

Использование ГИС-технологий при проектировании ВДЭС в северных условиях*

Рецензия эксперта на статью получена 15.09.2021 [The expert review of the article received on September 15, 2021].

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобразу России в рамках реализации программы Научного центра мирового уровня по направлению «Передовые цифровые технологии» СПбПУ (соглашение от 17 ноября 2020 года №075-15-2020-934).

Введение

В настоящее время в России повышенное внимание уделяется развитию Арктики, основы которого заложены в Указе Президента РФ от 26 октября 2020 года №645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года». Развитие Арктической зоны имеет важное значение для РФ, здесь сконцентрирована добыча 91 % природного газа и 80 % (от общероссийских разведанных запасов) газа промышленных категорий, а также добывается 100 % алмазов, сурьмы, апатита, флогопита, вермикулита, редких и редкоземельных металлов, 98 % платиноидов, 95 % газа, 90 % никеля и кобальта, 60 % меди и нефти [1].

Климат Арктической зоны России отличается более низкими температурными показателями по сравнению с другими странами мира. Регионы, характеризующиеся по природно-климатическим особенностям и условиям хозяйственного развития как северные, составляют 79,5 % территории Российской Федерации. К районам Крайнего Севера и приравненным к ним местностям относится 65 % территории страны (зона Севера занимает более 10 млн км²), 20 % территории находится за Полярным кругом [2].

Северные регионы отличаются экстремальными природно-климатическими условиями, низкой плотностью населения, удалённостью от основных промышленных центров, высокой ресурсоёмкостью и зависимостью хозяйственной деятельности и жизнеобеспечения населения

В Арктической зоне РФ сконцентрирована добыча 91 % природного газа и 80 % газа промышленных категорий, добывается 100 % алмазов, сурьмы, апатита, флогопита, вермикулита, редких и редкоземельных металлов, 98 % платиноидов, 95 % газа, 90 % никеля и кобальта, 60 % меди и нефти

от поставок топлива (северного завоза), продовольствия и товаров первой необходимости из других регионов страны.

Согласно анализу Минэнерго энергетической инфраструктуры северных децентрализованных зон выявлено:

1. 95 % территории РФ энергозависимо от дизельных электростанций (ДЭС), количество которых составляет более 600 шт.
2. Установленная мощность ДЭС — более 770 МВт, выработка электрической энергии генерирующими объектами составляет около 1160 МВт·ч за год.
3. Более 60 % генерации (500 МВт) сосредоточено в четырёх регионах: Республика Саха (Якутия), Камчатский край, Красноярский край и Ямало-Ненецкий АО.
4. Объём субсидий на компенсацию затрат на энергоснабжение составляет около 20 млрд руб. (77 % приходится на четыре региона с наибольшей долей мощности).
5. Суммарный годовой расход дизтоплива (ДТ) составляет более 350 тыс. тонн.
6. Цена дизтоплива с учётом транспортно-заготовительных расходов составляет от 20 до 130 тыс. руб. за тонну (рис. 1).

УДК 620.9. Научная специальность: 05.14.08.

Использование ГИС-технологий при проектировании ВДЭС в северных условиях

В. В. Елистратов, д.т.н., профессор; **М. А. Конищев**, к.т.н., заведующий отделением; **В. И. Касина**, аспирантка; **И. В. Богун**, аспирантка, ассистент, [Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого](#) (СПбПУ)

Модернизация существующих объектов генерации с помощью внедрения ВИЭ, в том числе создание ветродизельных электростанций (ВДЭС), способствует решению проблем энергетического сектора в северных и арктических зонах РФ. Применение цифровых технологий, в особенности геоинформационных систем (ГИС), является целесообразным решением создания платформы для модернизации существующих объектов генерации, в особенности дизельных электростанций, объединяющей и предоставляющей данные, необходимые для анализа и принятия решений информации, данная система создаёт структуру общего видения с помощью заложенных баз данных. В работе представлена необходимая структура ГИС. Сформированы и структурированы требования к базам данных и определены слои, необходимые для обоснования параметров и режимов работы ВДЭС в северных условиях, и разработаны модели административных, экономических, геологических, энергетических, природно-климатических и других факторов информационно-аналитического обеспечения процесса принятия решений при проектировании объектов возобновляемой энергетики для Арктической зоны РФ. Разработана архитектура интерактивной системы принятия решений в формате ИГИС «Арктика».

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, цифровые технологии, геоинформационные системы, изолированные системы энергоснабжения, дизельные электростанции, ветродизельные электростанции.

UDC 620.9. Scientific specialty number: 05.14.08.

