

# МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Том 3



VIII Международная молодежная научно-техническая конференция

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ – 2017

2–6 октября



Самара, 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВО «САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
АО «СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»  
ПАО «ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»  
ПАО «РОССЕТИ»  
РОССИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМИТЕТ МЕЖДУНАРОДНОГО СОВЕТА ПО  
БОЛЬШИМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ (РНК СИГРЭ)  
БЛАГОТВОРИТЕЛЬНЫЙ ФОНД «НАДЕЖНАЯ СМЕНА»

# ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ – 2017



Материалы  
VIII Международной молодёжной научно-технической конференции  
02 – 06 октября 2017 года

Том 3

Самара  
2017

УДК 621.31  
ББК 31.2  
Э45

**Электроэнергетика глазами молодежи:** материалы VIII Международной научно-технической конференции. 02 – 06 октября 2017, Самара. – В 3 т. Т 3. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2017. – 342 с.

В третий том сборника трудов включены доклады, принятые программным комитетом конференции, в которых отражены результаты исследований по основным научным направлениям секций «Перспективные направления развития и экономика электроэнергетики»: распределенная энергетика и собственная генерация потребителей энергии, альтернативные источники энергии, экология в электроэнергетике, рыночные механизмы в электроэнергетике; «Образовательные технологии и программы подготовки специалистов для электроэнергетики»: программы и методики повышения квалификации работников, реновация образовательных процессов профильных кафедр вузов по подготовке специалистов для электроэнергетической отрасли, развитие систем тренажерной подготовки; «Промышленная энергетика. Энергоэффективность»: энергоэффективность и энергоснабжение при транспортировке энергетических ресурсов и выработке тепловой и электрической энергии, энергосберегающие технологии в инженерных системах промышленных предприятий, зданий и сооружений, энергоэффективное оборудование, устройства, изделия и материалы, системы учета и мониторинга для энергосбережения и потребления топливно-энергетических ресурсов. В работе конференции приняли участие инженеры, ученые и специалисты отраслевых научно-исследовательских, проектных, эксплуатационных электроэнергетических организаций и компаний, а также академических институтов и высших учебных заведений России и других стран. Материалы сборника предназначены для научных работников и специалистов в сфере энергетики.

ISBN 978-5-7964-2030-0  
ISBN 978-5-7964-2033-1

**Ответственный редактор:**

Е.М. Шишков, к.т.н., заместитель директора по науке, информатизации и инновациям филиала ФГБОУ ВО «СамГТУ» в г. Новокуйбышевске.

**Редакционная группа:** И.А. Москвин, Я.В. Макаров.

**Рецензенты:**

В.И. Полищук, д.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» ФГБОУ ВО «СамГТУ»;  
В.Г. Гольдштейн, д.т.н., профессор кафедры «Автоматизированные электроэнергетические системы» ФГБОУ ВО «СамГТУ»;  
А.Г. Сорокин, к.т.н., доцент кафедры «Теоретическая и общая электротехника» ФГБОУ ВО «СамГТУ»;  
В.Н. Козловский, д.т.н., заведующий кафедрой «Теоретическая и общая электротехника» ФГБОУ ВО «СамГТУ»;  
П.М. Ерохин, д.т.н., советник директора по управлению персоналом АО «СО ЕЭС»;  
Д.А. Ивановский, ведущий эксперт отдела научно-технического сотрудничества Технической инспекции ЕЭС;  
М.С. Долматова, главный специалист отдела разработки правил и процедур службы развития рынков АО «СО ЕЭС»;  
Ю.А. Макаричев, д.т.н., заведующий кафедрой «Электромеханика и автомобильное оборудование» ФГБОУ ВО «СамГТУ»;  
А.А. Шутенко, заместитель начальника Департамента управления персоналом АО «СО ЕЭС»;  
Е.В. Власюк, начальник Службы управления персоналом филиала АО «СО ЕЭС» ОДУ Средней Волги;  
Т.А. Фадеева, главный специалист отдела развития персонала Службы управления персоналом филиала АО «СО ЕЭС» ОДУ Средней Волги;  
М.Ю. Деревянов, к.т.н., руководитель Регионального учебно-научного центра энергетической эффективности Самарской области;  
В.М. Дашков, к.т.н., доцент кафедры «Электрические станции» ФГБОУ ВО «СамГТУ».

