

# Судовая атомная энергетика, как основа построения автономных систем энергоснабжения при освоении арктических территорий

DOI10.24411/2076-6785-2019-10020

**Р.Н. Шульга**к.т.н., ведущий научный сотрудник  
rnsulga@vei.ru**А.Ю. Петров**к.т.н., заместитель директора  
ayupetrov@vei.ru**В.И. Завидей**д.т.н., главный научный сотрудник  
zavideyvi@mail.ru

ВЭИ — филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», Москва, Россия

**Рассмотрена концепция создания систем энергообеспечения прибрежных арктических территорий на основе мобильных ядерных установок. Сформулированы основные требования к подсистемам, удовлетворяющим специфическим климатическим условиям функционирования по надежности энергоснабжения и безопасности. Рассмотрены альтернативные варианты энергообеспечения с применением стационарных и мобильных установок наземного, надводного и подводного базирования.**

**Материалы и методы**

Анализ материалов литературных источников

**Ключевые слова**

атомный ледокол, энергоснабжение, энергоустановка, шина постоянного тока, накопитель электроэнергии

**Характеристики осваиваемых территорий**

Северный морской путь (далее — СМП), также, как и Арктика — это национальный и глобальный проект России в XXI веке, который потребует мобилизации ресурсов страны, освоения новых технологий для достижения главных задач: подъема экономики, повышения благосостояния народа, а также защиты северных рубежей страны, протяженность которых составляет около 23 тыс. км. СМП начинается от пролива между островом Новая Земля и заканчивается в бухте Провидения (Тихий океан) и составляет порядка 5600 км. Маршрут охватывает 5 морей и 10 портов от Мурманска до бухты Провидения с портами Сабетта, Хатанга и другими для транспортировки нефти, сжиженного природного газа СПГ, а также угля и других полезных ископаемых. Карта СМП (рис. 1) наглядно показывает направление потока грузов, что важно для его круглогодичной эксплуатации [1].

Протяженность пути от Санкт-Петербурга до Владивостока по СМП составляет 14 тыс. км, а в обход через южные моря — 23 тыс. км. Время прохода этими маршрутами составят 23 и, соответственно, 45 суток. Таким образом, затраты на транспортировку и фрахт судна сокращаются без малого в два раза. Грузооборот СМП в настоящее время растет, и, если в 2013 г. он составлял 2,8 млн т, то в 2016 г. достиг 6,9 млн т. По оценкам, к 2020 г. грузооборот достигнет 30 млн т, причем 16 млн т из них придется на транспортировку грузов из Ямала. При круглогодичной навигации к 2021 г. ожидается перевозка до 40 млн т, а к 2025 г. — до 75 млн т. По оценкам, объем вывоза СПГ может составить 40 млн т, а газового конденсата — 5 млн т. Себестоимость доставки 1 тыс. т груза

по СМП дешевле на 20—25 долларов за тонну, чем альтернативным путем, что позволяет расширить численность транспортных средств и обустроить инфраструктуру портов. Богатства недр шельфа и арктической зоны России столь значительны, что наряду с задачей их освоения остро стоит проблема защиты северных территорий, которая актуализируется в условиях потепления климата [2].

На рис. 2 показаны лицензионные участки ПАО «НК Роснефть» на шельфе арктической зоны Российской Федерации и других морях, которые дают представление о перспективах освоения СМП только по нефти [3]. Так, только вывоз нефти из Карского моря через Хатангу составит 50 млн т, что потребует использования танкеров водоизмещением по 100 тыс. т для прохода от Обской губы до порта Сабетты.

Западный Приновоземельский лицензионный участок (далее — ЛУ) содержит 1,4 млрд т нефти и 1,8 трлн куб. м газа; Восточный Приновоземельский ЛУ — 130 млн т нефти и 500 млрд куб. м газа. Штокмановское месторождение объемом 4 трлн куб. м газа и 60 млн т газового конденсата является крупнейшим в мире. Павловское рудно-металлическое месторождение на о. Южный архипелага Новая Земля входит в пятерку крупнейших в РФ (принадлежит «Атомредметзолото») и может давать до 70 тыс. т цинкового концентрата в год. Предполагаемая смета затрат при строительстве и создании ГОКа и порта составит примерно 28 млрд руб. в течение 2019–2021 г. Уровень потребляемой электрической мощности составит 40 МВт, численность персонала — до 500 человек, работающих вахтовым методом [4].

Целью настоящей статьи является анализ потребностей в электроэнергии



Рис. 1 — Основные порты Северного морского пути [1]  
Fig. 1 — The main ports of the Northern sea route [1]

инфраструктуры арктического побережья и формирование возможной концепции ее построения с использованием атомных и/или других энергетических установок в структуре системы энергоснабжения прибрежных потребителей.