The use of geoinformation technologies in the design of wind-diesel power plants in northern conditions

V. V. Elistratov, Doctor of Technical Sciences; **M. A. Konishchev**, PhD, Head of the Department; **V. I. Kasina**, postgraduate student; **I. V. Bogun**, postgraduate student, an assistant, [Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University](#)

Modernization of existing generation facilities through the introduction of renewable energy, including the creation of wind-diesel power plants (WDPP), contributes to solving the problems of the energy sector in the northern and Arctic zones of the Russian Federation. The use of digital technologies, especially geoinformation systems (GIS), is an appropriate solution to create a platform for the modernization of existing generation facilities, especially diesel power plants, combining and providing data necessary for analysis and decision-making information, this system creates a common vision structure using embedded databases. The paper presents the necessary GIS structure. The requirements for databases have been formed and structured, and the layers necessary to substantiate the parameters and modes of operation of the WDPP in northern conditions have been determined, and models of administrative, economic, geological, energy, natural-climatic and other factors of information and analytical support for the decision-making process in the design of renewable energy facilities for the Arctic zone of the Russian Federation have been developed. The architecture of the interactive decision-making system in the IGIS "Arctic" format has been developed.

Key words: renewable energy, digital technologies, geoinformation systems, isolated power supply systems, diesel power plants, wind-diesel power plants.

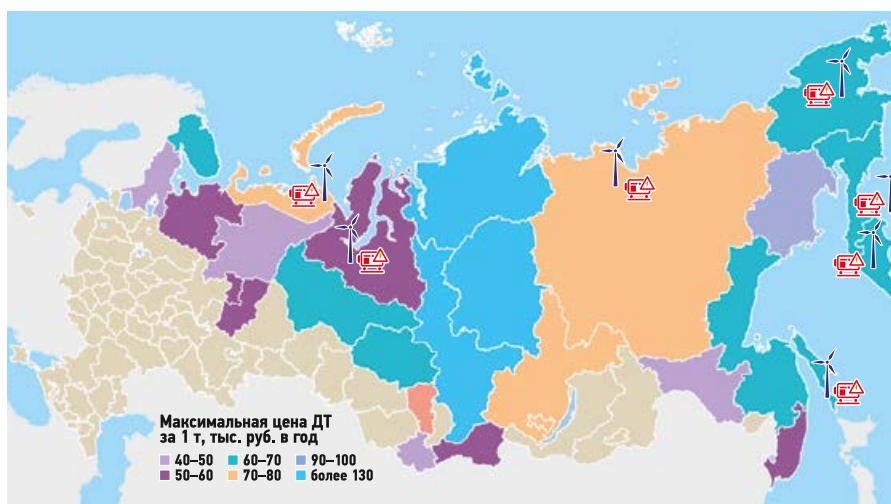


Рис. 1. Ветроизмельные электростанции в изолированных и северных регионах Российской Федерации, данные о максимальной стоимости дизельного топлива по регионам

На основании проведенного анализа, выполненного по открытым источникам, определено, что около одной четвертой части всех ДЭС находятся на стадии необходимой замены или капитального ремонта оборудования (основным критерием оценки является год ввода агрегатов и гарантированный срок службы, который в среднем составляет 20–25 тыс. моточасов, что примерно равно сроку эксплуатации 15–20 лет) [3].

Таким образом, для районов с изолированным энергоснабжением характерны: преобладание ДЭС в выработке электроэнергии, высокие удельные расходы топлива, низкий коэффициент использования установленной мощности (КИУМ), высокий износ оборудования, значительный износ и большой уровень потерь в местных электрических сетях и высокая стоимость электроэнергии.

В России в изолированных и труднодоступных местах функционирует восемь ВДЭС мощностью более 100 кВт (рис. 1, табл. 1). Эксплуатируется 26 ВЭУ, суммарная установленная мощность которых составляет 6,15 МВт.

Изолированные территории энергоснабжения в Российской Федерации обладают высоким техническим потенциалом ВИЭ, который составляет около 4,6 млрд т.у.т. в год, что в пять раз превышает объем потребления всех топливно-энергетических ресурсов России, а экономический потенциал оценивается в 270 млн т.у.т. [4].

Проведенный анализ существующих энергокомплексов (ЭК) с использованием ветроэлектрических установок и других установок ВИЭ показал, что использование возобновляемых источников энергии позволяет повысить надежность энергоснабжения, сократить завоз топлива, снизить себестоимость электроэнергии у конечного потребителя и повысить экологическую безопасность.

Выбор варианта модернизации объектов генерации зависит от местных условий, к важнейшим параметрам которых относятся: структура потребителей энергии и режим потребления энергии; местные природно-климатические условия и возобновляемые энергетические ресурсы, состояние действующих систем энергоснабжения.