ISBN 978-5-7964-2030-0  
ISBN 978-5-7964-2033-1

# Зарубежный опыт энергоснабжения субарктических территорий

Ю.В. Жилкина,  
ПАО «ФСК ЕЭС» Москва, Россия  
E-mail: [zhilkina.yulia@gmail.com](mailto:zhilkina.yulia@gmail.com)

*Аннотация* — Технологии возобновляемой энергетики позволяют обеспечить децентрализованное энергоснабжение при снижении вредных воздействий на окружающую среду. Указанные особенности определяют привлекательность возобновляемых источников для субполярных территорий с хрупкостью их экосистем и высокой долей изолированных потребителей. Из-за организационных и технических трудностей целесообразность широкого внедрения возобновляемых источников в северных регионах до сих пор остается под вопросом.

В работе рассмотрена история развития энергосистем в субполярных регионах мира (Аляска, северные провинции Канады, Гренландия, Исландия, Скандинавские страны) и проведено их сопоставление по природно-климатическим условиям с арктическими регионами России. На основе данных национальных статистических ведомств выполнен анализ сложившейся структуры энергоснабжения. Определены основные технологии, используемые для электро- и теплоснабжения, выявлены основные проблемы развития энергосистем, показана связь этих трудностей с природно-климатическими и социально-экономическими условиями.

*Ключевые слова* — децентрализованное энергоснабжение; возобновляемые источники; энергосистемы

## Trends of energy supply and demand on subarctic areas

candidate of economic sciences Y.V. Zhilkina  
JSC FGC UES  
Moscow, Russia  
[zhilkina.yulia@gmail.com](mailto:zhilkina.yulia@gmail.com)

*Abstract*—Technologies of renewable power may be effectively used for decentralized power supply with minimizing impacts on the environment. Due to that fact renewable power sources are very attractive for applications on ecologically fragile subarctic areas with a high rate of remote consumers. Nevertheless, suitability of renewable power for applications in subarctic regions is still under discussions due to numerous technical challenges. Analysis of power and heating supply statistics was done for subarctic regions (Alaska, Northern Canada, Greenland, Iceland, and Scandinavia). History of energy systems was considered for the regions of interest. Comparison of natural and climatic conditions was done between the considered regions and Russian Arctic territory during the last century. The main challenges for subarctic energy systems development were identified. Connection was found between these challenges and natural, climatic and socio-economic conditions in the regions. Analysis of development dynamics of the energy systems was done. Main technologies being implemented currently for heat and power supply in north regions were specified.

*Keywords* — decentralized power supply, renewable power sources, energy systems

### I.

### ВВЕДЕНИЕ

Проблемы устойчивого развития экономических систем на уровне отдельных предприятий, так и целых регионов являются сегодня острой темой обсуждения специалистов разных уровней. Одним из направлений решения является внедрение энергосберегающих технологий как повышение эффективности использования производственных ресурсов. Под энергосбережением можно понимать деятельность, которая направлена на эффективное удовлетворение потребности общества в энергетических услугах. Технологии энергоснабжения непрерывно совершенствуются, обеспечивая развитие цивилизации на протяжении всей истории человечества [1]. В последние десятилетия в обществе резко возрос интерес к возобновляемой энергетике.

Субарктические территории с большим количеством изолированных потребителей представляют собой идеальный полигон для демонстрации потенциала возобновляемой энергетики.

### II.

### ЕВРОПА

#### A. Гренландия

Гренландия отличается исключительно суровыми природными условиями: большая часть ее территории покрыта мощным материковым льдом; свободна ото льда узкая полоса на юго-западе Гренландии, еще более узкая на юго-востоке и более значительная на севере. Северное побережье отличается низкими температурами, сопоставимыми с температурой на севере Якутии [2].

