

Научная статья

УДК 628.977.2

DOI: 10/24412/2658-4255-2022-4-17-33

Для цитирования:

Осипова Е.Э., Потошина Л.Е.,
Щукина А.А.
Проект интеллектуальной
системы освещения здания
университета арктической
зоны в условиях цифровой
экономики // Российская
Арктика. 2022.
№ 19. С. 17–33

Получена: 06.04.2022

Принята: 28.11.2022

Опубликована: 09.12.2022



ПРОЕКТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ ЗДАНИЯ УНИВЕРСИТЕТА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

Е.Э. Осипова¹, Л.Э. Потошина², А.А. Щукина³

¹ Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, г. Архангельск, Россия. К.э.н., доцент.

e.e.osipova@narfu.ru

² Санкт-Петербургский государственный экономический университет, г. Санкт-Петербург, Россия

lep29@yandex.ru

³ Акционерное общество «Архангельская областная энергетическая компания», г. Архангельск, Россия

holopova.ari@gmail.com

Аннотация:

Сегодня в России главные тренды развития энергетики - цифровизация, декарбонизация, энергосбережение. Освещение является одним из приоритетных направлений энергосбережения и повышения энергетической эффективности, поэтому разработка интеллектуальной системы освещения на объекте университета определена как пилотный проект цифровизации в рамках университетской программы «Умный кампус». Основной идеей проекта по внедрению «умной» системы освещения является снижение энергопотребления за счет замены люминесцентного освещения светодиодным и внедрение интеллектуального управления освещением. В рамках выполненной работы был произведен аудит существующей системы освещения, светотехнический расчет, разработан новый исполнительный план освещения выбранных объектов, представлена модель интеллектуальной системы освещения, определены ее составляющие, произведен расчет оборудования по проекту интеллектуального освещения. Авторами проведен анализ региональных возможностей использования источников возобновляемой энергии Арктической зоны с целью их применения для реализации проекта интеллектуальной системы освещения. В качестве приоритетного источника определена ветроэнергетика. Дополнительным эффектом от реализации проекта станут: получение первых результатов энергосбережения; получение новых научных данных о применении ветроэнергетики в Архангельской области, разработка основ единой платформы для сбора и обработки информационных данных университета; последующее внедрение на других объектах университета.

Ключевые слова: интеллектуальная система освещения, светотехнический расчет, исполнительный план освещения, энергосбережение, цифровая экономика, возобновляемая энергетика, Арктическая зона

PROJECT OF THE BUILDING INTELLIGENT LIGHTING SYSTEM OF THE ARCTIC ZONE UNIVERSITY IN THE DIGITAL ECONOMY

E.E. Osipova¹, L.E. Potoshina², A.A. Shchukina³

¹ Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russian Federation.

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor.

e.e.osipova@narfu.ru

² Saint Petersburg State University of Economics, Saint Petersburg, Russian Federation

lep29@yandex.ru

³ Joint Stock Company "Arkhangelsk Regional Energy Company", Arkhangelsk, Russian Federation

holopova.ari@gmail.com

Abstract:

Today in Russia, the main trends in the development of the energy sector are digitalization, decarbonization, and energy saving. Lighting is one of the priority areas for energy saving and energy efficiency, so the development of an intelligent lighting system at a university facility has been identified as a pilot digitalization project under the university's Smart Campus program. The main idea of the project for the introduction of a "smart" lighting system is to reduce energy consumption by replacing fluorescent lighting with LEDs and the introduction of intelligent lighting control. As part of the work performed, an audit of the existing lighting system was carried out, a lighting calculation was made, a new executive lighting plan for selected objects was developed, a model of an intelligent lighting system was presented, its components were determined, and equipment was calculated for the smart lighting project. The authors analyzed the regional opportunities for using renewable energy sources in the Arctic zone in order to use them for the implementation of the project of an intelligent lighting system. Wind energy has been identified as a priority source. An additional effect of the project implementation will be: obtaining the first results of energy saving; obtaining new scientific data on the use of wind energy in the Arkhangelsk region, developing the foundations of a single platform for collecting and processing university information data; subsequent implementation at other university facilities.

Key words: intelligent lighting system, digitalization, lighting calculation, executive lighting plan, lighting regulation, energy saving, digital economy, renewable energy, Arctic zone

Актуальность интеллектуальных систем в цифровой экономике

Программа «Цифровая экономика Российской Федерации»¹, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации № 1632-р от 28.07.2017 года, определяла создание «Умных городов» одним из ключевых направлений развития цифровой экономики. «Цифровая трансформация 2030»² предусматривает внедрение на энергообъектах электросетевого комплекса передового оборудования, создание единой полностью автоматизированной системы управления инфраструктурой и изменение всех бизнес-процессов. Результатом цифровой трансформации традиционного энергетического комплекса становится цифровая энергетика, которая основывается на применении технологии сбора и обработки данных с целью повышения эффективности функционирования участников отраслевого энергетического комплекса, снижения барьеров и создания новых сервисов для потребителей, формирования новых бизнес-моделей. После установки 100% интеллектуальных приборов учета произойдет революция взаимоотношений с потребителем за счет развития двусторонней связи, которая позволит контролировать качество предоставляемых услуг, анализировать нагрузку и предоставлять потребителям рекомендации по повышению его энергоэффективности.

При интеграции цифровой энергетики в системы энергетического менеджмента достигаются следующие цели:

- повышение уровня обмена данными и принятия управленческих решений в цифровой форме;
- многократное увеличение количества объектов генерации и сетевого комплекса, осуществляющих обмен данными в реальном режиме времени;
- повышение уровня технического состояния, автоматизации и наблюдаемости сети;
- развитие городской инфраструктуры для электротранспорта и накопления энергии;
- развитие «умных» контрактов;
- внедрение роботизированной техники;
- разработка обеспечения информационной безопасности объектов энергетики;
- осуществление дистанционного мониторинга и управления энергообъектами, диагностики и предиктивного обслуживания оборудования;
- создание регулятивных и технологических условий для внедрения инновационных технологий, управление нагрузкой и спросом потребителей электроэнергии, ин-

1 Программа "Цифровая экономика Российской Федерации": распоряжение Правительства Российской Федерации № 1632-р от 28.07.2017 URL: <http://static.government.ru/media/acts/files/0001201708030016.pdf> (дата обращения: 01.02.2022).

2 ПАО «Россети». Концепция «Цифровая трансформация 2030». М., 2018. 31 с. URL: https://rosseti.ru/investment/Kontseptsiya_Tsifrovaya_transformatsiya_2030.pdf (дата обращения: 29.03.2022).

теграции накопителей и интеллектуальных систем, электротранспорта, возобновляемых источников энергии и иных разработок в электроэнергетике.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова (САФУ) решением ученого совета университета «О стратегии развития университета: Программа цифровизации САФУ»³ от 28 июня 2018 года запустил четыре проекта, одним из которых является «Умный кампус». Его основа – это создание и поддержка информационной модели «интеллектуального» кампуса.

САФУ поставил перед собой четыре этапа цифровизации университета:

- 1) создание современной системы сбора данных с установкой приборов учета энергоресурсов;
- 2) оснащение оборудованием системы диспетчеризации;
- 3) внедрение программного обеспечения информационной системы энергетического менеджмента;
- 4) создание единой отраслевой технологической платформы.

Университетский кампус – сложная, динамичная система, которая обслуживает разнообразные потребности тысяч людей. Студенты могут долгое время не покидать территорию кампуса и при этом ни в чем не нуждаться. Проблемы, с которыми сталкиваются университеты, сложны: сокращение бюджетов, рост затрат на энергию, износ инфраструктуры, увеличение числа учащихся и обязательства следовать принципам устойчивого развития. Эти вызовы побуждают вузы искать умные решения для будущего развития кампусов в рамках инициатив умного города.

Ежегодно в России на освещение расходуется около 109 млрд кВт·ч, или приблизительно 12% от общего энергопотребления. При этом потенциал энергосбережения в освещении составляет около 60 млрд кВт·ч/год^{4,5}. Исходя из этих данных, а также учитывая тот факт, что освещение является одним из приоритетных направлений энергосбережения и повышения энергетической эффективности⁶, было принято решение, что именно внедрение интеллектуальной системы освещения (ИСО) на объекте САФУ будет пилотным проектом цифровизации университета в рамках программы «Умный кампус».

