

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова»

# **Энергообеспечение Арктической зоны Российской Федерации**

*Учебно-методическое пособие*

Архангельск  
САФУ  
2019

УДК 620.92/8  
ББК 31.15  
Э61

*Рекомендовано к изданию учебно-методическим советом  
Северного (Арктического) федерального университета  
имени М.В. Ломоносова*

*Авторы:*

А.А. Горяев, доц., канд. техн. наук;  
С.В. Петухов, доц., канд. техн. наук;  
Н.Б. Баланцева, доц., канд. техн. наук;  
С.В. Бутаков, доц., канд. техн. наук

Э61 Энергообеспечение Арктической зоны Российской Федерации [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / А.А. Горяев, С.В. Петухов, Н.Б. Баланцева, С.В. Бутаков; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Электронные текстовые данные. – Архангельск: САФУ, 2019. – 68 с.

ISBN 978-5-261-01368-6

Приведены источники тепловой и электрической энергии, методика расчета потребляемой мощности, варианты заданий, примеры расчета и необходимые справочные данные.

Предназначены для студентов направлений подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» и 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

УДК 620.92/8

ББК 31.15

Издательский дом им. В.Н. Булатова САФУ  
163060, г. Архангельск, ул. Урицкого, д. 56

ISBN 978-5-261-01368-6

© Северный (Арктический)  
федеральный университет  
им. М.В. Ломоносова, 2019

## ВВЕДЕНИЕ

На огромной территории России, в так называемой Арктической зоне (АЗ), где проживает 2,5 млн человек находится около 17000 населённых пунктов, нет централизованного энергоснабжения. Это районы, расположенные севернее 64° с.ш., удалённые районы Сибири и Дальнего Востока, Камчатки и Курильских островов, а также острова Северного Ледовитого океана. Здесь создаётся 15 % ВВП страны и 25 % экспорта РФ, добывается 80 % российского газа, алмазов, 100 % сурьмы, апатитов, редких металлов, 90 % никеля и кобальта, 60 % меди, 35 % рыбы. Запасы сырья арктических недр превышают 30 трлн долларов. В этих районах электроэнергия вырабатывается на дизельных электростанциях, а тепловая энергия производится местными котельными, использующими в качестве топлива уголь, мазут, дизельное топливо, завоз которого в удалённые районы непомерно увеличивает стоимость получаемой энергии. Так, например, доставка топлива в Ненецкий АО в 2009 г. составила от стоимости топлива: дизельного 45–54 %, каменного угля 58–73 %, дров – 50–70 %. Экстремальные природные условия – низкие температуры, полярные день и ночь, магнитные бури, сильные ветра и метели – заставляют в арктических городах и посёлках создавать резервы нефти, угля, продуктов, источников энергии. Продолжительность отопительного сезона в Арктической зоне от 9 до 12 месяцев. В АЗРФ ежегодно завозят 25 тыс. тонн угля за 1000 км, расходуя на это сотни миллионов рублей.

В АЗРФ необходим перевод электроэнергетики на возобновляемые источники энергии и местные виды топлива. Стратегия развития АЗРФ предполагает реализацию крупных проектов. Это новые транспортные коридоры, в т.ч. через Берингов пролив, Северный морской путь, железнодорожный, трубопроводный, автомобильный транспорт, строительство буровых и ледостойких нефтедобывающих платформ и т.д. Всё это потребует надёжного тепло- и энергообеспечения.

Значительные изменения предполагаются ещё в одной критической сфере арктического жизнеобеспечения – малой энергетике. Здесь будут созданы ветропарки на побережье СМП, геотермальные станции, построены новые мини-ТЭЦ, парогазовые и паротурбинные установки. Фундаментом для арктического инновационного процесса станет создаваемая инфраструктура. Её образуют исследовательские университеты (в том числе и САФУ) и колледжи АЗРФ, технопарки, технико-внедренческие зоны и т.д.

Для устойчивого развития Арктики необходимость подготовки собственных кадров безальтернативна. Произойдёт стыковка университетских программ с потребностями арктических мегапроектов.

Безопасность поселений Арктики невозможна без устойчивого тепло-энергообеспечения. Здесь самый трудный случай – обеспечение теплом и энергией сотни децентрализованных потребителей, которые не имеют круглогодичной наземной связи. Нет лучшего места для тестирования новых технологий, развёртывания пилотных проектов для подбора индивидуального инновационного решения по использованию местных видов топлива и возобновляемых источников энергии.