Задачи, решаемые в работе:

1. Анализ адаптированных к северным условиям ветроэлектрических установок и потенциального рынка ветродизельных электростанций (ВДЭС).
2. Анализ существующих ГИС, адаптированных под использование ВИЭ.
3. Формирование и структурирование требований к базам данных и определение слоев, необходимых для обоснования параметров и режимов работы энергокомплексов ВДЭС в северных условиях.
4. Разработка моделей административных, экономических, геологических, энергетических, природно-климатических и других факторов информационно-аналитического обеспечения процесса принятия решений при проектировании объектов возобновляемой энергетики для Арктической зоны РФ.
5. Разработка архитектуры системы принятия решений в формате интерактивной геоинформационной системы ИГИС «Арктика».

Использование ВИЭ позволяет повысить надежность энергоснабжения, сократить завоз топлива, снизить себестоимость электроэнергии у конечного потребителя и повысить экологическую безопасность

Основной раздел

Одним из потенциально эффективных методов модернизации локальной энергетики в изолированных территориях является частичная или полная замена энергетических мощностей, а именно дизельных электростанций, на энергетические объекты на основе ВИЭ, преимущественно на ветродизельные электростанции.

Территории с изолированным энергоснабжением обладают значительными техническими ветроэнергетическими ресурсами (ВЭР): $6,2 \times 10^{15}$ кВт·ч/год. Внедрение ВДЭС позволит сэкономить десятки миллиардов рублей в год за счет снижения количества завозимого дизельного топлива. В НОЦ «ВИЭ» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого изучен ветроэнергетический потенциал северных территорий, а также состояние существующих ДЭС, в результате чего установлено, что потенциальный рынок ВДЭС с ВЭУ 50–100 кВт в северных регионах составляет от 2300 до 4700 модулей для регионов со средней скоростью ветра более 4,5 м/с на высоте 10 м и стоимостью электроэнергии более 15–20 руб/кВт·ч [5].

Ветроизмельные электростанции в изолированных и северных регионах РФ

табл. 1

Наименование	Кол-во и модель ВЭУ	Установленная единичная мощность, кВт	Полная мощность ВЭС, кВт	Полная мощность ВДЭС, кВт
Анадырская ВЭС	десять ВЭУ (AB3-250, Micon 530M)	250	2500	6500
ВЭС на о. Беринга (пос. Никольское)	две ВЭУ Vergnet GEV-C	275	550	1426
ВЭС в пос. Новиково	две ВЭУ реновируем. Vestas V27	225	450	950
ВЭУ в пос. Лабытнанги	одна ВЭУ реновируем. Micon 530M	250	250	–
ВЭС в пос. Тикси	три ВЭУ Komai KWT300	300	900	10 500
ВЭС в пос. Усть-Камчатск	одна ВЭУ Vergnet GEV-C / три ВЭУ Komai KWT300	275 / 300	275 / 900	9175
ВЭС в пос. Амдерма	четыре ВЭУ Ghrepower-50	50	200	1000
ВЭУ в пос. Унчи	одна ВЭУ Ghrepower-100	100	100	220



У стандартных ВЭУ при эксплуатации в экстремальных климатических условиях могут возникать значительные потери в выработке электроэнергии и механические нагрузки выше номинальных, что в конечном итоге приводит к финансовым потерям и преждевременным выходам из строя основных частей ВЭУ. В связи с этим особенно важным является выбор такой ВЭУ, характеристики которой позволяют ей эффективно работать в условиях Крайнего Севера [6]. Выполнен анализ рынка ВЭУ средней мощности, адаптированных к российским северным условиям, которые могут быть использованы для автономных систем энергоснабжения на основе ветродизельных электростанций. Производители, поставляющие ВЭУ в специальном исполнении для работы в условиях холодного климата, представлены в табл. 2. Выполненный анализ показывает практически полное отсутствие отечественных разработок ВЭУ, адаптированных к российским северным условиям, и в тоже время высокую потенциальную возможность внедрения ветродизельных электростанций в арктических регионах.

Для проектирования объектов генерации в северных районах с использованием оборудования ВИЭ предложено использование интерактивных геоинформационных систем (ИГИС), являющихся одними из ключевых составляющих интеллектуальных технологий в энергетике, способствующих решению задач, связанных с энергоэффективностью и энергосбережением, а также в принятии инженерных и инвестиционных решений.

Геоинформационная система (ГИС) представляет собой интеграционную платформу, объединяющую и предоставляющую данные, а также информацию, необходимую для анализа и принятия решений, создавая структуру общего видения. Из-за данных возможностей крупные

зарубежные энергетические компании рассматривают геоинформационные системы не только как одну из базовых инфраструктурных технологий, необходимую для решения стратегических вопросов планирования сети и управления, но и для аналитики, необходимой для поддержки проектов по использованию солнечной и ветровой энергии, — одной из основных тенденций развития мировой

Основной целью создания ИГИС является ускорение внедрения и повышения качества технико-экономического обоснования и проектирования энергетических объектов на основе возобновляемых источников энергии в арктических регионах

электроэнергетики. Основная задача геоинформационных систем для разработки проектов по модернизации существующих объектов генерации с помощью создания энергокомплексов на базе ВИЭ в сложных климатических условиях — создать геоинформационное пространство, которое является продуктом ГИС, способное хранить заложенные в него базы данных, структурировать информацию и интерпретировать её в слои для расчёта необходимых показателей проекта, определения места строительства, проведения сравнительных характеристик с помощью заложенных баз данных.

