, включая Scopus, Web of Science, Google Scholar и РИНЦ. В ходе поиска использовались ключевые слова, такие как «умный город», «умная энергетика», «цифровизация», «устойчивое развитие» и «возобновляемые источники энергии». На основе анализа и синтеза отобранных исследований были систематизированы компоненты умного города, такие как умный транспорт, инфраструктура, энергетика и безопасность, а также установлена их взаимосвязь с целями устойчивого развития (ЦУР).

Информационной базой исследования послужили различные источники, включая публикации в рецензируемых научных журналах, обзоры и монографии экспертов в области устойчивого развития и умных городов, а также отчёты отраслевых организаций и госу-

дарственных учреждений, касающиеся устойчивого развития и энергетике.

Результаты

В статье были проанализированы научные работы ряда исследователей и интернет-материалы по заданной тематике с целью выявления влияния подсистем и элементов системы «умная энергетика». Были рассмотрены ЦУР и их подцели, на которые может оказывать непосредственное влияние разнообразных подсистем и соответствующих им элементов системы «умной энергетике».

ЦУР 8: «Достойная работа и экономический рост» активно поддерживается благодаря созданию рабочих мест и стимулированию экономического роста за счёт внедрения цифровых технологий и возобновляемых источников энергии. В отчёте ООН [8] подчёркивается тесная связь между доступом к чистой и устойчивой энергии и экономическим ростом. Доступ к надёжным источникам энергии способствует развитию экономики, поддерживая промышленное производство и создавая новые возможности для трудоустройства.

Цифровизация энергетического сектора, в частности внедрение умных сетей, способствует созданию рабочих мест в области ИТ и инженерии. Эти технологии позволяют предприятиям работать более эффективно и снижать операционные затраты, что, в свою очередь, стимулирует экономическую активность и производительность труда [10].

В исследовании [7] обсуждается роль умных энергетических решений в обеспечении устойчивого развития городов. Авторы подчёркивают, что в условиях стремительной урбанизации применение интеллектуальных технологий в энергетике — таких как возобновляемые источники энергии, системы хранения энергии и умные сети — способствует не только повышению энергоэффективности, но и снижению выбросов углерода. Эти технологии помогают городам более эффективно управлять своими ресурсами, обеспечивая устойчивость энергосистем и смягчение климатических последствий. Кроме того, внедрение таких решений поддерживает экономический рост и создание новых рабочих мест, одновременно способствуя сокращению социального неравенства за счёт улучшенного доступа к энергоресурсам.

ЦУР 9: «Индустриализация, инновации и инфраструктура» тесно связана с развитием инновационных технологий, таких как умные сети и системы хранения энергии, которые играют ключевую роль в модернизации инфраструктуры. В отчёте о ЦУР 7 [11] подчёркивается важность умных сетей и возобновляемых источников