Значительный эффект обеспечит перевод энергоснабжения с дизельных электростанций и котельных на ТЭЦ малой мощности ввиду замещения дорогостоящего дизельного топлива местным углём, более высокого КПД котлов у ТЭЦ малой мощности и совместной выработки тепловой и электрической энергии. Управление этих станций будет автоматизировано. Для энергоснабжения малых сёл будут использованы малые ГЭС на горных реках и ветро-энергетические установки, которые широко применялись в Арктике до 1970-х годов. На полярных станциях и базах действовали около 150 ветровых электростанций мощностью от 1,5 до 18 кВт. В десятках арктических поселений будут развёрнуты пилотные проекты по возобновляемой электроэнергетике для замещения завоза сотен тысяч тонн дизельного топлива в год.

В теплоснабжении арктических поселений станут применяться комбинированные схемы – оснащение дизельных электростанций и газотурбинных, парогазовых установок котлами-утилизаторами для попутного получения тепловой энергии. Малые котельные начнут переводиться на облагороженное твёрдое топливо.

Для устойчивого топливоснабжения малых и средних арктических поселений будут использоваться уголь мелких местных месторождений, нефть, конденсат и газ опытно-промышленных скважин в местах добычи углеводородов.

Модернизация малой энергетики и энергообеспечения арктических сёл потребует подготовить сотен специалистов-энергетиков из местного населения в университетах Арктики.

Энергетика поселений составляет, как правило, небольшую мощность, а обеспечение электро- и теплоснабжением от централизованных сетей требует строительства электрических, тепловых и газовых сетей большой протяжённости, что требует нерациональных капитальных затрат. Так, на прокладку электрических сетей затраты составят не менее 500 тыс. руб./км, газовых – до 250 тыс. руб./км. Потери в электрических сетях от 20 до 30 %, в тепловых сетях до 60 %, плата за подключение более 50 тыс. руб./кВт [1]. Кроме того, рост стоимости электро- и теплоснабжения на углеводородном сырье, их

ограниченность, экологические проблемы, загрязнение окружающей среды и т.д. приводят к ухудшению условий жизни населения. Автономная система работает независимо от сети централизованного энергоснабжения.

Гибридная энергосистема – это использование нескольких источников энергии (микро-ГЭС, дизельные электростанции, ветроустановки, биоэнергетические котлы, мини-ТЭЦ на местных топливах и т.п.).

В ряде стран мира успешно решаются проблемы совместного производства энергии с использованием возобновляемых и традиционных источников энергии.

В Арктической зоне наиболее продуктивны – это энергия ветра, тепловые насосы, малая гидроэнергетика, биоэнергетика при совместном использовании с дизельными электростанциями. Это приводит к значительному сокращению поставок традиционного топлива.

На территории Арктической зоны во всех регионах есть те или иные источники возобновляемой энергии. Это солнечная энергия, энергия ветра, энергия океана и морей, низкопотенциальное тепло, био- и геотермальная энергия. Для обеспечения электро- и теплоснабжением таких регионов на 70–90 %, а то и 100 % с аккумулированием энергии наиболее целесообразно создание комбинированных энергообеспечивающих источников. Для комбинирования энергокомплексов следует подбирать наиболее экономичные источники энергии. Например, солнечная батарея + ветроэнергоустановка (ВЭУ) + аккумуляторная батарея (АБ) + дизельная электростанция (ДЭС) для покрытия дефицита электроэнергии и для подзарядки батарей на период недостаточной выработки электроэнергии от ВЭУ + контроллер + инвертор однофазный или трёхфазный или тепловой насос + ВЭУ + аккумуляторы + контроллер + инвертор + ДЭС. Для энергообеспечения крупных промышленных объектов и городов, потребляющих десятки тысяч кВт, необходимы крупные энергостанции, такие как мегаваттные ветропарки, плавучие атомные электростанции (ПАЭС), конденсационные электростанции (КЭС) и теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) с парогазовыми установками на местном топливе.

Энергоснабжение районов возобновляемой энергетикой необходимо рассчитывать с учётом климатических особенностей и фауны местности. Например, перевод котельных с каменного угля на биотопливо рационален при достаточном количестве в районе древесных отходов. Кроме того, всегда надо учитывать местные ресурсы полезных ископаемых. Из-за низкой энергетической плотности ВИЭ и непостоянства её выработки стоимость энергии, полученной от ВИЭ, как правило, выше тарифа на электроэнергию, полученную от традиционных источников энергии в центральных районах страны. Поэтому конкуренция ВИЭ с традиционными источниками энергии

актуальна именно в децентрализованных районах, удалённых от центральных энергосистем [2].

При внедрении ВИЭ предварительно оценивают необходимые объёмы электро- и теплоснабжения. Определяют приоритетность ВИЭ в данном районе, учитывают социальные и экологические аспекты и определяют экономическую эффективность перевода традиционной энергетики на ВИЭ. Поэтому не всегда экономичен полный отказ от традиционной энергетики. Возможно, что какую-то часть её необходимо оставить. Например, использование ДЭС для подзарядки аккумуляторов или для обеспечения недостатка электроэнергии в период ветрового затишья.