Основной целью создания ИГИС является ускорение внедрения и повышения качества технико-экономического обоснования и проектирования энергетических объектов на основе возобновляемых источников энергии в арктических регионах. Оперативное и полное представление данных ИГИС о климатических характеристиках, экстремальных значениях климатических факторов и их изменчивости, географических условиях и локальных возобновляемых энергетических ресурсов значительно ускорит реализацию инфраструктурных проектов автономного энергоснабжения.

Ключевыми потребителями ИГИС могут быть горнорудные предприятия, предприятия нефтегазового комплекса, муниципальные и региональные энергоснабжающие организации, энергосервисные компании, функционирующие в изолированных северных территориях РФ и эксплуатирующие дизельную генерацию.

:: Перечень ВЭУ в специсполнениях для работы в условиях холодного климата

табл. 2

Модель	Производитель	Номинальная мощность, кВт	Страна	Веб-сайт
Micon M530	Micon A/S	250	Дания	—
Komai KWT300	KomaiHaltec Inc.	300	Япония	komaihaltec.co.jp
Northwind 100	Northern Power Systems	100	США	northernpower.com
Ghrepower-50 Arctic	Shanghai Ghrepower Green Energy Co.	50	Китай	ghrepower.com
Ghrepower-100 FD25 Arctic	Shanghai Ghrepower Green Energy Co.	100	Китай	ghrepower.com
nED 100/24	Norvento	100	Испания	norvento.com

:: Имеющиеся ГИС, адаптированные под использование ВИЭ

табл. 3

Название	Страна	Адрес сайта	Доступ
Геоинформационная система ОАО «РАО ЭС Востока»	Россия	rao-esv.ru	Закрытый
Геоинформационная система «Возобновляемые источники энергии России» (ГИС ВИЭР)	Россия	gisre.ru	Свободный
Global Wind Atlas (GWA 3.1)	Дания	globalwindatlas.info	Свободный
Global Solar Atlas	Дания	globalsolaratlas.info/map	Свободный
Global Atlas for Renewable Energy	ОАЭ	irena.org/globalatlas	Свободный
JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)	Бельгия	ec.europa.eu/jrc/en/pvgis	Свободный
Vortex	Испания	vortexfdc.com	Закрытый
SolarGIS	Словакия	solargis.com	Закрытый



Рис. 2. Слои, необходимые для проектирования ветродизельных электростанций для северных условий (O — целевой параметр, определяемый с учётом информации, представленной на слоях a_n , и весовых коэффициентов b_n)

Из анализа открытых информационных источников в настоящее время в Российской Федерации созданы две геоинформационные системы ВИЭ, релевантные к задачам исследования. В мире насчитывается более десятка ГИС ВИЭ, обеспечивающие доступ к национальным и глобальным данным о возобновляемых источниках энергии, энергетической инфраструктуры, доступные в открытом виде через сеть Интернет, среди них выделены шесть наиболее современных и актуальных геоинформационных систем. Имеющиеся ГИС, адаптированные под использование возобновляемых источников энергии представлены в табл. 3 [7–12].

Две наиболее функциональные и современные системы, построенные на платформе Global Atlas Датского технологического университета (Technical University of Denmark, DTU), выбраны в качестве прообраза разрабатываемой интерактивной геоинформационной системы.

Авторами сформирована база первичных источников локальных и глобальных геоинформационных данных, список которых представлен в табл. 4. Источниками

данных для формирования геоинформационной системы служат:

1. **Картографические материалы** (топографические и общегеографические карты, карты административно-территориального деления, кадастровые планы и др.).
2. **Данные дистанционного зондирования** (материалы, получаемые с космических носителей).
3. **Материалы полевых изысканий территорий** (данные топографических, инженерно-геодезических изысканий, кадастровой съёмки, геодезических измерений природных объектов, выполняемых нивелирами, теодолитами, электронными тахеометрами, GPS-приёмниками, а так-



Табл. 4. Основные базы данных, используемые для создания ГИС в области ВИЭ

табл. 4

№	Наименование	Адрес сайта
1	MERRA-2	gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/merra-2/data_access
2	IRENA Global Energy Atlas	globalatlas.irena.org/workspace
3	RE Data Explorer	re-explorer.org/re-data-explorer/download/intro
4	Danish Technical University Global Wind Atlas	data.dtu.dk/articles/dataset/global_wind_atlas_v3/9420803
5	World Bank Group Global Solar Atlas	globalsolaratlas.info/map
6	PVGIS data download EU Science Hub	ec.europa.eu/jrc/en/pvgis/downloads/data
7	NASA Power/SSE	power.larc.nasa.gov
8	Global Land Cover	lcviewer.vito.be/2019
9	ECMWF	ecmwf.int

же результаты обследования территорий с применением геоботанических и других методов).