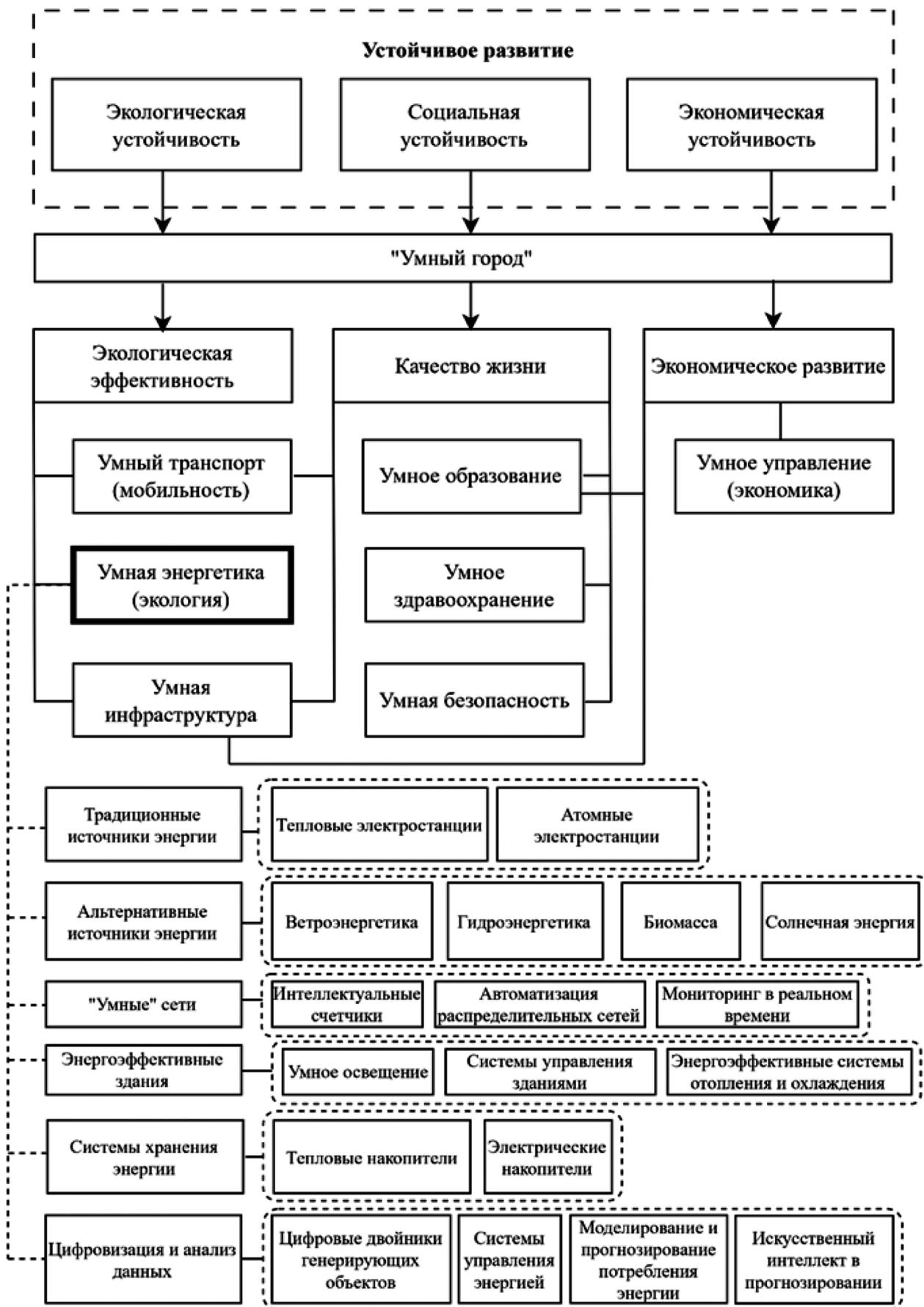


Рис. 1. Компоненты «Умного города»

энергии для создания устойчивой промышленной инфраструктуры. Это способствует гибкости энергетических систем и их устойчивости к изменениям спроса. Подобные выводы сделаны и в исследовании Университета Мэриленд [12], где описывается, как умные энергетические технологии поддерживают индустриализацию, модернизируя инфраструктуру и внедряя инновации, что в свою очередь укрепляет промышленную базу.

Дополнительно, внедрение систем хранения энергии (например, литий-ионных батарей и накопителей на основе водорода) позволяет сохранять избыточную энергию, выработанную солнечными или ветровыми установками, для использования в пиковые периоды. Это улучшает устойчивость и надёжность энергосистем, снижая зависимость от традиционных источников энергии. Эти технологии активно внедряются в крупных проектах, таких как Tesla Powerwall [13] или проекты по хранению энергии в ЕС, что способствует созданию устойчивой инфраструктуры и улучшению энергоэффективности в промышленности.

ЦУР 10: «Уменьшение неравенства» поддерживает за счёт улучшения доступа к энергии в отдалённых и бедных регионах. В отчете Ресурсного центра RELX по ЦУР [14] подчёркивается, что умные сети и цифровизация энергетики могут сократить социальное и экономическое неравенство, улучшив распределение энергоресурсов и сделав их доступными для уязвимых групп населения. Также, в статье [15] обсуждается, как искусственный интеллект способствует снижению барьеров для использования возобновляемой энергии, что делает её доступной для более широкого круга людей. ИИ помогает улучшить прогнозирование спроса и управление энергосистемами, что позволяет минимизировать перебои в энергоснабжении и обеспечить стабильные поставки даже в бедных или удалённых регионах.

ЦУР 11: «Устойчивые города и населенные пункты» значительно выигрывают от внедрения умных энергетических решений. Эти технологии помогают создать устойчивую городскую инфраструктуру, поддерживая более эффективное использование ресурсов и снижают углеродный след городов [16]. В отчёте Международного союза электросвязи (ITU) [10] говорится о том, что умные энергетические решения играют важную роль в улучшении городской инфраструктуры и делают города более устойчивыми к изменениям климата.