Централизованного энергоснабжения на острове нет, каждый населенный пункт обеспечивает выработку электричества самостоятельно. До начала 1990-х годов вся электроэнергия на острове производилась дизель-генераторами из привозного топлива. В следующие десятилетия началось активное использование местных ветро- и гидроресурсов, что в последние годы позволило обеспечить выработку примерно 70% электроэнергии из возобновляемых ресурсов.

Сейчас в Гренландии работают пять ГЭС мощностью от 1.4 до 45 МВт, в том числе ГЭС в Иллулисат — единственная в мире подземная гидроэлектростанция, построенная в зоне вечной мерзлоты. Станция расположена в изолированном фьорде, в 45 км от города Иллулисат; ее работа полностью автоматизирована. Гидроэлектростанции на сегодняшний день вырабатывают в Гренландии более 70% электроэнергии.

### *В. Норвегия*

Арктическая территория Норвегии включает в себя три губернии - Нурланн, Тромс и Финнмарк на материке, а также архипелаг Шпицберген и остров Ян-Майен. В совокупности эти районы составляют почти половину сухопутной территории Норвегии с населением 470.000 человек, или около одной десятой от общего населения страны. Морские районы Норвегии в Арктике составляют примерно 1.500.000 кв.км., что соответствует территории Франции, Германии и Испании, взятых вместе.

Благодаря тёплому течению Гольфстрим Северная Норвегия является гораздо более гостеприимным районом, чем какой-либо другой на этой широте. Крупнейшим городом Северной Норвегии является Тромсё, который часто называют "воротами в Арктику". В Тромсё расположен самый северный в мире университет, а также Центр научных исследований экологии и климата Крайнего Севера "Фрам", в котором работают 500 учёных из 20 различных научных учреждений и проводят естественно-научные, технические и общественные исследования. Другими важными городами Северной Норвегии являются Будё, Харстад, Нарвик, Алта, Хаммерфест и Киркенес.

Традиционно население Северной Норвегии существовало за счёт рыболовства и оленеводства. Эти отрасли хозяйства сохранили своё важное значение, однако сегодня экономика Северной Норвегии стала более диверсифицированной. Промышленное разведение рыбы связано с традиционным историческим промыслом и демонстрирует потенциал производства продуктов питания для всё возрастающего населения мира. В г.Хаммерфесте компания "Статойл" ведёт сжижение природного газа, добытого на месторождении "Белоснежка" в Баренцевом море. Южнее, в г.Нарвике, ведётся отгрузка на экспорт для перевозки морским транспортом железной руды, добытой в Швеции. Арктический регион также привлекает растущее число туристов, приезжающих, чтобы насладиться впечатляющими пейзажами и практически нетронутой природой страны.

Арктический архипелаг Шпицберген расположен посередине между континентальной Норвегией и Северным полюсом. Примерно половина поверхности архипелага покрыта льдом. Крупнейшим островом Архипелага является о.Шпицберген, и до 1925 г. весь архипелаг носил в Норвегии название Шпицберген. На острове расположен административный центр архипелага - посёлок Лонгйир, а также незаселённые территории. Основными отраслями хозяйства на Шпицбергене сегодня являются добыча угля, туризм и научные исследования.

### *С. Финляндия*

Структура производства электроэнергии в Финляндии достаточно сбалансирована: примерно по одной трети

общей выработки обеспечивается каждым из источников: атомными электрическими станциями (АЭС), теплоэлектроцентралями (ТЭЦ) на привозном ископаемом топливе (угле и природном газе) и возобновляемой энергетикой (ГЭС и электростанциями на биотопливе).

На природном газе работают только электростанции в южных областях Финляндии, где есть газовая сеть. Чтобы повысить эффективность использования газа, широко применяются технологии когенерации: более половины используемого природного газа сжигается на ТЭЦ. Стратегия развития финской энергетики предусматривает постепенное замещение природного газа биогазом. В марте 2013 года в городе Вааса открылась крупнейшая в мире ТЭЦ на биогазе. Станция мощностью 140 МВт работает на древесных отходах.