4. **Статистические данные** (данные государственных статистических служб, стационарных измерительных постов наблюдений — гидрологические и метеорологические данные и т.д.).

5. **Литературные данные** (справочные издания, книги, монографии и статьи, содержащие сведения по отдельным типам географических объектов).

Источниками данных для формирования ГИС служат картографические материалы, данные дистанционного зондирования, материалы полевых изысканий территорий, статистические и литературные данные

Определены ключевые слои пространства, необходимые для создания ГИС:

1. **Административный слой** — содержит информацию о дорогах, административно-территориальном делении, включает данные о населении регионов, площади территорий и т.д. (рис. 2).

2. **Экономический слой** — содержит информацию, необходимую для технико-экономического обоснования (ТЭО).

3. **Геологический слой** — включает в себя информацию о типе почвы и глубине промерзания грунтов северных регионов. Слой необходим для расчёта фундамента и определения его параметров.

4. **Энергетический слой** — содержит информацию о системе энергоснабжения регионов, о действующих энергокомплексах, их мощности, выработки и информацию о линиях электропередач. Слой необходим для оценки текущего состояния энергоснабжения выбранного региона, актуальности строительства новых энергообъектов в указанной точке, о возможности оптимизации энергоснабжения российских регионов.

5. **Климатический слой** — включает информацию о температуре (максимальные, минимальные, среднегодовые, среднесезонные значения), об осадках и др. Слой необходим для принятия верных решений о выборе оборудования с учётом низких температур, о дополнительных мероприятиях по защите от обледенения, для определения потерь в выработке электроэнергии при сложных климатических условиях.

6. **Ресурсный слой** — состоит из ветроэнергетических, солнечных, гидрологических и других данных, необходимых для расчёта объектов ВИЭ [13].

С помощью данной модели для выбранной точки можно определять климатические, геологические, топографические, экономические и другие параметры, а также характеристики, влияющие на расчёт мощности, выработки, потерь электроэнергии, и другие конечные показатели расчёта ветроэлектрических установок в составе электростанции [14].

В целях необходимости обеспечения полной совместимости с базовыми пространственными данными открытого пользования картографические данные представляются в проекции Меркатора (WGS 1984 Web Mercator, WKID 102113, EPSG 3857) в системе координат WGS 84 Auxiliary Sphere. Созданные в ПК QGIS слои представлены на рис. 3.

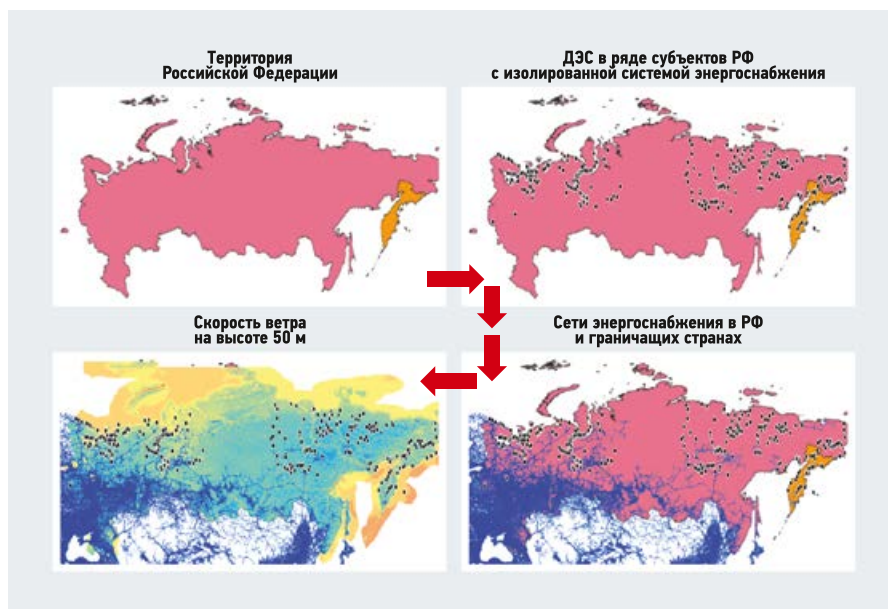


Рис. 3. Слои, созданные в свободной кроссплатформенной геоинформационной системе QGIS