Необходимость внедрения интеллектуальных светосистем с целью энергосбережения обусловлена масштабностью энергопотребляющей инфраструктуры: в состав САФУ входят более 100 зданий (в т.ч. 2 колледжа, лицей, мастерские, спортивный комплекс «Буревестник», учебно-спортивная база «Илес», бассейн, центр коллективного пользования научным оборудованием «Арктика», профилакторий, 14 общежитий, гимназия, детский сад и т.д.). Филиалы университета находятся в городах Северодвинск, Коржма и Нарьян-Мар (Ненецкий Автономный Округ).

Для наглядности эффекта реализации интеллектуальной системы освещения был выбран стратегически важный объект университета – Учебно-научный центр энергетических инноваций (УНЦ ЭИ). Он был создан в 2013 году с целью интеграции научных исследований и образовательного процесса, а также реализации концепции развития энергетического направления Высшей школы энергетики, нефти и газа, как единого научно – образовательного комплекса [1]. На 70 % площади УНЦ ЭИ установлено светодиодное освещение, однако 30% площади используются экономически и энергетически неэффективные люминесцентные лампы.

Основной идеей проекта по внедрению «умной» системы освещения на примере УНЦ ЭИ является снижение энергопотребления за счет полной замены люминесцентного освещения светодиодным и интеллектуальное управление освещением. Предусматривается возможность дальнейшего исследования ее возможностей научно-педагогическими работниками и студентами университета с последующей модернизацией. В связи с необходимостью сохранения экологического баланса и снижения углеродного следа в Арктической зоне РФ, в работе рассмотрены варианты использования региональных источников возобновляемой энергии (ВИЭ) как источника электроэнергии для обеспечения функционирования проектируемой ИСО.

Методология

Местом реализации пилотного проекта «Интеллектуальная система освещения здания университета» в рамках проекта «Умный кампус» было определено здание Учеб-

³ Программа цифровизации САФУ: решение Ученого совета Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова от 28.06.2018 г. Архангельск, 2018. 5 с.

⁴ Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения: постановление Правительства Российской Федерации № 1356 от 10.11.2017 URL: <https://static.government.ru/media/files/bGATK2MsZrYf4mCUINQcUa9g95zVjSlu.pdf> (дата обращения: 01.02.2022).

⁵ О состоянии энергосбережения и повышения энергетической эффективности в Российской Федерации в 2017 году: государственный доклад от 12.10.2018 г. М.: Проспект, 2018. 263 с.

⁶ Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон Российской Федерации № 261-ФЗ от 23.11.2009 URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102133970&rdk=> (дата обращения: 11.02.2022).

но-научного центра энергетических инноваций САФУ. Объектом исследования стала существующая система освещения трех аудиторий и прилегающего холла УНЦ ЭИ, в которых на сегодняшний день установлено люминесцентное освещение. В рамках выполненной работы был произведен аудит существующей системы освещения этих помещений, сделан светотехнический расчет, разработан новый исполнительный план освещения выбранных объектов, представлена модель интеллектуальной системы освещения, определены ее составляющие, произведен расчет оборудования по проекту интеллектуального освещения. Для выбора источника электрической энергии для будущей системы ИСО были рассмотрены региональные возможности возобновляемой энергетики Арктической зоны с акцентом на ветроэнергетику.

В работе использовались методы [2]:

1. анализа – для обзора и рассмотрения существующей системы освещения, для рассмотрения и изучения интеллектуальной системы, для анализа возможностей возобновляемой энергетики арктического региона;

2. синтеза – для объединения фундаментальных составляющих энергоменеджмента и цифровой энергетики;

3. моделирования – для создания с помощью программного обеспечения модели помещений (с расчетом количества светильников и мест их установки);

4. индукции – от рассмотрения существующей на сегодня на выбранном объекте системы освещения и от общего изучения интеллектуальных систем мы пришли к конкретному проекту под реализацию на объекте;

5. обобщения – в завершении работы были продемонстрированы результаты проведенных мероприятий.

Интеллектуальная система освещения

На сегодняшний день прогресс в области световой техники отражается в усовершенствовании и удешевлении технологического процесса производства и конструктивных особенностей приборов освещения [3] и в совершенствовании самих способов управления освещением [4].

Светодиодные светильники начали изготавливать совместно с многофункциональными датчиками, которые позволяют управлять осветительными приборами дистанционно. Появилась новая интеллектуальная система освещения – комплекс устройств, позволяющих осветительным приборам работать автономно или с дистанционным управлением.

Главными преимуществами использования светодиодных светильников совместно с интеллектуальной системой управления являются, во-первых, экономия потребления электрической энергии может достигнуть до 85% от объема потребления энергии стандартных светодиодов, во-вторых, может осуществляться мониторинг системы освещения, в-третьих, управление осветительными установками производится автоматически или дистанционно в ручном режиме⁷[5].

Партнером проекта рассмотрена компания ООО «Светосистемы», которая разрабатывает и производит программно-аппаратные решения и online-сервис SunRise для создания интеллектуальных систем управления светодиодным освещением⁸.

Аппаратная часть системы SunRise совместима со светильниками любых производителей и не накладывает ограничений по выбору светотехнического оборудования. Интеллектуальная система освещения представляет собой комплекс устройств, который позволяет осветительным приборам работать автономно или с дистанционным управлением. Архитектура ИСО строится таким образом, что выход из строя любого элемента системы (контроллер управления яркостью светильника, диспетчерский пульт, шкаф управления, датчики и т.д.) не влияет на освещенность в целом.

Для реализации интеллектуального освещения на базе УНЦ ЭИ будут установлены контроллеры, датчики движения, освещенности и присутствия. Оборудование представлено в таблице 1. На рисунке 1 представлена интеллектуальная система освещения.

Система SR School применяется для управления яркостью светодиодных светильников в зависимости от количества людей и интенсивности естественного освещения в помещении.

Программное обеспечение SR School будет установлено на главный компьютер объекта или на панель управления освещением. По территории учебных офисов будут размещены датчики SR School LS, которые будут отслеживать освещенность в помещении, в зависимости от уровня естественного света будут включать и отключать светильники, а также будут отправлять данные на сервер управления SR Office для контроля и мониторинга работы системы.

7 Международный стандарт ИСО 50001:2018. Системы энергетического менеджмента – Требования и руководство по применению. Верньер, Женева: Бюро по авторским правам ИСО, 2018. 30 с.

8 ООО «Светосистемы». Решения SUNRISE. URL: <https://svetosystem.ru> (дата обращения: 16.01.2022).

Оборудование интеллектуальной системы освещения для УНЦ ЭИ

Наименование, тип	Количество
Контроллер SR School 1	7
Контроллер SR School 3	5
Датчик движения с контроллером SR School 1	10
Датчик движения с контроллером SR School 3	21
Датчик освещенности SR School LS	4
Датчик присутствия SR School	5
Локальный шкаф управления SR Office Local Control & Support LAN	1

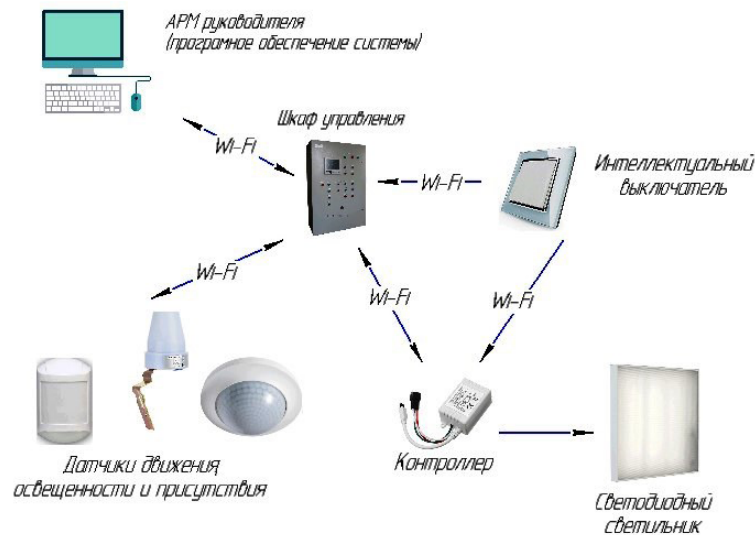


Рисунок 1 – Интеллектуальная система освещения

Также для отслеживания перемещения людей и составления сценариев по периметру помещений будут расположены датчики движения с контроллером SR School MS.

Для удобства использования студентами и преподавателями интеллектуальной системы в каждом помещении на группу светильников будут установлены выключатели, они позволят производить оперативные переключения режимов освещения при внештатных ситуациях. В режиме нормального функционирования системы данные выключатели использоваться не будут. Коммутаторы в помещении будут контролироваться одним интеллектуальным выключателем. Его применение позволит системе работать автономно, без участия человека. Интеллектуальный выключатель будет управлять всеми контроллерами SR Office с помощью Wi-Fi, приемники также будут передавать данные потребления на управляющий шкаф.