В самом общем виде структура системы энергоснабжения в условиях Арктики близка к структуре автономных, в том числе атомных энергетических установок, с наличием систем резервного энергоснабжения, накопителями энергии для ее временного хранения, возможности ее доставки и распределения потребителям. Альтернативные варианты энергообеспечения стационарных и мобильных установок наземного, надводного и подводного базирования на СПГ предусматривают использование газовых турбин и дизелей мощностью до 5 МВт, а для установок морского базирования корабельных газовых турбин мощностью до 30 МВт, с применением накопителей электроэнергии, мощность которых зависит от пиковой потребляемой мощности. В качестве накопителей возможно использование металлоплазменных импульсных конденсаторов. Для резервного энергоснабжения предусматривается использование литиевых аккумуляторов и преобразователей напряжения.

Достиженные характеристики систем энергоснабжения атомных ледоколов и их судовой энергетики показывают целесообразность энергоснабжения береговых потребителей с использованием судовых реакторных установок на базе атомных станций малой мощности (далее — АСММ), что позволяет унифицировать и тиражировать энергоустановки. Для Арктики и СМП применение АСММ с шиной постоянного тока и наличием накопителей, по-видимому, является оптимальным решением в части автономности, уменьшения воздействия на окружающую среду продуктов сгорания углеводородов. Важную роль в поддержании эксплуатационной надежности электрического оборудования при малой численности обслуживающего персонала играет наличие системы мониторинга и предупредительного анализа возможных повреждений.

#### Атомные ледоколы

Освоение СМП немислимо без ледокольного флота и только атомные ледоколы могут обеспечить круглогодичную проводку судов, особенно в восточной зоне Арктики. Первый атомный ледокол «Ленин» был построен в 1959 г., прослужил 30 лет с непрерывной эксплуатацией. На ледоколе впервые была осуществлена замена реакторной установки. Затем последовало строительство 6 усовершенствованных ледоколов второго поколения с автономностью хода до 8 месяцев.

К настоящему времени было реализовано два типа судов: «Россия» — с двумя реакторными установками мощностью 75 тыс. л.с. и ледоколы «Таймыр» и «Вайгач», которые имеют по одной реакторной установке, каждая мощностью 40 тыс. л.с., обладающими низкой осадкой и предназначенными для работы в устьях рек.

В 90-х годах прошлого века из 243 атомных подводных лодок (далее — АПЛ) к началу века осталось 50 АПЛ, а 185 были выведены из состава ВМФ. Часть ледоколов были выведены из эксплуатации в связи с сокращением

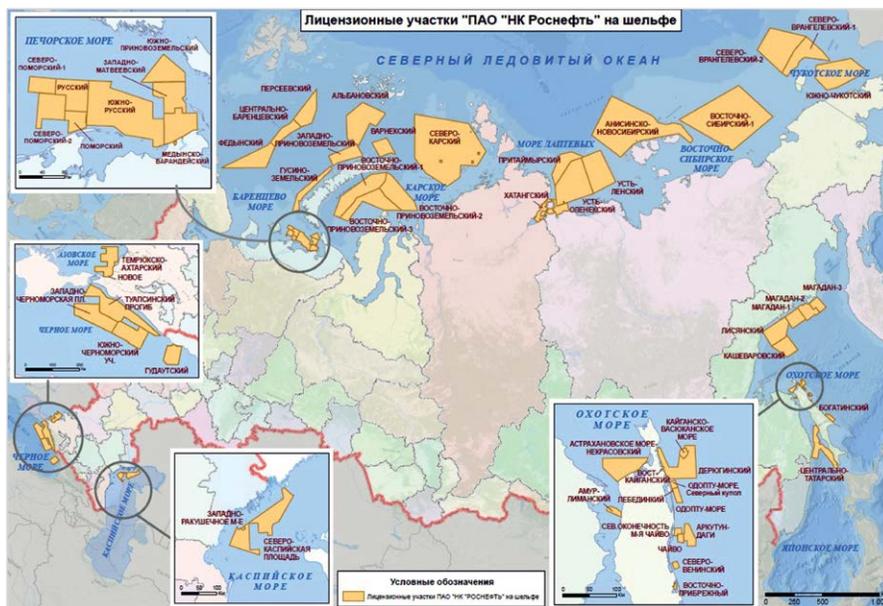


Рис. 2 — Карта лицензионных участков «ПАО «НК Роснефть» на шельфе [4]  
Fig. 2 — Map of license areas Rosneft Oil Company on the shelf