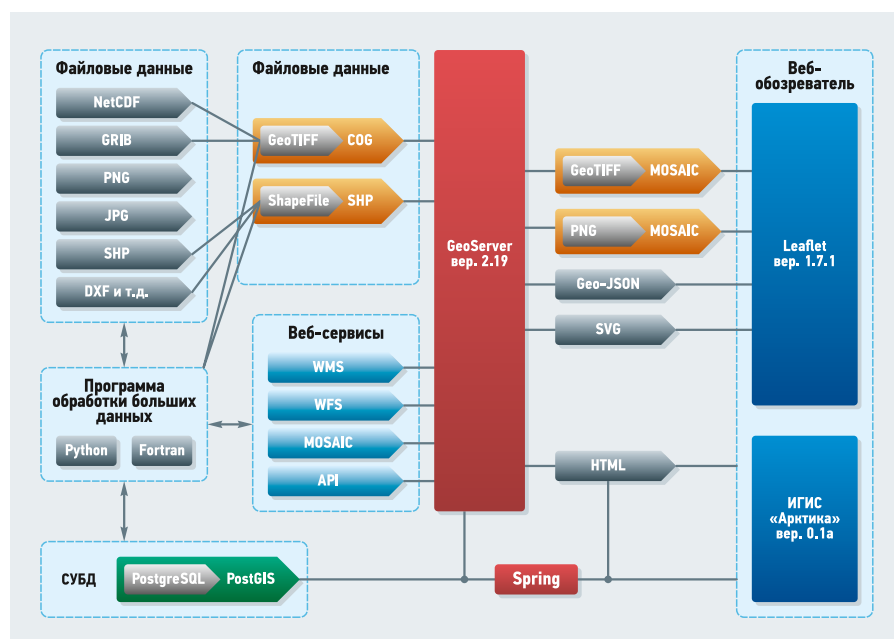


Рис. 4. Архитектура интерактивной геоинформационной системы (ИГИС) «Арктика»

ГИС обладает развитыми средствами обработки и анализа входящих данных с целью дальнейшей их реализации в вещественной форме. Схема аналитической работы ГИС следующая: на первом этапе производится сбор информации, как географической (цифровые карты, изображения), так и атрибутивной, после чего собранные данные являются наполнением двух баз данных (БД) — первая БД хранит картографические данные, вторая же наполнена информацией описательного характера; на втором этапе система обработки пространственных данных обращается к базам данных для проведения обработки и анализа востребованной информации. При этом весь процесс контролируется системой управления БД (СУБД), с помощью которой можно осуществлять быстрый поиск табличной и статистической информации.

Подавляющее большинство исходных данных представлено в виде файлов графических форматов PNG, JPG, GeoTIFF/COG (для растровых карт, изображений) и геоинформационных данных), векторных / табличных форматах SVG, SHP (для векторных изображений и геоинформационных данных) и в научных форматах GRIB/NetCDF для метеорологических данных.

Наполнение базы исходных данных производится как вручную (оцифровка редких картографических источников), так и автоматически, то есть посредством скачивания с FTP-серверов открытых источников и с использованием API сторонних ГИС и сервисов.

Для стандартизации, упрощения обработки и вывода информации исходные данные конвертируются в стандартный набор форматов, используемых именно

в ИГИС «Арктика»: SHP/SVG — для векторных данных, PNG — для графических изображений, GeoTIFF/COG — для распределённых в пространстве и времени данных, NetCDF — для распределённых многомерных данных.

Для хранения пользовательских и системных данных используется СУБД PostgreSQL и её расширение для геоинформационных систем PostGIS.

Для трансляции карт-подложек, таких как спутниковые снимки, навигационные и вспомогательные карты, предусмотрена интеграция картографических сервисов по стандартным протоколам WMS/WFS, специализированным API (например, GWA) и с получением тайлов/мозаичных изображений.

Специализированные функции конвертации, расчётов, обработки исходных данных реализуются на языках Python и Fortran и представлены в виде конечных программ, запускаемых по времени или принудительно пользователем.

В качестве среды разработки картографических интернет-приложений используется программное обеспечение MapServer версии 2.19 и Spring Framework версии 5.3.8. Интерактивное взаимодействие обеспечивается с применением библиотеки Leaflet версии 1.7.1 и разрабатываемой библиотекой ИГИС «Арктика».

Выполнена разработка архитектуры системы принятия решений в формате интерактивной геоинформационной системы ИГИС «Арктика», упрощённая схема которой представлена на рис. 4. Предложенная программная архитектура использует последние достижения веб-технологий с открытым исходным кодом, лицензии используемых программных библиотек которых позволяют свободно использовать код, в том числе в закрытом программном обеспечении.