Одним из ключевых элементов является внедрение умных систем управления зданиями, которые позволяют автоматически регулировать потребление электроэнергии для отопления, охлаждения, освещения и других нужд. Это снижает энергопотребление в жилых и коммерческих зданиях, что особенно важно для густонаселённых городов. Такие системы могут снизить

энергозатраты до 20–30 %, что напрямую способствует улучшению энергоэффективности городской инфраструктуры.

ЦУР 12: «Ответственное потребление и производство» напрямую поддерживается умными энергетическими решениями, которые способствуют более рациональному использованию ресурсов и минимизации отходов. В отчёте ООН [8] подчёркивается важность систем хранения энергии и цифровизации для оптимизации использования энергоресурсов, снижения потерь и поддержания устойчивого потребления.

Кроме того, цифровизация процессов управления энергией, включая использование умных счётчиков и технологий мониторинга, помогает контролировать и оптимизировать потребление ресурсов в реальном времени. Такие технологии позволяют потребителям и предприятиям отслеживать свои энергетические затраты и принимать решения, направленные на сокращение ненужного потребления и снижение отходов. В исследовании организации Sustainable Energy for All [9] подчёркивается, что возобновляемая энергия и системы хранения играют ключевую роль в переходе на ответственное производство и потребление. Это особенно важно для промышленных предприятий, которые могут сократить избыточное энергопотребление и минимизировать свои отходы за счёт более эффективного управления энергией.

Таким образом, умные энергетические технологии оказывают значительное влияние на достижение целей устойчивого развития ЦУР 8–12. Они способствуют созданию рабочих мест, модернизации инфраструктуры, сокращению неравенства, поддерживают устойчивость городов и обеспечивают более ответственное потребление и производство ресурсов.

Умная энергетика играет центральную роль в достижении ЦУР 7 и ЦУР 13, так как её технологии способствуют улучшению доступности чистой энергии и эффективной борьбе с изменением климата. Развитие возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая, умные сети, системы хранения и цифровизация энергии помогают существенно продвинуться в решении этих глобальных задач. Рассмотрим более детально влияние этих технологий на обе цели, основываясь на анализе отраслевых исследований.

ЦУР 7 направлена на обеспечение всеобщего доступа к чистой и недорогой энергии. Технологии «Умной энергетики» играют ключевую роль в решении этой задачи, так как они значительно повышают энергоэффективность, снижают затраты на производство и распределение энергии, а также увеличивают долю возобновляемых источников в энергосистемах.

Одним из ключевых инструментов умной энергетики являются умные сети, которые позволяют значительно повысить эффективность управления энергоресурсами. В статье D. Mourtzis [17] подчёркивается, что умные сети помогают минимизировать потери энергии при её передаче, а также способствуют интеграции возобновляемых источников, таких как солнечная и ветровая энергия. Это помогает сделать энергосистемы более гибкими и надёжными, снижая их эксплуатационные расходы и улучшая доступ к энергии для всех слоёв населения.

Умные сети также облегчают переход на возобновляемые источники энергии. По данным отчёта Smart Grid [18], эти технологии помогают оптимизировать распределение энергии и значительно повысить долю возобновляемой энергии в общем энергобалансе. Это особенно важно для развивающихся стран, где доступ к надёжной и чистой энергии остаётся ограниченным.

Искусственный интеллект (ИИ) и цифровизация играют важную роль в модернизации энергетических систем. ИИ помогает улучшить управление энергопотоками и интеграцию возобновляемых источников энергии. В отчёте про связь искусственного интеллекта (ИИ) и ЦУР [19] подчёркивается, что ИИ позволяет энергетическим компаниям точнее прогнозировать потребление энергии, что снижает расходы на её производство и повышает общую энергоэффективность, а также стабилизирует поставки энергии, снижая ее стоимость для конечных потребителей.

Цифровизация, как отмечено в статье V.K Ponnusamy [20], помогает интегрировать большие данные в управление энергетическими системами, что улучшает процессы принятия решений, что делает энергосистемы более устойчивыми.

Возобновляемые источники энергии являются центральным элементом для достижения ЦУР 7. В статье Andrew Ng Kay Lup и коллег [21] подчёркивается, что использование солнечной, ветровой и гидроэнергетики позволяет значительно сократить затраты на энергию и обеспечить более широкий доступ к ней, особенно в развивающихся странах.