Для того чтобы наладить работу «smart-системы», необходимо разработать логический сценарий и загрузить его в управляющий шкаф. Подразумевается, что сценарий – это заранее настроенная цепь сигналов или событий на объекте, где будет установлена система.

Рассмотрим предполагаемые сценарии работы интеллектуальной системы освещения. Работа интеллектуальной системы освещения будет осуществляться по следующим принципам:

1) при срабатывании датчика движения в помещении общего пользования датчик передает цифровой сигнал посредством беспроводной локальной сети Wi-Fi на центральный шкаф управления;

2) шкаф управления, получив сигнал с датчика движения, анализирует информацию с других датчиков: по датчику освещенности – уровень освещенности в помещении, по датчику присутствия – наличие людей. Если уровень освещенности ниже нормируемой, то шкаф управления отправляет сигнал на контроллер, управляющий группой светодиодных светильников в данном помещении, который в свою очередь замыкает контакты силовой цепи и дает напряжение на блок питания светодиодных светильников;

3) в случае необходимости принудительного ручного включения/отключения используется интеллектуальный выключатель, расположенный в помещении;

4) датчик освещенности измеряет уровень освещения в помещении по запросу шкафа управления, а также в автоматическом режиме с определенной периодичностью и отправляет цифровой сигнал посредством беспроводной локальной сети Wi-Fi на центральный шкаф управления;

5) датчик присутствия фиксирует очень мелкие движения, происходящие в пределах своей рабочей зоны, и отправляет цифровой сигнал посредством беспроводной локальной сети Wi-Fi на центральный шкаф управления;

6) шкаф управления анализирует поступающую информацию от интеллектуальных датчиков и передает информацию на программное обеспечение системы, которая производит online-мониторинг энергопотребления, уровня освещенности, технического состояния системы интеллектуального освещения здания;

7) автоматизированное рабочее место руководителя, на котором установлено программное обеспечение с администраторскими правами доступа, дополнительно позволяет производить управление системы интеллектуального освещения в режиме реального времени (включение/отключение как отдельных, так и группы светильников, управление уровнем освещения в помещениях).

Основные характеристики системы:

- 1) управление с использованием технологии Wi-Fi;
- 2) протоколы управления светильниками: широтно-импульсная модуляция 5 В, 0-10 В;
- 3) наличие обратной связи от элементов системы;
- 4) подключаемые датчики движения, освещенности, температуры и другие цифровые датчики;
- 5) плавное регулирование яркости светильников от 0 до 100% (256 ступеней);
- 6) адресное управление отдельными светильниками или группами светильников;
- 7) наличие центрального контроллера для работы системы в автоматическом режиме без участия человека;
- 8) интерфейс удобен для планирования сценариев управления и получения статистики.

Реализация проекта ИСО даст такие результаты, как: комфортные и безопасные условия труда; сбор и хранение статистики о работе системы электроосвещения; увеличение продолжительности работы светодиодных светильников; экономия электроэнергии; возможность ручного управления.

Светотехнический расчет

Для начала расчета внедрения интеллектуальной системы освещения проанализируем существующую светосистему с помощью расчетов в аудиториях 211, 213, 214 и холле 2 этажа здания УНЦ ЭИ, где требуется замена люминесцентного оборудования.

При проектировании и монтаже силовых щитов и щитов освещения руководствовались требованиями Правил устройства электроустановок⁹ и Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей¹⁰. Ввиду наличия существующей системы освещения и действующих распределительных щитов с целью минимизации затрат используем существующие щиты для подключения интеллектуальной системы освещения с использованием светодиодных светильников.

Выбор средней освещенности для внутреннего и наружного освещения производится в соответствии со Сводом правил СП 52.3330.2016 «Естественное и искусственное освещение»¹¹. Для каждой из аудиторий, по данному Своду правил, средняя освещенность рабочей поверхности должна составлять $E_{min} = 500$ лк, что характеризуется очень высокой точностью различения объектов при фиксированной и нефиксированной линии зрения. Выбранные аудитории относятся к разряду зрительной работы – А-2. Для холла средняя освещенность составляет $E_{min} = 150$ лк, разряд зрительной работы – В.

В процессе эксплуатации осветительной установки освещенности на рабочих поверхностях уменьшаются вследствие того, что с течением времени лампы теряют свои первоначальные качества – снижается световой поток. Это вызвано загрязнением ламп, осветительной арматуры и отражающих поверхностей стен, потолков, рабочих поверхностей. Для того чтобы поддержать значение освещенности на рабочих поверхностях на уровне не менее нормируемого в течение всего времени эксплуата-

⁹ Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Энергосервис, 2019. 462 с.

¹⁰ Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей: приказ Министерства энергетики Российской Федерации № 6 от 13.01.2003 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901839683> (дата обращения: 14.02.2022).

¹¹ Свод правил СП 52.3330.2016 «Естественное и искусственное освещение». М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2016. 102 с.

ции, ее расчетное значение принимают больше нормируемого. Это учитывается коэффициентом запаса, который всегда больше единицы. Он характеризует кратность между расчетным и нормируемым значениями освещенности.

При расчете коэффициент запаса приближенно принимают $k = 1,3$ – для светодиодных ламп, $k = 1,5$ – для газоразрядных ламп.

Коэффициент минимальной освещенности Z характеризует неравномерность освещения. Он является функцией многих переменных, точное его определение затруднительно, но в наибольшей степени он зависит от отношения расстояния между светильниками к расчетной высоте подвеса светильников, рекомендуется принимать $Z = 1,1$ – для светодиодных светильников, $Z = 1,15$ – газоразрядные лампы [6].

Произведем расчет необходимого количества светильников для каждого из помещений на примере аудитории 214. При расчете по методу коэффициента использования светового потока [7] необходимое количество светильников N определяется по выражению 1:

$$N = \frac{E_{min} \cdot k \cdot S \cdot Z}{\Phi_c \cdot \eta} \quad (1)$$

где E_{min} – средняя освещенность, для учебной аудитории $E_{min} = 500$ лк;

k – коэффициент запаса, аудитории относятся к помещениям общественных и жилых зданий, светильник относится к 1 эксплуатационной группе, значит $k = 1,4$;

S – площадь аудитории 214, $S = 28,78$ м²;

Z – коэффициент неравномерности освещения, для люминесцентных ламп $Z = 1,15$;

Φ_c – световой поток светильника, $\Phi_c = 1700$ лм;

η – коэффициент использования светового потока, о.е.

Коэффициент использования светового потока определяется для конкретного светильника и источника света. Для определения коэффициента использования светового потока η необходимо рассчитать индекс помещения i и найти предполагаемые коэффициенты отражения поверхностей помещения: потолка ρ_n , стен ρ_c , пола (рабочей поверхности) ρ_p .

Для заданных помещений определяем, что коэффициенты отражения будут равны: $\rho_n = 80\%$, $\rho_c = 50\%$, $\rho_p = 30\%$.

Индекс помещения можно вычислить по выражению 2:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)} \quad (2)$$

где A и B – длина и ширина помещения, м;

H_p – расчетная высота подвеса светильника над поверхностью освещения, м.

Расчетная высота подвеса светильников определяется по выражению 3:

$$H_p = H - h_c - h_p \quad (3)$$

где H – геометрическая высота помещения, $H = 3,2$ м;

h_c – свес светильника, $h_c = 0,08$ м;

h_p – высота рабочей поверхности, $h_p = 0,8$ м;

$$H_p = 3,2 - 0,08 - 0,8 = 2,32 \text{ м,}$$

$$i = \frac{5,31 \cdot 5,42}{2,32 \cdot (5,31 + 5,42)} = 1,156.$$

Из каталога компании «Световые технологии»¹² находим существующий светильник ARS/S 418 /600/ HF и по таблице коэффициентов использования определяем коэффициент использования, и после проведенного интерполирования вычисляем, что коэффициент использования светового потока η равен 60,979%. Тогда:

$$N = \frac{500 \cdot 1,4 \cdot 28,78 \cdot 1,15}{1700 \cdot 0,6098} = 22,35 \text{ шт.}$$

После проведения аналогичных расчетов получаем $N = 33$ (аудитория 211), $N = 32$ (аудитория 213), $N = 14$ (холл), общее количество необходимых светильников ARS/S 418/600/HF- 102 шт. Количество существующих фактически светильников в рассчитываемых аудиториях и холле составляет 72 штуки (рисунок 2 – Исполнительный план освещения 2 этажа) и не удовлетворяет расчетному количеству. Это можно назвать одной из причин низкой (нестандартной) освещенности в аудиториях 211, 213.