Фото: ПАО «РусГидро», rushydro.ru

Ветроэлектростанция в посёлке Тикси, Республика Саха (Якутия)

Заключение

1. Выполнен анализ существующего энергоснабжения в северных регионах РФ: 95 % северных и арктических территорий России энергозависимо от дизельных электростанций, количество которых — более 600 шт. Суммарная выработка электрической энергии генерирующими объектами в изолированных и труднодоступных регионах составляет около 1161 МВт·ч за год, установленная мощность более 770 МВт. В изолированной системе энергоснабжения в суровых северных климатических условиях эксплуатируется 26 ВЭУ, суммарная установленная мощность которых 6,15 МВт, а также функционирует восемь энергокомплексов ВДЭС с суммарной мощностью около 30 МВт (мощность ВЭС — 6,125 МВт).

2. Потенциальный рынок ВДЭС с ВЭУ 50–100 кВт в северных регионах составляет от 2300 до 4700 модулей для регио-

нов со средней скоростью ветра более 4,5 м/с на высоте 10 м и стоимостью электроэнергии более 15–20 руб/кВт·ч.

3. Для комплексного учёта особенностей проектирования энергокомплексов на основе ВИЭ предложено использование цифровых технологий для обоснования параметров и режимов работы при мо-

В работе выполнен анализ существующего энергоснабжения в северных регионах Российской Федерации: 95 % северных и арктических территорий энергозависимо от ДЭС, количество которых — более 600 шт. Суммарная выработка электрической энергии генерирующими объектами составляет около 1161 МВт·ч за год, установленная мощность более 770 МВт



Фото: ООО «Дизель-Системы», d-system.ru

Дизельная электростанция ДЭС-300 (300 кВт / 375 кВА) на основе ЯМЗ-240, ТМЗ-8435

дернизации и проектировании объектов генерации в северных автономных районах, а именно использование геоинформационных технологий.

4. Сформированы и структурированы требования к базам данных и определены слои, необходимые для обоснования параметров и режимов работы энергокомплексов ВДЭС в северных условиях, и разработаны модели административных, экономических, геологических, энергетических, природно-климатических и других факторов информационно-аналитического обеспечения процесса принятия решений при проектировании объектов возобновляемой энергетики для Арктической зоны РФ.

5. Разработана архитектура системы принятия решений в формате интерактивной геоинформационной системы (ИГИС) «Арктика». ●

1. Колпаков А., Семиряга В. Развитие Арктики и национальные интересы Российской Федерации [Электр. текст]. «Армейский сборник» от 08.12.2020. Web-source: army.ric.mil.ru. Дата общ.: 01.09.2021.
2. Абрамов Р.А. Особенности развития северных регионов // Региональная экономика: теория и практика, 2008. №11. С. 15–21.
3. Модернизация объектов генерации в изолированных и труднодоступных территориях [Электр. текст]. Минэнерго России. Режим доступа: minenergo.gov.ru. Дата общ.: 01.09.2021.
4. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. Изд. 3-е, доп. — СПб.: Изд-во СПбПУ, 2016. 424 с.
5. Elistratov V.V., Bogun I.V., Kasina V.I. Optimization of wind-diesel power plants parameters and placement for power supply of Russia's northern regions consumers. Proc. of the 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA 2019). June 6–8, 2019. Varna, Bulgaria.
6. Елистратов В.В., Конищев М.А. Ветродизельные электростанции для автономного энергоснабжения северных территорий России // Альтернативная энергетика и экология, 2014. №11. С. 62–71.
7. Курочкин Ю.А., Фомин В.Н. ГИС как инструмент поиска перспективных проектов ВИЭ [Электр. текст]. ESRI CIS ArcReview. Режим доступа: arcreview.esri-cis.ru. Дата общ.: 01.09.2021.
8. Геоинформационные системы для бизнеса и общества [Электр. текст]. ООО «Дата+». Режим доступа: dataplus.ru. Дата общ.: 01.09.2021.
9. Мыльников Д.Ю. Геоинформационные платформы [Электр. текст]. ООО «Политерм». Режим доступа: politerm.com. Дата общ.: 01.09.2021.
10. Нагорнюк К. Обзор общедоступных проектов, использующих преимущества Веб-ГИС [Электр. текст]. ESRI CIS «Блоги» от 10.03.2014. Режим доступа: blogs.esri-cis.ru. Дата общ.: 01.09.2021.
11. Дубинин М.Ю., Костикова А.М. Веб-ГИС // Компьютерра, 2008. №33 (749).
12. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). EU Science Hub. Web-source: ec.europa.eu. Access data: September 1, 2021.
13. Elistratov V.V., Bogun I.V., Kasina V.I. Development of a geoinformation system for the design of wind power facilities in the Russian arctic conditions. Proc. of the "Arctic: History and Modernity" 4th International Scientific Conference. April 17–18, 2019. St. Petersburg, Russia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 302. July 2019.
14. Касина В.И., Богун И.В. Создание слоя состояния энергоснабжения в ГИС для арктической зоны Российской Федерации / Неделя науки СПбПУ 2019: Мат. науч. форума с межд. участием. — СПб.: ИСИ (Политех), 2019. С. 263–266.