В северных и центральных областях Финляндии тепловые электростанции работают на биомассе, древесине и торфе. Торф, как правило, используется недалеко от торфоразработок: из-за высокой влажности и низкой теплоты сгорания перевозить его на большие расстояния невыгодно. Часто торф сжигается вместе с биомассой или древесиной, что позволяет оптимизировать процесс горения и снизить выбросы оксидов серы.

Более 70% тепла в системах централизованного теплоснабжения вырабатывается по когенерационному циклу. Энергетические установки, как правило, могут использовать несколько видов топлива, что позволяет повысить надежность теплоснабжения. Существенную роль играет использование для теплоснабжения возобновляемых источников энергии: древесных отходов и биомассы.

## III.

## СЕВЕРНАЯ АМЕРИКА

### *А. Канада*

Канада является второй по величине арктической державой после России. Северные регионы Канады – Юкон, Северо-Западные территории и Нунавут – составляют почти 40% территории страны и по размерам сопоставимы с таким государством, как Индия. Так же как и российский Север, эти регионы богаты полезными ископаемыми, но в силу сурового климата остаются труднодоступными и относительно малонаселенными.

Канада – северное государство. Север является основой нашего национального наследия и самосознания, его освоение жизненно необходимо для нашего будущего», – говорится в подготовленной правительством страны «Северной стратегии». Ежегодно увеличивается финансирование северных территорий.

В 2007 году правительства Юкона, Северо-Западных территорий и Нунавута разработали и утвердили совместную концепцию развития, которая уделяет особое внимание увеличению доли возобновляемой энергетики в этих регионах. «Зависимость от импортного ископаемого топлива ставит нас в невыгодное экономическое положение, все три территории уязвимы перед высокой стоимостью, резкими колебаниями цен и перебоями со снабжением», – указывают авторы концепции. Они обращают внимание и на экологический аспект проблемы, так как сжигание углеводородов ведет к выбросу в атмосферу парниковых газов. В рамках этой политики Юкон, Северо-Западные территории и Нунавут уже

разработали и реализуют планы, направленные на повышение энергоэффективности своих энергосистем и развитие возобновляемых источников – использование энергии воды, солнца, ветра, геотермальных источников.

Гидрогенерация на севере Канады исторически развивалась благодаря федеральным инвестициям и в привязке к проектам по добыче полезных ископаемых. По официальным данным, в Юконе на долю гидрогенерации приходится почти 67%, или 76 МВт, установленной электрической мощности, а на Северо-Западных территориях – порядка 30%, или 54 МВт. В основном это небольшие ГЭС, построенные в середине XX века. Самой крупной из них является ГЭС города Уайтхорс (Юкон) мощностью 40 МВт. Большинство населенных пунктов, снабжаемых от ГЭС, сохраняют дизельные установки в качестве резервных источников энергоснабжения.

Наиболее крупным проектом по развитию гидрогенерации на Канадском Севере стала установка третьего генератора мощностью 7 МВт на ГЭС озера Эйшихик (Юкон). Она была завершена в 2012 году и обошлась в \$13,8 млн при начальной цене проекта \$8,8 млн, что вызвало критику в местной прессе из-за роста конечного тарифа для потребителей.

Годом ранее из экономических соображений и из-за нехватки потребителей был приостановлен крупный проект по расширению ГЭС на реке Талстон (Северо-Западные территории). Несмотря на это, канадцы в целом оптимистично оценивают будущее развития ГЭС на Севере. Энергетики Северо-Западных территорий даже подсчитали, что общий потенциал развития гидрогенерации только в их регионе достигает 11,5 тыс. МВт. При этом в ближайшем будущем прирост будет происходить, скорее всего, за счет мини-ГЭС мощностью менее 1 МВт.