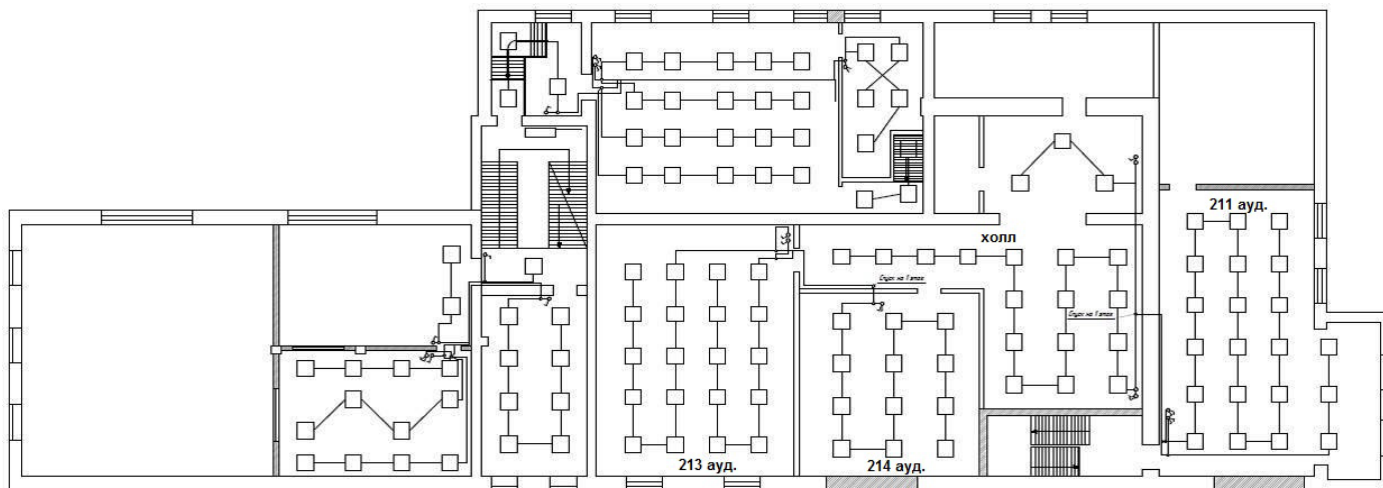


Рисунок 2 - Исполнительный план освещения 2 этажа здания УНЦ ЭИ

Светотехнический расчет для реализации проекта интеллектуальной системы освещения производится аналогично предыдущему с помощью коэффициента использования светового потока. При осуществлении проекта будут использованы светодиодные светильники - они имеют срок службы длиннее остального вида светотехнического оборудования, самое низкое энергопотребление и экологическую безопасность. В таблице 2 представлен список используемого в проекте светового оборудования с основными характеристиками.

Таблица 2

Характеристики светового оборудования

Наименование светильника	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Цветовая температура, К	Коэффициент мощности	Ресурс работы, ч (не менее)
ДВО 07-18-50	18	1763	5000	>0,96	100000
ССВ 28-3100-А50	28	3097	5000	>0,96	100000
ССВ 41-4500-А50	41	4446	5000	>0,96	100000
ДСБ 01-28-50-Д	28	3621	5000	>0,96	100000
ДСБ 01-40-50-Д	40	5796	5000	>0,96	100000

Общее количество необходимых под реализацию проекта ИСО светодиодных светильников – 49 штук: $N = 17$ (аудитория 211), $N = 14$ (аудитория 213), $N = 10$ (аудитория 214), $N = 8$ (холл).

При системе общего освещения светильники можно размещать над освещаемой поверхностью либо равномерно, правильными симметричными рядами, либо локализовано, индивидуально для каждого рабочего места (рисунок 3).

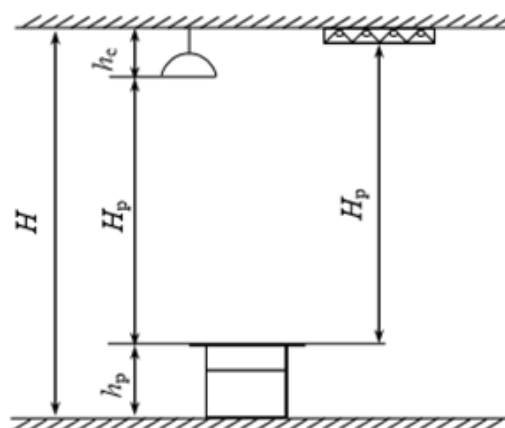


Рисунок 3 – Размещение светильников по высоте помещения

При общем равномерном освещении лучшими вариантами расположения светильников с точечными источниками света являются расположение их по углам прямоугольника или в шахматном порядке (рисунок 4). Этим достигается наиболее равномерное распределение освещенности по всей площади помещения.

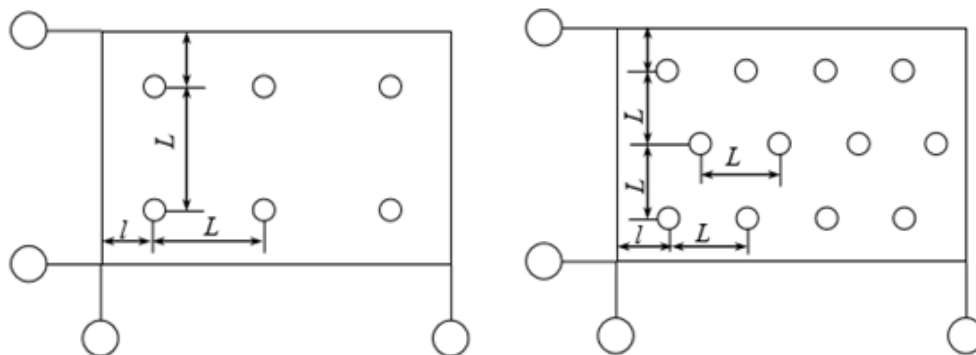


Рисунок 4 – Размещение светильников на плане помещения

Расстояние между светильниками выбирается такое, которое обеспечивает достаточную для практических условий равномерность освещения.

Во всех аудиториях светильники будут располагаться по углам прямоугольника.

Число рядов светильников находим по формуле 4:

$$R = \sqrt{\frac{N \cdot B}{A}} \quad (4)$$

где B - ширина помещения, м;

N - число светильников, шт.;

A - длина помещения, м.

Число светильников в ряду определим по формуле 5:

$$N_R = \sqrt{\frac{N \cdot A}{B}} \quad (5)$$

Расстояние между светильниками определим по формуле 6:

$$L = \sqrt{\frac{B \cdot A}{N}} \quad (6)$$

Рассмотрим в качестве примера расчет по аудитории 211. Количество светильников возьмем на один меньше, потому что помещение нестандартной прямоугольной формы, один светильник будет находиться у окна. Подставляем значения в формулы:

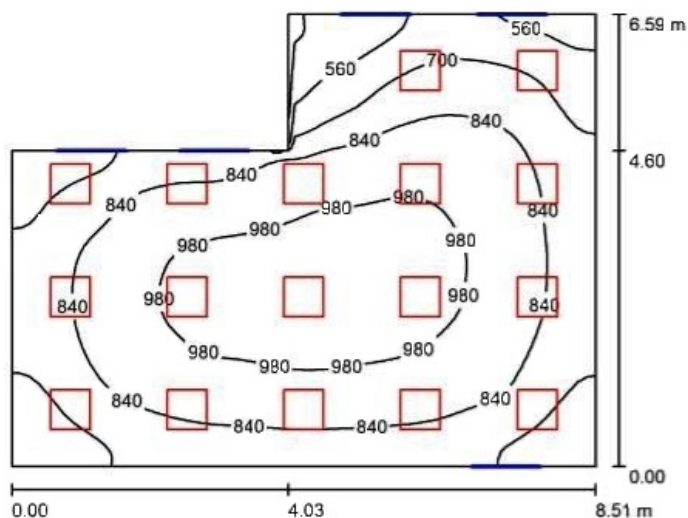
$$R = \sqrt{\frac{16 \cdot 4,6}{8,51}} = 2,94 \approx 3,$$

$$N_R = \sqrt{\frac{16 \cdot 8,51}{4,6}} = 5,44 \approx 5,$$

$$L = \sqrt{\frac{4,6 \cdot 8,51}{16}} = 1,56 \text{ м.}$$

Для остальных аудиторий УНЦ ЭИ расчет аналогичен.