References — see page 79.

[The use of geoinformation technologies in the design of wind-diesel power plants in northern conditions. Pp. 66–71.](#)

Viktor V. Elistratov, Doctor of Technical Sciences; **Mikhail A. Konishchev**, PhD, Head of the Department; **Valeria I. Kasina**, postgraduate student; **Inna V. Bogun**, postgraduate student, an assistant, [Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University](#)

1. A. Kolpakov, V. Semirjaga. *Razvitie Arktiki i nacional'nye interesy Rossijskoj Federacii* [Development of the Arctic and the national interests of the Russian Federation]. "Armejskij sbornik" ["Army Collection"] dated August 12, 2020. Web-source: army.ric.mil.ru. Access data: September 1, 2021. [In Russian]
2. R.A. Abramov. *Osobennosti razvitiya severnykh regionov* [Features of the development of the northern regions]. *Regional'naja jekonomika: teorija i praktika* ["Regional economics: theory and practice" Magazine]. 2008. No. 11. Pp. 15–21. [In Russian]
3. *Modernizacija ob#ektov generacii v izolirovannykh i trudnodostupnykh territorijah* [Modernization of generating facilities in isolated and hard-to-reach areas]. *Ministry of Energy of the Russian Federation*. Web-source: minenergo.gov.ru. Access data: September 1, 2021. [In Russian]
4. V.V. Elistratov. *Vozobnovljajemaja jenergetika* [Renewable energy]. 3rd edition, rev. St. Petersburg, Izd-vo SPbPU [Publishing House of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University]. 2016. 424 p. [In Russian]
5. V.V. Elistratov, I.V. Bogun, V.I. Kasina. Optimization of wind-diesel power plants parameters and placement for power supply of Russia's northern regions consumers. Proc. of the 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA 2019). June 6–8, 2019. Varna, Bulgaria.
6. V.V. Elistratov, M.A. Konishhev. *Vetrodizel'nye jelektrostantsii dlja avtonomnogo jenergosnabzhenija severnykh territorij Rossii* [Wind Diesel Power Plants for autonomous power supply to the northern territories of Russia]. *Alternativnaja jenergetika i jekologija* ["Alternative energy and ecology" Magazine]. 2014. No. 11. Pp. 62–71. [In Russian]
7. Ju.A. Kurochkin, V.N. Fomin. *GIS kak instrument poiska perspektivnykh proektov VIIe* [The Geographic Information System as a search tool for promising renewable energy projects]. *ESRI CIS ArcReview*. Web-source: arcreview.esri-cis.ru. Access data: September 1, 2021. [In Russian]
8. *Geoinformacionnye sistemy dlja biznesa i obshhestva* [Geographic Information Systems for business and society]. "Data+", LLC. Web-source: dataplus.ru. Access data: September 1, 2021. [In Russian]
9. D.Ju. Mylnikov. *Geoinformacionnye platformy* [Geographic Information Platforms]. "Polytherm", LLC. Web-source: politerm.com. Access data: September 1, 2021. [In Russian]
10. K. Nagornjuk. *Obzor obshhedostupnykh proektov, ispol'zujushhih preimushhestva Veb-GIS*. [Review of publicly available projects that take advantage of the Web Geographic Information System]. *ESRI CIS "Blogs"* dated Mart 10, 2014. Web-source: blogs.esri-cis.ru. Access data: September 1, 2021. [In Russian]
11. M.Ju. Dubinin, A.M. Kostikova. *Veb-GIS* [Web Geographic Information Systems]. *Komp'yuterna* ["Computerra" Magazine]. 2008. No. 33 (749). [In Russian]
12. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). EU Science Hub. Web-source: ec.europa.eu. Access data: September 1, 2021.
13. V.V. Elistratov, I.V. Bogun, V.I. Kasina. Development of a geoinformation system for the design of wind power facilities in the Russian arctic conditions. Proc. of the "Arctic: History and Modernity" 4th International Scientific Conference. April 17–18, 2019. St. Petersburg, Russia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 302. July 2019.
14. V.I. Kasina, I.V. Bogun. *Sozdanie sloja sostojanija jenergosnabzhenija v GIS dlja arkticheskoy zony RF* [Creation of a layer of the state of power supply in the Geographic Information System for the Arctic zone of the Russian Federation]. *Nedelja nauki SPbPU 2019: Mat. nauch. foruma s mezhd. uchastiem* [Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University Science Week 2019: Proc. of the Scientific Forum with International Participation]. St. Petersburg. *ISI (Politeh)* [Civil Engineering Institute (Polytech) of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University]. 2019. Pp. 263–266. [In Russian]