ЦУР 13 направлена на принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и смягчению его последствий. Важнейшую роль в этом процессе играют умные энергетические технологии, такие как системы хранения энергии, возобновляемая энергетика и искусственный интеллект, которые способствуют значительному сокращению выбросов углерода и уменьшению негативного влияния на климат.

Использование возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая, значительно сни-

жает выбросы углекислого газа, что является одной из ключевых задач ЦУР 13. В статье Energydigital [4] подчёркивается, что переход на возобновляемую энергетику помогает сократить зависимость от ископаемого топлива и минимизировать выбросы парниковых газов. Это, в свою очередь, играет важную роль в замедлении темпов глобального потепления и предотвращении наиболее разрушительных последствий изменения климата.

В исследовании S. Gupta и коллег [22] проведен анализ, как умные сети и системы хранения энергии помогают эффективно управлять энергопотреблением, снижая нагрузку на традиционные энергосистемы. Эти технологии способствуют уменьшению углеродного следа за счёт оптимизации использования энергии, что критично для глобальных усилий по снижению выбросов углерода.

Искусственный интеллект и цифровизация также оказывают значительное влияние на достижение климатических целей. В статье [23] подчёркивается, что ИИ помогает точно прогнозировать спрос на энергию и улучшать управление энергетическими ресурсами, что, в итоге, способствует сокращению выбросов парниковых газов. Благодаря ИИ и цифровым технологиям энергосистемы становятся более адаптивными и гибкими, что особенно важно в условиях изменяющегося климата.

Системы хранения энергии играют не менее важную роль в смягчении последствий изменения климата. Эти системы позволяют сохранять избыток энергии, выработанный возобновляемыми источниками, и использовать его в периоды пикового спроса. Это повышает устойчивость энергосистем и снижает необходимость использования ископаемого топлива в критические моменты. В отчёте Valuer [24] подчёркивается, что такие системы помогают стабилизировать энергосистемы и значительно уменьшить выбросы углерода, играя ключевую роль в реализации климатической стратегии.

В статье, опубликованной в Harvard Business Review подчёркивается важная роль систем хранения энергии в достижении климатических целей. Они позволяют аккумулировать избыточную энергию, выработанную возобновляемыми источниками, и использовать её в периоды пикового спроса, что помогает стабилизировать энергосистемы. Это снижает зависимость от ископаемого топлива и уменьшает углеродные выбросы, делая энергосистемы более устойчивыми и эффективными в условиях переменной генерации [25].

На основе проведенного анализа были составлены схемы, отражающие компоненты «Умного города» по трем сферам Устойчивого развития (рисунок 1).

Далее была составлена схема, отражающая влияние системы «Умная энергетика» и входящих в нее подси-

стем и элементов на цели устойчивого развития (ЦУР), определенных Организацией Объединенных Наций.

- традиционные источники энергии (тепловые и атомные электростанции) могут оказывать влияние на: ЦУР 7, ЦУР 8, ЦУР 9, ЦУР 10, ЦУР 11, ЦУР 12, ЦУР 13.
- альтернативные источники энергии (ветроэнергетика, гидроэнергетика, солнечная энергетика и биомасса) могут оказывать влияние на: ЦУР 7, ЦУР 8, ЦУР 9, ЦУР 10, ЦУР 11, ЦУР 12, ЦУР 13.
- объекты и оборудование «умных» сетей (автоматизация распределительных сетей, интеллектуальные счетчики, мониторинг в реальном времени) оказывает влияние на: ЦУР 7, ЦУР 9, ЦУР 10, ЦУР 11, ЦУР 12, ЦУР 13.
- энергоэффективные здания (умное освещение, системы управления зданиями, энергоэффективные системы отопления и охлаждения) оказывают влияние на: ЦУР 7, ЦУР 9, ЦУР 10, ЦУР 11, ЦУР 12, ЦУР 13.
- системы хранения энергии (тепловые и электрические накопители) оказывают влияние на: ЦУР 7, ЦУР 9, ЦУР 10, ЦУР 11, ЦУР 12, ЦУР 13.
- цифровизация и анализ данных (цифровые двойники генерирующих объектов, системы управления энергией, моделирование и прогнозирование потребления энергии, искусственный интеллект в прогнозировании) оказывают влияние на: ЦУР 7, ЦУР 8, ЦУР 9, ЦУР 10, ЦУР 11, ЦУР 12, ЦУР 13.