С помощью программы DIALux спроектируем размещение светильников, после чего сравним ручной расчет с программным. Для аудитории 211 освещенность рабочей поверхности можно наблюдать на рисунке 5, план расположения светодиодных светильников на рисунке 6, светотехнический расчет на рисунке 7.



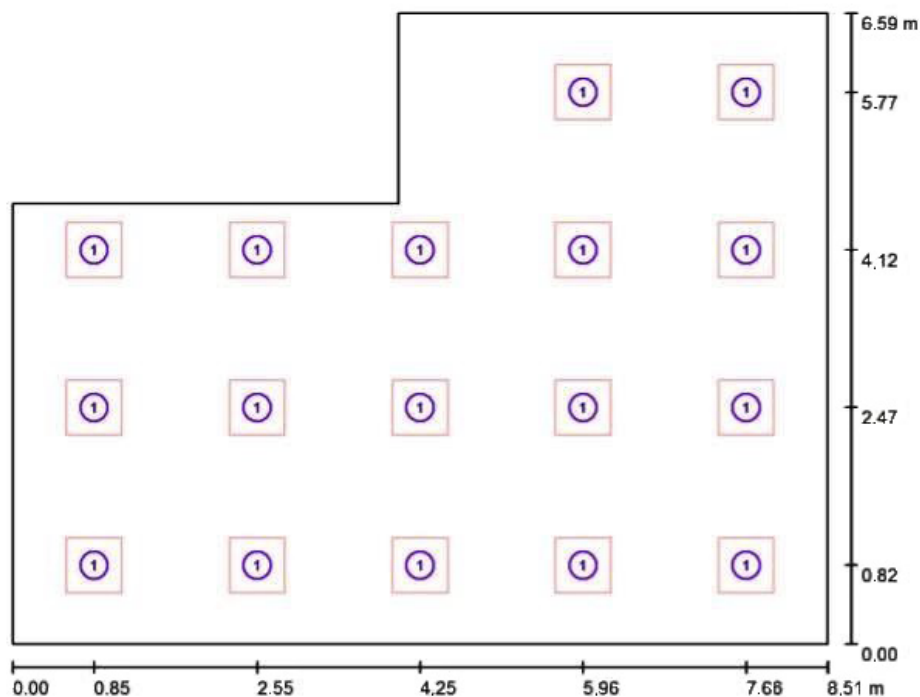
Высота помещения: 3.200 m, Монтажная высота: 3.240 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.71

Значения в Lux, Масштаб 1:85

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	834	391	1043	0.469
Полы	30	724	391	902	0.540
Потолок	80	203	120	447	0.590
Стенки (6)	50	530	210	1788	/

Рабочая плоскость:
Высота: 0.800 m
Растр: 64 x 64 Точки
Краявая зона: 0.000 m

Рисунок 5 – Резюме расчета аудитории 211



Масштаб 1 : 61

Рисунок 6- План расположения светильников аудитории 211

211 аудитория / Светотехнические результаты

Общий световой поток: 68918 lm
 Общая мощность: 714.0 W
 Коэффициент эксплуатации: 0.71
 Краевая зона: 0.000 m

Поверхность	Средние освещенности [lx]			Коэффициент отражения [%]	Средние Яркость [cd/m ²]
	Напрямую	Опосредовано	Всего		
Рабочая плоскость	625	210	834	/	/
Полы	513	211	724	30	69
Потолок	0.04	203	203	80	52
Стенка 1	336	215	551	50	88
Стенка 2	322	207	529	50	84
Стенка 3	267	203	470	50	75
Стенка 4	171	200	371	50	59
Стенка 5	389	229	617	50	98
Стенка 6	319	222	541	50	86

Равномерность на рабочей плоскости
 $E_{\min} / E_{\text{ср}}: 0.469 (1:2)$
 $E_{\min} / E_{\max}: 0.375 (1:3)$

Рисунок 7 – Светотехнический расчет аудитории 211

Аналогичным программным способом было спроектировано размещение светильников в ауд. 213, ауд. 214 и холле. С учетом всех расчетов был создан новый исполнительный план сетей освещения 2 этажа здания УНЦ ЭИ (рисунок 8).

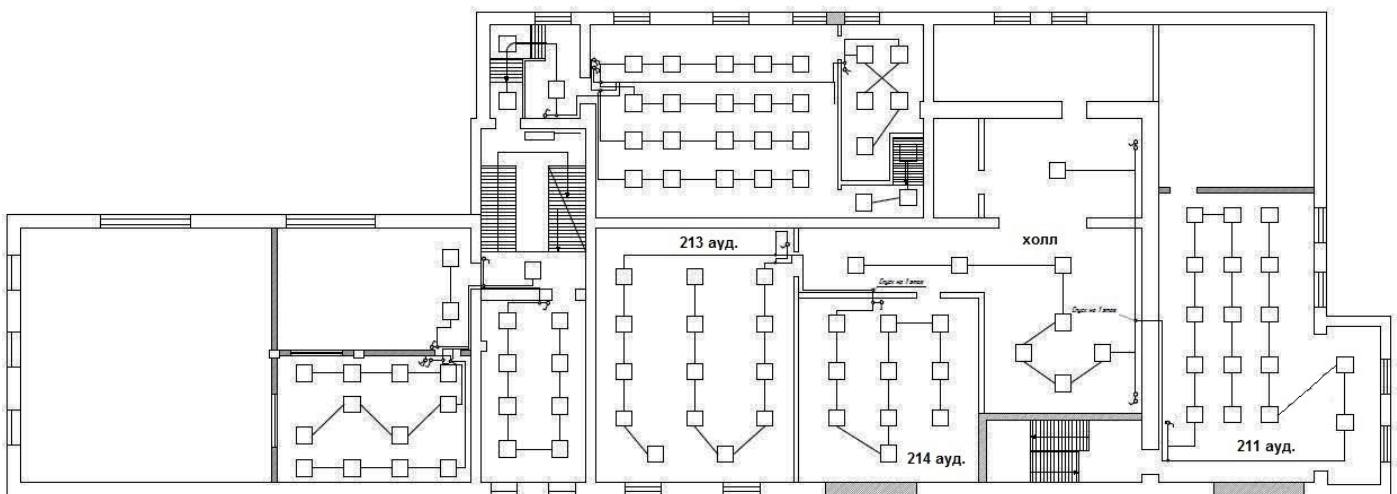


Рисунок 8- Исполнительный план освещения 2 этажа здания УНЦ ЭИ (после модернизации)

Реализация проекта ИСО на источниках возобновляемой энергии Арктической зоны

Финансово-экономический анализ проекта интеллектуальной системы здания университета в части модернизации трех аудиторий и холла показал, что капитальные затраты составят 302,7 тыс.руб., экономия эксплуатационных расходов составит 96,0 тыс. руб., а дисконтированный срок окупаемости проекта составит 2,4 года [8]. Масштабирование интеллектуального управления системой освещения на всё здание УНЦ ЭИ после замены светильников позволит получить дополнительный экономический эффект. Однако авторы считают перспективным и с экономической, и с научно-исследовательской точки зрения рассмотреть перевод интеллектуальной системы освещения здания университета на возобновляемую энергетику.

Трансформации энергетики сегодняшнего дня предполагают, что любой хозяйствующий субъект может быть не только потребителем энергии, но и ее генератором. В свою очередь, эта самогенерация может как идти на собственные нужды, так и «на сторону». Организация может становиться поставщиком энергии даже в случае, если выработка энергии не является ее основным производством, а является побочным продуктом хозяйственной деятельности. В реалиях сегодняшнего дня это особенно

актуально для альтернативной энергетики – фотоэлектрические панели, ветрогенераторы – становятся все доступнее и по стоимости, и по географическому распространению поставок, и по сервисному обслуживанию, и по ассортименту конструкций и мощностей, предлагаемому на рынке оборудования альтернативной энергетики.