Наибольшую эффективность можно получить от комбинирования различных источников энергии. Для электро- и теплоснабжения могут быть рассмотрены:

- 1) солнечная энергетика;
- 2) микрогидроэлектростанции (МГЭ);
- 3) тепловые насосы (ТН);
- 4) ветроэнергетика (ВЭ);
- 5) котлы для отопления, работающие на древесном топливе;
- 6) газогенераторы;
- 7) парогазовые установки;
- 8) атомная энергия (ПАЭС);
- 9) водородная энергетика;
- 10) аккумуляторы;
- 11) дизельные электростанции «ДЭС» (приложение).

В северной части Арктической зоны – это острова и побережье северных морей, удалённые районы Сибири, Камчатки, и Курильские острова, где высокие среднегодовые скорости ветров, будут превалировать ветроэнергетические установки (ВЭУ). В южной части – биоэнергоустановки и микрогидроэлектростанции. Тепловые насосы применимы во всей Арктической зоне. В северной части Арктической зоны среднегодовая скорость ветра в приземном слое на высоте 10 м равна 6–8 м/с, а с увеличением высоты скорость ветра увеличивается в степенной зависимости. Так, например, в п. Амдерма (НАО) среднегодовая скорость ветра на высоте 10 м – 7,9 м/с, на высоте 30 м – 9,8 м/с, 50 м – 11,9 м/с. При таких среднегодовых скоростях безветрия практически не бывает, а скорости ветра до 3 м/с могут быть до 3 дней в году. Население северной части АЗ в основном проживает в небольших посёлках, в деревянных домах. Помимо посёлков имеются метеорологические станции, маяки, пограничные заставы, военные городки и другие спецобъекты, которым необходима высокая надёжность энергоснабжения. Это может обеспечить внедрение небольших ветроэнергетических уста-

новок с аккумуляторными батареями и ДЭС. Для рыболовецких посёлков уровень надёжности может быть не очень высоким. Здесь можно использовать ветродизельные установки без аккумуляторных батарей. Для военных объектов, навигации и связи источник питания должен быть очень надёжным. В этих условиях можно использовать две-три небольших ВЭУ с вертикальной осью вращения совместно с двумя ДЭС и системой аккумулирования энергии. Таким образом, главным направлением автономного энергоснабжения в условиях Заполярья и Крайнего Севера является гибридная схема: несколько маломощных ветроустановок с ДЭС и аккумуляторными батареями или без них. в северной части АЗ с холодным и полярным климатом имеются районы с богатыми ископаемыми ресурсами и там, как правило, имеются централизованные электрические сети. С целью уменьшения сезонных поставок топлива целесообразно строительство мощных ветропарков с горизонтальной осью вращения и подключения их в общую электросеть. Отопление и ГВС при необходимости можно обеспечивать тепловыми насосами, используя низкопотенциальное тепло Земли, вод озёр или моря, или электродными котлами. В каждом конкретном случае необходимо подготовить ветроэнергетический кадастр, определить потенциальные возможности ВИЭ и затем разработать технический проект по энергообеспечению города или участка. В южных районах АЗ преобладающим источником энергии являются биоресурсы. Это древесное сырьё (опилки, щепа, пеллеты, дрова и т.д.). Вспомогательные источники энергии – это тепловые насосы, микрогидроэлектростанции, ВЭУ, солнечные панели. Плавучая атомная электростанция мощностью до 300 МВт способна обеспечить энергоснабжением и пресной водой значительный прибрежный район на десятки лет.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
Задание на выполнение работы. Предварительные расчеты .....	8
1. Солнечная энергия.....	11
1.1. Основные компоненты солнечной энергетической установки .....	11
1.2. Расчет и подбор системы на солнечных батареях .....	12
1.3. Пример расчета автономной системы электроснабжения .....	16
2. Малая гидроэнергетика.....	18
3. Тепловые насосы .....	21
3.1. Источники низкопотенциальной тепловой энергии .....	23
3.2. Системы отопления тепловыми насосами.....	27
4. Ветроэнергетика .....	30
4.1. Повторяемость скоростей ветра .....	31
4.2. Удельные мощность и энергия ветрового потока.....	33
4.3. Ветроэнергетические ресурсы .....	37
4.4. Равномерность обеспечения потребителей энергией .....	37
4.5. Пример расчета ветроэнергетического кадастра Мезенского района .....	38
5. Котлы для отопления, работающие на древесном топливе .....	45
6. Газогенераторы .....	49
7. Парогазовые установки.....	50
8. Плавучие атомные электростанции (ПАЭС) .....	51
9. Водородная энергетика .....	53
10. Аккумуляторы.....	60