Умная энергетика в значительной степени влияет на достижение ряда целей устойчивого развития, однако её наибольшее воздействие отмечается в контексте ЦУР 7 и 13. Эти цели тесно связаны с переходом на возобновляемые источники энергии, увеличением энергоэффективности, сокращением выбросов и внедрением различных инновационных технологий в сфере энергетики. В то же время вклад умной энергетики в такие цели, как ЦУР 8, ЦУР 9, ЦУР 10, ЦУР 11 и ЦУР 12 является менее значительным.

На рисунке 2 представлен список отобранных ЦУР, подцелей и индикаторов, на которые согласно обзору исследований, Умная энергетика оказывает наибольшее влияние.

Заключение

Таким образом, «Умная энергетика» является неотъемлемой частью концепции «умного города» и играет ключевую роль в достижении целей устойчивого развития (ЦУР). Внедрение умных энергетических технологий, таких как возобновляемые источники энергии, умные

сети, системы хранения, энергоэффективные здания и искусственный интеллект, порождает основу для построения энергоэффективной и экологически чистой городской инфраструктуры. Эти технологии не только обеспечивают более рациональное использование ресурсов, но и создают условия для устойчивого экономического роста, улучшения качества жизни и минимизации экологического воздействия.

В последующих исследованиях планируется создание модели на основе эмпирических данных для анализа связи между внедрением передовых энергетических технологий и снижением углеродных выбросов, а также выявления ключевых факторов, влияющих на уровень выбросов CO₂.

Умные города, поддерживаемые такими инновациями, как системы управления энергией, способствуют достижению ЦУР 7 («Недорогая и чистая энергия»), обеспечивая доступ к возобновляемым источникам энергии и повышая энергоэффективность городских инфраструктур. Технологии умной энергетике помогают городам интегрировать различные источники энергии и оптимизировать их использование, что особенно важно для снижения зависимости от ископаемого топлива и сокращения углеродного следа, поддерживая тем самым ЦУР 13 («Борьба с изменением климата»).

Кроме того, умные энергетические решения способствуют созданию устойчивых городов (ЦУР 11), помогая снизить выбросы и улучшить управление энергией. Внедрение энергоэффективных технологий, таких как умное освещение и системы управления зданиями, улучшает городской ландшафт и делает города более устойчивыми к экологическим и климатическим вызовам.

Умная энергетика также оказывает значительное влияние на ЦУР 8 («Достойная работа и экономический рост»), создавая новые рабочие места в высокотехнологичных секторах и стимулируя экономическое развитие, и ЦУР 9 («Индустриализация, инновации и инфраструктура»), способствуя развитию гибких и устойчивых энергетических систем, поддерживающих инновации в городском пространстве.

Таким образом, умная энергетика становится центральным элементом концепции «умного города», обеспечивая достижение целого ряда целей устойчивого развития. Её внедрение помогает городам быть более адаптивными, экологически устойчивыми и технологически продвинутыми, создавая более высокое качество жизни для их жителей и снижая негативное влияние на окружающую среду.