Несомненно, самогенерация является важным элементом существования системы энергоменеджмента любой организации, в том числе и образовательной. Энергобаланс организации с появлением систем генерации энергии начинает иметь 2 составляющие: потребление энергии и генерация энергии. В условиях рынка, если мощности генерации энергии превышают необходимый объем для жизнедеятельности организации, создаются условия для продажи энергии (в первую очередь электрической) и выхода на электроэнергетический рынок. Это вопрос не очень далекого будущего – с учетом доступности оборудования рынка альтернативной энергетики и осознания обществом экологических ценностей. Забота о природе и здоровье человечества, сохранении экосистем и природных ресурсов, мысли и будущих поколениях, низкоуглеродный тренд, концепции зеленой энергетики и устойчивого развития [9] – стоят наравне с экономическими соображениями при принятии решений о внедрении энергоэффективных технологий, к числу которых относится и проектируемая ИСО.

Переход организации на самогенерацию, ориентированную на возобновляемые альтернативные энергетические ресурсы, дает ряд преимуществ:

- формирование устойчивой энергетической безопасности организации;
- финансовую экономию от уменьшения стоимости потребленной энергии от сторонних поставщиков – генерирующих компаний;
- возможность получения дополнительных доходов от генерации энергии;
- уменьшение выбросов парниковых газов от углеродной энергетики и как следствие – улучшение экосистемы региона местонахождения;
- формирование имиджа организации как организации с системой энергоменеджмента, ориентированной на экономический, энергетический и экологический эффекты.

Развитие возобновляемой энергетики является одним из ведущих трендов мировой энергетики. В области электрогенерации на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в 2020 г., по данным Международного агентства возобновляемой энергетики REN21¹³ и Института устойчивых технологий AEE INTEC¹⁴, наибольший вес имеет гидроэнергетика: установленная мощность 1170 ГВт, годовая выработка – 4370 ТВт·ч/год. Для ветроэнергетики эти значения составляют соответственно 743 ГВт и 1743 ТВт·ч/год, для солнечной энергетики – 708 ГВт и 901 ТВт·ч/год, для биоэнергетики выработка электрической энергии составила 602 ТВт·ч/год, для геотермальной энергетики при установленной мощности 14 ГВт, годовая выработка 947 ТВт·ч/год [10].

В России развитие возобновляемой энергетики осуществляется на основании закона №35-ФЗ «Об электроэнергетике», поправки в который с 2007 г. до 2021 г. регламентируют сооружение ветроэлектростанций (ВЭС), солнечных электростанций (СЭС), малых гидроэлектростанций (МГЭС) и других видов возобновляемой энергетики. Однако по сравнению с ведущими странами Западной Европы и США, где существуют значительные преференции для ускоренного развития применения основных источников возобновляемой энергии, в Российской Федерации наблюдается значительное отставание в процессах модернизации электроэнергетики на ВИЭ [11].

Основная инфраструктурная база САФУ находится на территории муниципального образования «Город Архангельск» и в городском округе «Северодвинск», которые входят в состав Арктической зоны РФ¹⁵. Территории, входящие в состав сухопутных территорий Арктической зоны Российской Федерации, имеют суровые климатические условия, не всегда развитую дорожную инфраструктуру, сложную и дорогостоящую логистику энергоносителей в труднодоступные населенные пункты и промышленные зоны. Также особенностями Арктической зоны, определяющими специальные подходы к ее социально-экономическому развитию, являются высокая чувствительность экологических систем к внешним воздействиям, климатические изменения, способствующие возникновению как новых экономических возможностей, так и рисков для хозяйственной деятельности и окружающей среды, устойчивая географическая и экономическая связь с Северным морским путем, неравномерность промышленно-хозяйственного освоения отдельных территорий Арктической зоны, высокая

13 Международное агентство возобновляемой энергетики REN21. URL: <https://ren21.net> (дата обращения: 06.02.2022).

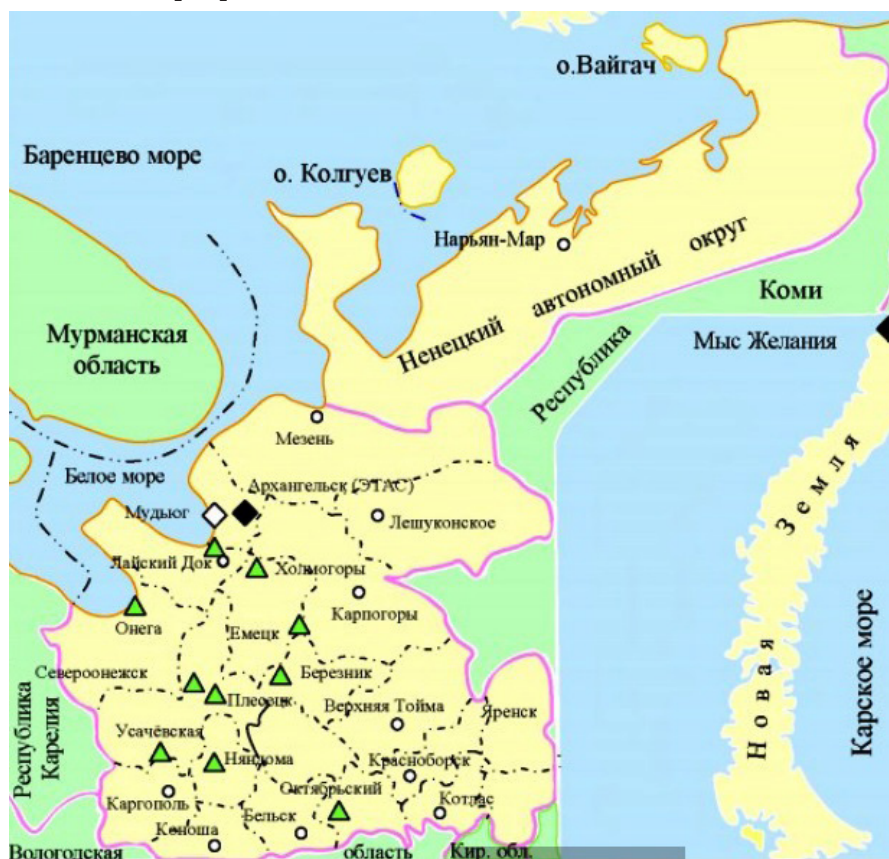
14 Институт устойчивых технологий AEE INTEC. URL: <https://aee-intec.at> (дата обращения: 06.02.2022).

15 Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации": постановление Правительства Российской Федерации № 484 от 30.03.2021 г. URL: <http://static.government.ru/media/files/bIT1JDkAw1JWhBgHy1SAZIKBRINmT3pG.pdf> (дата обращения: 25.03.2022).

ресурсоемкость хозяйственной деятельности и жизнеобеспечения населения, их зависимость от поставок топлива¹⁶. Поэтому для Арктической зоны РФ особенно актуален вопрос автономного самообеспечения электроэнергией, что можно решить использованием местных возобновляемых источников энергии. Но есть особенности и сложности во внедрении ВИЭ: их работу трудно предсказать, т.к. она существенно зависит от погодных условий, что порождает новые проблемы в управлении и эксплуатации электроэнергетических систем, поскольку для обеспечения безопасной эксплуатации и стабильности энергоснабжения требуются более гибкие меры. Необходимо одновременно обеспечить быстроедействие таких систем, создать оборудование и условия для хранения энергии, а также оперативно реагировать на изменение спроса [12].

Учебно-научный центр энергетических инноваций САФУ имеет опыт использования альтернативной энергетики. К зданию УНЦ ЭИ в учебно-научных целях уже подключена ветро-солнечная станция, выработка электроэнергии которой позволяет частично закрыть потребность работы одной из учебных лабораторий. Составляющие этой станции: ветрогенератор 2 кВт, солнечные батареи 1,2 кВт, аккумуляторы, инвертор 6 кВт, солнечный контроллер, ветряной контроллер, и программно-аппаратный комплекс, который позволяет отслеживать процессы в системе (мощности, токи, напряжения). Ученые, аспиранты и студенты САФУ проводят исследования потоков солнечной инсоляции и ветряной активности, занимаются разработкой мобильной солнечной электростанции для работы в арктических условиях. Также к системе отопления УНЦ ЭИ подключен котел отопительной установки *Herz firematic 60*, работающий на биотопливе: эта установка используется в учебном процессе для подготовки специалистов-энергетиков, и для научных исследований при изучении процессов горения различных видов органических топлив и комплексного повышения эффективности работы теплогенерирующих установок.

Архангельская область, имея развитый лесопромышленный комплекс, уже второе десятилетие активно использует возможности биоэнергетики (котельные на кородеревесных отходах, на отходах деревопереработки низкосортной древесины, на древесных брикетах, топливных гранулах). На рисунке 9 представлена схема расположения объектов, работающих на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ) в Архангельской области [13].