Другим перспективным направлением представляется использование солнечной энергии. Канадский опыт показывает, что на Севере наиболее успешно работают гибридные системы, состоящие из фотоэлектрических панелей с аккумуляторами и небольших газовых или дизельных генераторов. Таким образом, солнечные батареи позволяют сократить количество потребляемого обычными генераторами топлива. Основным ограничением для применения данной технологии на Севере является ее сезонность. Зимой, в условиях полярной ночи и пикового спроса на электричество, солнечная энергия практически недоступна. До недавнего времени более широкому распространению солнечных батарей мешала также высокая стоимость мощности по сравнению с дизельными установками. С развитием технологии снизились и мировые цены, поэтому северные территории Канады активно планируют развитие в этой области.

Крупнейшим проектом солнечной энергетики на Канадском Севере стала установка системы из 258 фотоэлектрических панелей общей мощностью 60,6 кВт в городе Форт-Симпсон, расположенном чуть севернее 61-й параллели. Проект стоимостью \$760 тыс. был завершен в феврале 2012 года.

#### *В. Аляска*

Самый северный штат США – Аляска – находится в сходных с северной Канадой климатических условиях,

поэтому его энергетика во многом похожа на энергосистемы канадских соседей. За исключением городов, подключенных к региональной энергосистеме «Рейлбелт» вдоль железной дороги, большинство населенных пунктов Аляски изолированы от крупных электросетей. Удаленные поселения, как и на севере Канады, используют дизельные генераторы. Зимой топливо хранится в цистернах или в крайнем случае доставляется авиатранспортом. Статистика 2015 года свидетельствует, что больше всего электроэнергии – 303 ГВт/ч – вырабатывается на Аляске с использованием природного газа, на долю гидроэнергетики приходится 102 ГВт/ч, за ней следуют мазут и уголь – примерно по 50 ГВт/ч. Замыкают список возобновляемые источники (помимо ГЭС), которые дают 8 ГВт/ч электроэнергии.

Недавно законодательное собрание штата приняло законы, согласно которым к 2025 году 50% электроэнергии Аляски должно вырабатываться на базе возобновляемых источников. В течение 10 лет за счет мероприятий по энергосбережению планируется сократить потребление электроэнергии на душу населения на 15%. В 2008 году штат создал специальный фонд, который выделяет \$50 млн в год на поддержку возобновляемой энергетики. Приоритет отдается проектам в районах с самой высокой стоимостью электричества и тепла.

Интересной особенностью возобновляемой энергетики Аляски является успешный, хотя и ограниченный опыт использования геотермальных источников. Алеутские острова и побережье Аляски входят в так называемое Тихоокеанское огненное кольцо, где расположено большинство действующих на Земле вулканов. Исследования подтвердили, что на территории штата находится несколько высокотемпературных гидротермальных систем, которые могут послужить нуждам энергетики. Сейчас с помощью геотермальных источников один из курортов не только привлекает туристов, но и обеспечивает отопление и энергоснабжение своих зданий. В разных городах также установлены несколько десятков геотермальных тепловых насосов, которые применяются для обогрева зданий.

Для отопления на Аляске используют не только тепло земли, но и биомассу – дерево, отходы рыбной и деревообрабатывающей промышленности, городские отходы. В последние годы из-за высоких цен на нефть использование дерева стало в США рентабельным не только для обогрева отдельных домохозяйств.

Использование фотоэлектрических батарей в коммунальной энергетике на Аляске пока считают нерентабельным в связи с небольшим количеством солнечных дней в году. С точки зрения энергетического управления Аляски, более перспективным направлением является использование солнечной энергии для обогрева воды. Пилотные проекты в этой области реализуются в городах Ном, Коцебу и МакКинли Вилледж.