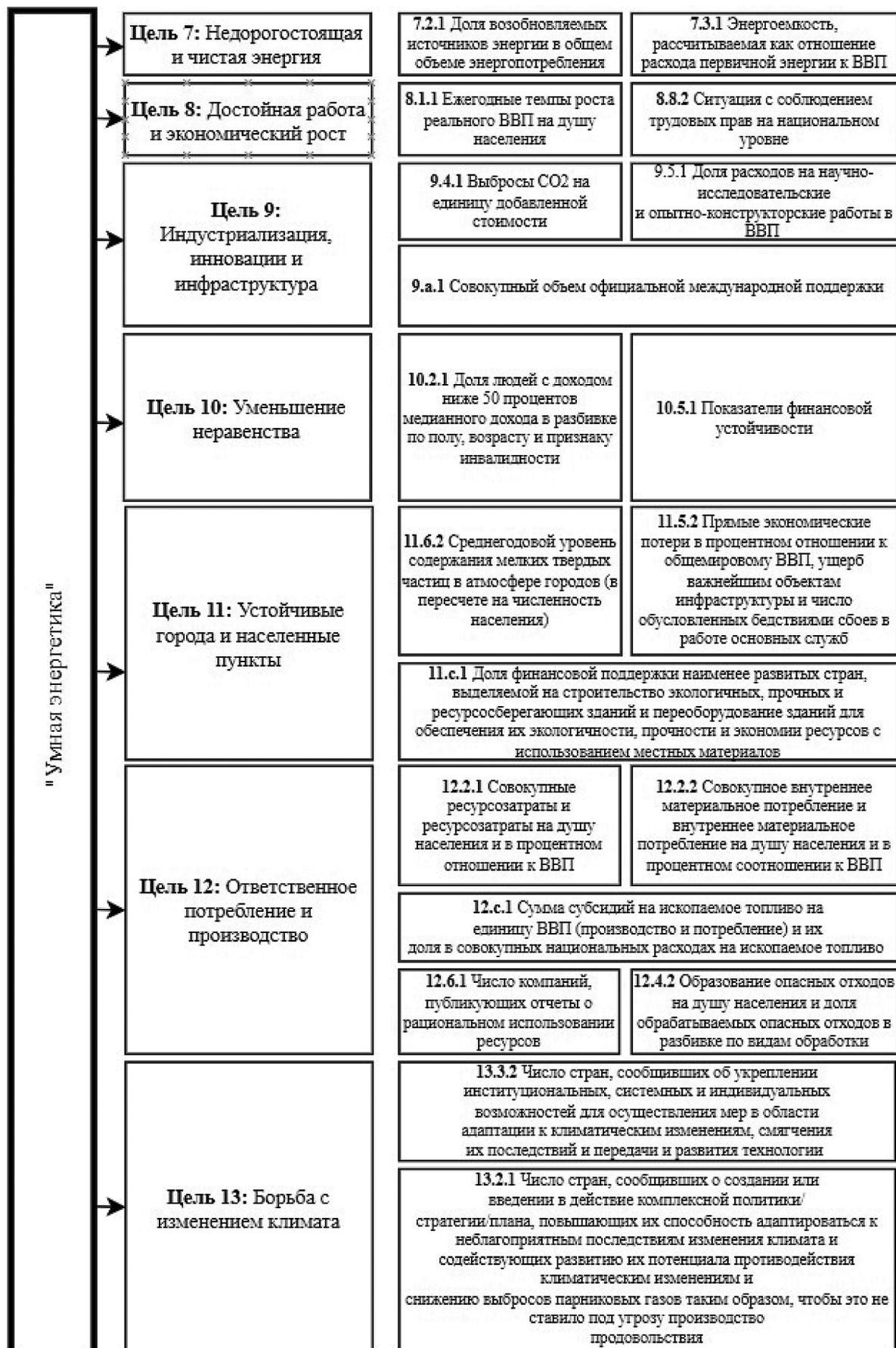


Рис. 2. Цели и подцели устойчивого развития

ЛИТЕРАТУРА

1. Фонд «Институт экономики города». Концепции умного города: российская практика в международном контексте [Электронный ресурс]. Москва: Фонд «Институт экономики города», 2022. 11 с. URL: <https://www.urbanecomomics.ru> (дата обращения: 23.09.2024).
2. U4SSC [Электронный ресурс]. URL: <https://www.itu.int/en/ITU-T/ssc/united/Pages/default.aspx> (дата обращения: 23.09.2024).
3. ISO 37120:2018. Устойчивое развитие сообществ — Показатели для городских услуг и качества жизни [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iso.org/standard/68498.html> (дата обращения: 23.09.2024).
4. Smart City Technology Paves the Way for Sustainable Energy [Электронный ресурс]. URL: <https://energydigital.com/articles/smart-city-technology-paves-the-way-for-sustainable-energy> (дата обращения: 23.09.2024).
5. Smart Cities And Infrastructure — Very | IoT Development Company [Электронный ресурс]. URL: <https://www.verytechnology.com/article/smart-cities-and-infrastructure> (дата обращения: 23.09.2024).
6. Developing Smart Cities: A Guide for City Leaders [Электронный ресурс]. URL: <https://www.performanceservices.com/resources/Developing-Smart-Cities-A-Guide-for-City-Leaders/> (дата обращения: 23.09.2024).
7. Smart Energy Solutions for Sustainable Urban Growth [Электронный ресурс]. URL: <https://www.frontiersin.org/research-topics/63384/smart-energy-solutions-for-sustainable-urban-growth> (дата обращения: 23.09.2024).
8. United Nations (2021): Policy briefs in support of the high-level political forum leveraging energy action for advancing the sustainable development goals [Электронный ресурс]. URL: https://sdgs.un.org/sites/default/files/2021-06/2021-POLICY%20BRIEFS_3.pdf (дата обращения: 23.09.2024).
9. Powering the Sustainable Development Goals — SEforALL [Электронный ресурс]. URL: <https://www.seforall.org/data-stories/powering-the-sustainable-development-goals> (дата обращения: 23.09.2024).
10. Digital technologies to achieve the UN SDGs [Электронный ресурс]. URL: <https://www.itu.int/en/mediacentre/backgrounders/Pages/icts-to-achieve-the-united-nations-sustainable-development-goals.aspx> (дата обращения: 23.09.2024).
11. SDG 7: Affordable and Clean Energy [Электронный ресурс]. URL: <https://www.psu.edu.sa/sdg-7> (дата обращения: 23.09.2024).
12. Sustainability at UMD [Электронный ресурс]. URL: <https://sustainingprogress.umd.edu/partnering-goals> (дата обращения: 23.09.2024).
13. Tesla Powerwall [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tesla.com/support/energy/powerwall/learn/how-powerwall-works> (дата обращения: 23.09.2024).