Условные обозначения: \diamond - ВЭС, \blacklozenge - гибридная станция, \blacktriangle - биостанция

Рисунок 9 - Схема расположения объектов ВИЭ в Архангельской области

16 О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года: указ Президента Российской Федерации № 645 от 26.10.2020 г., URL: <http://actual.pravo.gov.ru/text.html#pnum=0001202010260033> (дата обращения: 26.03.2022).

Из представленной схемы видно, что биостанции имеют решающее значение в альтернативной энергетике Архангельской области.

По данным схемы и программы перспективного развития электроэнергетики Архангельской области на 2021-2025 годы¹⁷, потенциал ветровой и солнечной энергии не позволяет рассматривать модернизацию генерирующих мощностей региона на основе возобновляемых источников энергии.

Однако для региона, имеющего большое количество территорий с сезонным завозом топлива, является важным исследование и последующее использование источников возобновляемой энергетики, доступных непосредственно на территории энергопотребления. В первую очередь следует рассмотреть возможности использования ветроэнергетических станций, гибридных ветро-солнечных станций.

Значение солнечной инсоляции (количества облучения поверхности пучком солнечных лучей, даже отраженных или рассеянных облаками) имеет решающее значение при расчетах выработки солнечных (фотоэлектрических) панелей, в г. Архангельск, в силу его географического положения, солнечная активность по месяцам (рисунок 10) проявляется неравномерно, основной пик приходится на летние месяцы, а среднегодовой показатель солнечной инсоляции $2,67 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ ¹⁸.

В силу сезонной неравномерности распределения данного вида энергии, не будем рассматривать его перспективным для использования в системе энергообеспечения хозяйствующего в г. Архангельске субъекта.

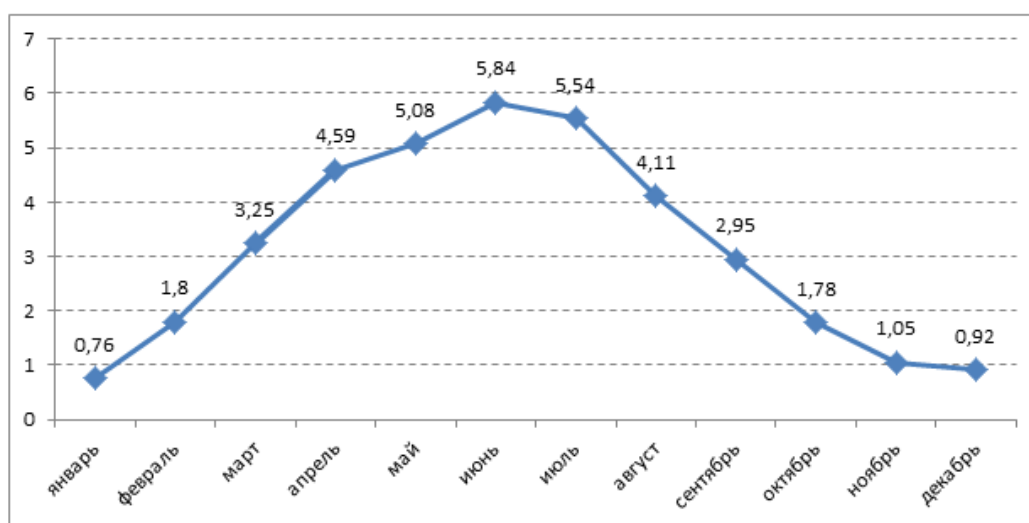


Рисунок 10 – Уровень солнечной инсоляции в г. Архангельск, кВт*ч/м²

Технические ресурсы ветра районов Архангельской области со среднегодовыми скоростями ветра выше 4 м/с (а в г. Архангельске, где находится УНЦ ЭИ, эта скорость составляет 4,4 м/с) оцениваются примерно в 1900 млрд кВт·ч. Это на порядок выше сегодняшнего уровня электропотребления Архангельской области (около 10 млрд кВт·ч) [14]. Поэтому потенциал выявленных технических ветроэнергоресурсов позволяет определить этот вид энергии для реализации проекта ИСО.

К сожалению, энергетическая стратегия РФ на период до 2035 не в полной мере определяет задачи в части повышения устойчивости и надежности электроснабжения Арктического макрорегиона с максимальным, экономически эффективным использованием местных энергетических ресурсов, а также ВИЭ с высокой долей локализации производства в стране [15].

Доработка проекта интеллектуальной системы освещения здания САФУ на основе использования в качестве источника электроснабжения энергии ветра и его последующая реализация даст новые исследовательские данные для применения этого вида энергии в Арктической зоне, позволит использовать эту технологию в университетском образовательном процессе для подготовки специалистов энергетического профиля, даст старт решению основных задач автономного энергообеспечения (энергетическая безопасность, экологичность и экономичность).

Таким образом, в качестве следующего этапа развития проекта ИСО предлагается спроектировать техническую часть реализации проекта интеллектуальной системы освещения, выбрав источником электричества возобновляемую энергетику.

¹⁷ Об утверждении схемы и программы перспективного развития электроэнергетики Архангельской области на 2021-2025 годы: указ Губернатора Архангельской области № 58-у от 28.04.2021 г. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/2900202104290004> (дата обращения: 26.03.2022).

¹⁸ Значение солнечной инсоляции в г. Архангельск (Архангельская область). URL: <https://www.betaenergy.ru/insolation/arkhangelsk/> (дата обращения 31.03.2022).

Заключение

Научные и образовательные приоритеты университета соответствуют задачам развития Арктической зоны, отраженным в Указе Президента Российской Федерации от 05.03.20 г. №164 «Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года» и Стратегии развития Арктической зоны, а научно-исследовательская инфраструктура САФУ имеет ярко выраженный арктический вектор¹⁹. Вопросы цифровой трансформации экономики определяют развитие САФУ в разрезе своих научных исследований и прикладных разработок, а вопросы энергосбережения и энергоэффективности университета как субъекта хозяйственной деятельности, решаются через систему энергетического менеджмента САФУ. Принятие принципиального решения, определяющего САФУ как «электрогенерирующий субъект» и решения о реализации проекта «умный свет», работающего на основном источнике электроэнергии, получаемым от возобновляемой энергетики региона, подтвердит следование мировому низкоуглеродному тренду. Поэтому реализация проекта интеллектуальной системы освещения на примере здания учебно-научного центра энергетических инноваций будет показательной с точки зрения энергетической, экологической и экономической эффективности, даст возможность масштабировать эту технологию на другие здания университета. Привязка проекта к источнику электрогенерации на ВИЭ позволит получить новые научные данные о возможностях их применения в Арктической зоне РФ. Также необходимо отметить важность возможного принятия решения о самогенерации в контексте образовательного процесса: при реализации данного пилотного проекта студенты университета наглядно изучат основы работы ИСО, электрогенерации на ВИЭ, работу информационной системы энергетического менеджмента университета [16-17], возможности энергоэффективности и энергосбережения при реализации цифровых технологий, смогут применить свои навыки в усовершенствовании проекта и последующем внедрении системы «умный свет» на другие объекты университета.

Список литературы:

1. Потошина Л.Е., Любова О.А., Любов В.К. Учебно-научный центр энергетических инноваций САФУ имени М.В.Ломоносова – площадка подготовки специалистов энергетического профиля для освоения арктических территорий России // Актуальные проблемы освоения месторождений нефти и газа приарктических территорий России: материалы Всероссийской научно-практической конференции САФУ имени М.В. Ломоносова. Архангельск, 2018. С. 147-153.
2. Яблонский А.И. Модели и методы исследования науки. М.: Издательство Эдиториал УРСС, 2018. 400 с.
3. G. Montoya F., Peña-García A., Juaidi A., Manzano-Agugliaro F. Indoor lighting techniques: An overview of evolution and new trends for energy saving// Energy and Buildings. 2017. Vol.140. P.50-60. DOI:10.1016/j.enbuild.2017.01.028.
4. Skarzynski Krzysztof. Future trends of energy efficient lighting// Light & Engineering. 2018. Vol.26. P.144-152.
5. Aamidor J. Energy Efficiency as a Service: Having Cake and Eating It Too // Industrial perspective. 2019. № 45. P.56-59.
6. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Кнорринг Г.М., Фадин И.М., Сидоров В.Н. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Энергоатомиздат, Санкт-Петербургское отд-ние, 1992. 448 с.
7. Справочная книга по светотехнике/ Под ред. Ю.Б.Айзенберга. 3-е изд. перераб.и доп. М.: Знак, 2006. 972 с.
8. Осипова Е.Э., Потошина Л.Е. Финансово-экономический аспект реализации проекта «интеллектуальная система освещения здания университета»// Московский экономический журнал. 2022. № 3. URL: <https://qje.su/ekonomicheskaya-teoriya/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-3-2022-64> (дата обращения: 19.06.2022).
9. Клементовичус Я.Я., Максимцев И.А., Сараханова Н.С. Предпосылки формирования низкоуглеродного тренда и его влияние на энергетический сектор// Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2022. № 1(133). С.7-17.
10. Бутузов В.А. Современное состояние развития возобновляемой энергетики России // Окружающая среда и энерговедение. 2022. №1. С.18-31. DOI:10.24412/2658-6703-2022-1-18-31.