Зато ветроэнергетика получила на Аляске широкое распространение и в списке возобновляемых источников энергии занимает второе место после гидрогенерации. Общая установленная мощность ветряков штата – от небольших ветрогенераторов, обеспечивающих электричеством отдельные дома, до турбин мощностью более 1 МВт – в 2012 году достигла 60 МВт. По

природным условиям для ветроэнергетики больше всего подходит западное побережье Аляски. В 2009 году в городе Кадьяк были установлены первые в штате турбины мощностью 1,5 МВт. Сейчас они обеспечивают до 9% его потребностей в электроэнергии. Тогда же ветропарк из 18 турбин появился в городе Ном. Самым крупным проектом по развитию ветроэнергетики на Аляске стало строительство парка из 11 турбин общей мощностью почти 17,6 МВт в районе города Анкоридж. Они подключены к региональной энергосистеме «Рейлбелт». Энергия ветра позволяет ежегодно экономить 500 млн куб. м природного газа; ее достаточно, чтобы обеспечить электричеством около 6 тыс. домов столицы штата.

#### IV. Россия

Энергетическая система Арктики характеризуется наличием множества обособленных энергоузлов, разрозненностью потребителей энергоресурсов и северным завозом органического топлива, ставшим одной из основных проблем населения и администраций арктических регионов. При доле населения арктических регионов менее 2% от общей численности населения России, доля их суммарного потребления электроэнергии составляет 3,6%. В то же время энергоемкость ВВП арктических территорий, рассчитанная как отношение потребленной электроэнергии к объему валового регионального продукта, ниже среднероссийского уровня: 0,028 против 0,032 кВт в час/руб. Но, несмотря на это, потребление первичных энергоресурсов на территории арктических регионов на единицу совокупного валового регионального продукта выше, чем в среднем по Российской Федерации [3].

Существующие виды энергоустановок малой мощности, которые могут рассматриваться для решения энергетических проблем и удовлетворения потребностям развития промышленности арктического региона, можно условно поделить на три группы: малые станции на органическом топливе (конденсационные электростанции (КЭС), тепло электростанции (ТЭЦ), дизельные электростанции), атомные станции малой мощности (АСММ), возобновляемые источники энергии (ветряные электростанции, солнечные электростанции, малые гидроэлектростанции и гибридные энергетические комплексы). При сравнении экономики станций в изолированных энергоузлах во главу ставится себестоимость вырабатываемой электроэнергии (удельные дисконтированные затраты), поскольку именно эта характеристика отражает насколько эффективно тот или иной энергоисточник может применяться в целевом

районе. Стоимость завозного органического топлива, используемая в при расчетах, выбрана равной минимальному уровню для целевых площадок и не учитывает стремительный рост цен на органическое топливо. Таким образом, одними из наиболее перспективных представителей класса энергоустановок малой мощности для арктического региона являются АСММ. Существующие проекты АСММ характеризуются высокой степенью адаптивности их технико-экономических и эксплуатационных характеристик для решения проблем развития малой энергетики, из которых стоит выделить возможность подземного и надводного размещения, а также широкий спектр мощностей существующих проектов АСММ: от нескольких единиц до сотен МВт. Среди основных конкурентных преимуществ АСММ можно выделить: возможность модульной компоновки электростанции, что позволяет создавать станции практически любой установленной мощности, длительная работа без перезагрузки топлива («ядерная батарейка»), транспортабельность, относительно низкая себестоимость вырабатываемой электроэнергии. Поэтому именно АСММ наряду с другими видами малой генерации должны стать основой для решения энергетических проблем арктических регионов и построения на территории России системы региональной малой энергетики

#### V. ВЫВОДЫ

Конечно, возобновляемая энергетика на Севере все еще нуждается в существенной правовой и финансовой поддержке со стороны местной и центральной власти. Проекты в области альтернативной энергетики также требуют сугубо индивидуального подхода, адаптации к нуждам и возможностям отдельных населенных пунктов вплоть до зданий. Такие источники могут быть рентабельными в районах с развитой инфраструктурой и гарантированным потреблением, а также в поселениях с высокими затратами на привозной мазут.

#### Список литературы /References

- [1] Klimenko, V.V., Klimenko, A. V., Tereshin, A. G. Test of Developing LongTerm Forecasts of World Energy Impact on the Earth's Atmosphere // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics* – 2015. – Т. 51. – №2. – С. 138-147.
- [2] National Center for environmental information, 2015 URL: <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov>
- [3] International Energy Agency URL:<http://www.iea.org>