14. Smart Grid | Sustainable Development Goals [Электронный ресурс]. URL: <https://sdgresources.relx.com/smart-grid> (дата обращения: 23.09.2024).
15. Raman R. et al. Green and sustainable AI research: an integrated thematic and topic modeling analysis // *Journal of Big Data*. — 2024. — Т. 11. — №. 1. — С. 1–28.
16. Goal 12: Responsible Consumption & Production [<https://sustainingprogress.umd.edu/partnering-goals/sdg-12>].
17. Mourtzis D., Angelopoulos J., Panopoulos N. Smart grids as product-service systems in the framework of energy 5.0—a state-of-the-art review // *Green Manufacturing Open*. — 2022. — Т. 1. — №. 1. — С. 5.
18. Smart Grid | Sustainable Development Goals — Resource Centre [Электронный ресурс]. URL: <https://sdgresources.relx.com/smart-grid> (дата обращения: 23.09.2024).
19. Is Artificial Intelligence the Answer to SDG-7? [Электронный ресурс]. URL: https://www.unescap.org/sites/default/d8files/event-documents/Is%20Artificial%20Intelligence%20the%20Answer%20to%20SDG-7_Beth%20Massey_Data%20Dynamics.pdf (дата обращения: 23.09.2024).
20. Ponnusamy V.K. et al. A comprehensive review on sustainable aspects of big data analytics for the smart grid // *Sustainability*. — 2021. — Т. 13. — №. 23. — С. 1–35.
21. Lup A.N.K. et al. Sustainable energy technologies for the Global South: challenges and solutions toward achieving SDG 7 // *Environmental Science: Advances*. — 2023. — Т. 2. — №. 4. — С. 570–585. [Электронный ресурс]. URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2023/va/d2va00247g> (дата обращения: 23.09.2024).
22. Gupta S. et al. Operationalizing Digitainability: Encouraging mindfulness to harness the power of digitalization for sustainable development // *Sustainability*. — 2023. — Т. 15. — №. 8. — С. 1–37.
23. Awogbemi O., Von Kallon D.V., Kumar K.S. Contributions of Artificial Intelligence and Digitization in Achieving Clean and Affordable Energy // *Intelligent Systems with Applications*. — 2024. — С. 1–20.
24. AFFORDABLE AND CLEAN ENERGY — Valuer.ai [Электронный ресурс]. URL: <https://www.valuer.ai/hubfs/reports/valuer-sustainability-report-affordable-clean-energy.pdf> (дата обращения: 23.09.2024).
25. Reaching Ambitious Carbon Goals with Cost-Efficient Energy Storage [Электронный ресурс]. URL: <https://hbr.org/sponsored/2024/04/reaching-ambitious-carbon-goals-with-cost-efficient-energy-storage> (дата обращения: 23.09.2024).

© Середин Евгений Петрович (seredin.ep@edu.spbstu.ru); Гутман Светлана Семеновна (SGutman@spbstu.ru);

Середин Владислав Петрович (seredin.vp@edu.spbstu.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»