¹⁹ Программа развития федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова» на 2021-2035 годы: распоряжение Правительства Российской Федерации № 716-р от 22.03.2021 г. URL: <http://static.government.ru/media/acts/files/1202103250011.pdf> (дата обращения: 08.02.2022).

11. Белан С. И., Бадавов Г. Б., Гусейнов Н. М. Оценка современного состояния и потенциала использования возобновляемых источников энергии в России // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 3-1. С. 284–298. DOI:10.25018/0236-1493-2021-31-0-284.
12. Змиева К.А. Интеграция зеленой и возобновляемой энергетики в интеллектуальную энергетическую систему арктических территорий посредством технологии блокчейна // Российская Арктика. 2021. № 15. С. 81–91.
13. Коновалова О. Е., Никифорова Г.В. Малая возобновляемая энергетика на Северо-Западе Арктики // Труды Кольского научного центра РАН. 2016. № 1(35). С. 117-131.
14. Минин В.А. Потенциал ветровой энергии Архангельской области // Труды Кольского научного центра РАН. 2016. №1-12 (35). С.103-117.
15. Иванов А. В., Складчиков А.А., Хренников А.Ю. Развитие электроэнергетики арктических регионов Российской Федерации с учетом использования возобновляемых источников энергии // Российская Арктика. 2021. № 2(13). С. 62-80. DOI: 10.24412/2658-4255-20212-62-80.
16. Гужов С. В., Мельничук Б.М., Петров И.В. Система энергетического менеджмента: внедрение и управление: монография. М.: Издательство МЭИ, 2018. 236 с.
17. Потошина Л.Е., Любова О.А., Любов В.К. Информационная система энергетического менеджмента САФУ имени М.В. Ломоносова// Наука нового времени: сохраняя прошлое - создаем будущее: сборник научных статей по итогам Международной научно-практической конференции. 2017. С. 229-232.

References:

1. Potoshina L.E., Lyubova O.A., Lyubov V.K. Uchebno-nauchnyj centr energeticheskikh innovacij SAFU imeni M.V.Lomonosova – ploshchadka podgotovki specialistov energeticheskogo profilya dlya osvoeniya arkticheskikh territorij Rossii [The Educational and Scientific Center for Energy Innovations of the M.V. Lomonosov NARFU is a platform for training energy specialists for the development of the Arctic territories of Russia]. Aktual'nye problemy osvoeniya mestorozhdenij nefii i gaza priarkticheskikh territorij Rossii: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoi konferencii SAFU imeni M.V. Lomonosova [Materials of the All-Russian Scientific and practical conference of M.V. Lomonosov NARFU "Actual problems of development of oil and gas fields in the Arctic territories of Russia"]. Arhangel'sk, 2018, pp. 147-153. (In Russian).
2. YAblonskij A.I. Modeli i metody issledovaniya nauki [Models and methods of research of science]. Moskva, Editorial URSS Publ., 2018, 400 p. (In Russian).
3. G. Montoya F., Peña-García A., Juaidi A., Manzano-Agugliaro F. Indoor lighting techniques: An overview of evolution and new trends for energy saving. Energy and Buildings, 2017, vol.140, pp.50-60. DOI:10.1016/j.enbuild.2017.01.028.
4. Skarzynski K. Future trends of energy efficient lighting. Light & Engineering, 2018, vol.26, pp.144-152.
5. Aamidor J. Energy Efficiency as a Service: Having Cake and Eating It Too. Industrial perspective, 2019, no. 45, pp.56-59.
6. Spravochnaya kniga dlya proektirovaniya elektricheskogo osveshcheniya / Knorring G.M., Fadin I.M., Sidorov V.N. 2-e izd., pererab. i dop. [Reference book for the design of electrical lighting]. St. Petersburg, Energoatomizdat Publ., St. Petersburg department, 1992. 448 p. (In Russian).
7. Spravochnaya kniga po svetotekhnike/ Pod red. YU.B.Ajzenberga. 3-e izd. pererab.i dop. [Reference book on lighting engineering]. Moscow, Znak Publ., 2006. 972 p. (In Russian).
8. Osipova E.E., Potoshina L.E. Finansovo-ekonomicheskij aspekt realizacii proekta «intellektual'naya sistema osveshcheniya zdaniya universiteta» [Financial and economic aspect of project implementation "intelligent lighting system of university building"]. Moskovskij ekonomicheskij zhurnal [Moscow Economic Journal], 2022, vol. 3. (In Russian). Available at: <https://qje.su/ekonomicheskaya-teoriya/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-3-2022-64/> (accessed 19.06.2022).
9. Klementovichus YA.YA., Maksimcev I.A., Sarahanova N.S. Predposylki formirovaniya nizkouglerodnogo trenda i ego vliyanie na energeticheskij sektor [Prerequisites for the formation of a low-carbon trend and its impact on the energy sector]. Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta [Proceedings of the St. Petersburg State University of Economics], 2022, № 1(133). pp.7-17. (In Russian).
10. Butuzov V.A. Sovremennoe sostoyanie razvitiya vozobnovlyaemoj energetiki Rossii [The current state of development of renewable energy in Russia]. Okruzhayushchaya sreda i energovedenie [Environment and energy science], 2022, №1. pp.18-31. (In Russian). DOI:10.24412/2658-6703-2022-1-18-31.

11. Belan S. I., Badavov G. B., Gusejnov N. M. Ocenka sovremennogo sostoyaniya i potentsiala ispol'zovaniya vozobnovlyaemyh istochnikov energii v Rossii [Assessment of the current state and potential of the use of renewable energy sources in Russia]. Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' [Mining information and analytical bulletin], 2021, № 3-1. pp. 284–298. (In Russian). DOI:10.25018/0236-1493-2021-31-0-284.
12. Zmieva K.A. Integraciya zelenoj i vozobnovlyaemoj energetiki v intellektual'nyyu energeticheskuyu sistemu arkticheskikh territorij posredstvom tekhnologii blokchejna [Integration of green and renewable energy into the intelligent energy system of the Arctic territories through blockchain technology]. Rossijskaya Arktika [Russian Arctic], 2021, № 15. pp. 81–91. (In Russian).
13. Konovalova O. E., Nikiforova G.V. Malaya vozobnovlyaemaya energetika na Severo-Zapade Arktiki [Small renewable energy in the North-West of the Arctic]. Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN [Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2016, № 1(35). pp. 117-131. (In Russian).
14. Minin V.A. Potencial vetrovoj energii Arhangel'skoj oblasti [The potential of wind energy in the Arkhangelsk region]. Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN [Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2016, №1-12 (35). pp.103-117. (In Russian).
15. Ivanov A. V., Skladchikov A.A., Hrennikov A.YU. Razvitie elektroenergetiki arkticheskikh regionov Rossijskoj Federacii s uchetom ispol'zovaniya vozobnovlyaemyh istochnikov energii [Development of electric power industry in the Arctic regions of the Russian Federation taking into account the use of renewable energy sources]. Rossijskaya Arktika [Russian Arctic], 2021, № 2(13). pp. 62-80. (In Russian). DOI: 10.24412/2658-4255-20212-62-80.
16. Guzhov S. V., Mel'nichuk B.M., Petrov I.V. Sistema energeticheskogo menedzhmenta: vnedrenie i upravlenie: monografiya [Energy management system: implementation and management]. Moskva, MEI Publ., 2018, 236 p. (In Russian).
17. Potoshina L.E., Lyubova O.A., Lyubov V.K. Informacionnaya sistema energeticheskogo menedzhmenta SAFU imeni M.V. Lomonosova [Information system of energy Management of M.V. Lomonosov NARFU]. Nauka novogo vremeni: sohranyaya proshloe - sozdaem budushchee: sbornik nauchnyh statej po itogam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Modern Science: preserving the past - creating the future: a collection of scientific articles based on the results of the International Scientific and Practical Conference]. 2017, pp.229-232. (In Russian).