северного завоза. В настоящее время ФГУП «Росатомфлот» располагает 7 атомными судами и осуществляет задачи: северный завоз, реализация проектов Минобороны, заявки ГК «Росатом» (обслуживание Павловского месторождения), реализация проектов нефтегазовых и угольных компаний по проводке их судов. Для реализации указанных задач по проекту 22220 строятся ледоколы ЛК-60 типа «Арктика», «Урал», «Сибирь» (ледоколы 3-го поколения с системами электродвижения) с энергетическими установками мощностью 60 МВт, водоизмещением 33,5 тыс. т, преодолевающие льды толщиной до 3 м. Следующее четвертое поколение будет реализовано на основе ледокола типа «Лидер». По данным ЦКБ «Айсберг», технические характеристики ледокола «Лидер» (проект 10510) водоизмещение — 71380 т, длина — 209 м, ширина — 47,7 м, осадка — 13 м, реакторные установки типа РИТМ-400 тепловой мощностью 315 МВт, мощность на винтах — 120 МВт, (автономность плавания — 8 месяцев), ледопродоимость — 4,3 м на скорости 2 узла, и 2,0 м на скорости 15 узлов. Концепция «открытой кормы» для подобных судов разных классов потенциально позволяет разместить на корме легкоъемные боевые модули. К 2035 году предусматривается использование 8 атомных ледоколов 4-го поколения и свыше 100 танкеров и газозовозов водоизмещением до 100 тыс. т.

#### Реакторные установки малой мощности

По терминологии МАГАТЭ, реакторные установки (далее — РУ) мощностью до 300 МВт относятся к типу малой мощности, которые классифицируются как АСММ. В тоже время в энергетике малыми считаются мощности нагрузок до 30 МВт. Мировой интерес к АСММ обусловлен потребностями большинства стран в источниках малой мощности для выработки электричества, тепла, холода и опреснения воды на основе технологических решений без выброса диоксида углерода с быстрым вводом в эксплуатацию (1 год вместо 5 лет как для крупных АЭС) [5].

Большие массогабаритные показатели разработанных в ГК «Росатом» стационарных

РУ были преодолены впоследствии на судовых и подводных средствах. С 1959 по 2018 гг. преимущественно в «ОКБМ Африкантов» были разработаны новые поколения РУ. Третье поколение — на базе РУ КЛТ-40М и ОК-900А, соответственно, тепловой мощностью 135 и 170 МВт имели срок службы 25 лет и непрерывной работы в течение 8 тыс. часов. 4-е поколение РУ РИТМ-200 с мощностью блоков по 175 МВт должно иметь срок службы 40 лет и время непрерывной работы порядка 26 тыс. часов.

НИКИЭТ разработал РУ «Шельф» тепловой мощностью 6,4 МВт, непрерывной работой 5 тыс. часов в наземном и подводном варианте с ориентировочной стоимостью 10 руб./кВтч. В «ОКБМ Африкантов» и ЦКБ «Рубин» был разработан подводный энергетический комплекс с реакторной установкой «Айсберг» тепловой мощностью 24 МВт, непрерывной работой 8 тыс. часов. Основное назначение последних установок — подводные буровые работы, сейсмозащита, охрана и др. «Инжиниринговая компания инновационных проектов (АО «ИКИП») разработала АСММ мощностью от 0,1 до 1 МВт для буровых с обеспечением связью, бытовыми условиями и другими нуждами [2]. Компания «АКМЭ-Инжиниринг» разработала и строит АСММ со свинцово-висмутовым теплоносителем на быстрых нейтронах СВБР-100 и СВБР-10, предназначенные для гражданского применения и для нужд Арктики.

Промышленное производство СПГ и морские терминалы его погрузки также возможно питать АСММ надводного и подводного базирования. В результате для энергообеспечения Арктики уже сегодня можно использовать более 20 типов АСММ мощностью 0,1; 1; 10; 30 МВт, т.е. весь диапазон малой генерации и малых нагрузок, характерных для Арктики в связи с малочисленностью населения.

На рис. 3 приведен схематический чертеж АСММ «УниTERM» разработкой НИКИЭТ, которая может быть применена в вариантах морского, подводного и сухопутного базирования.

Предполагается, что РУ 4-го поколения на быстрых нейтронах типа СВБР-100 и СВБР-10

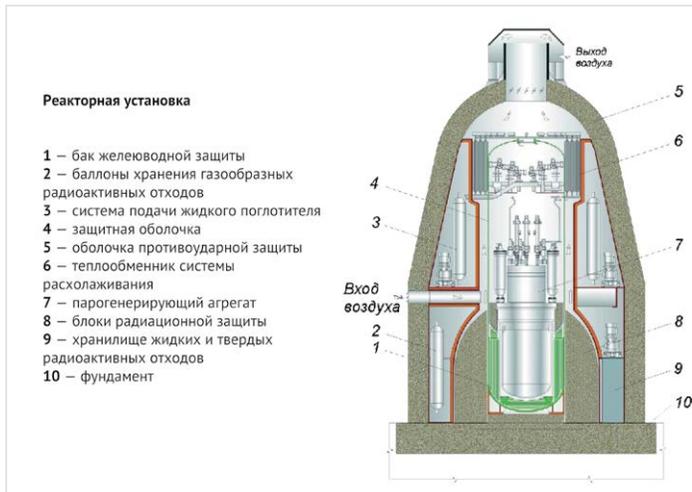


Рис. 3 — Схематический разрез установки АСММ «УниTERM»  
Fig. 3 — Schematic cut NPPLP "Uniterm"

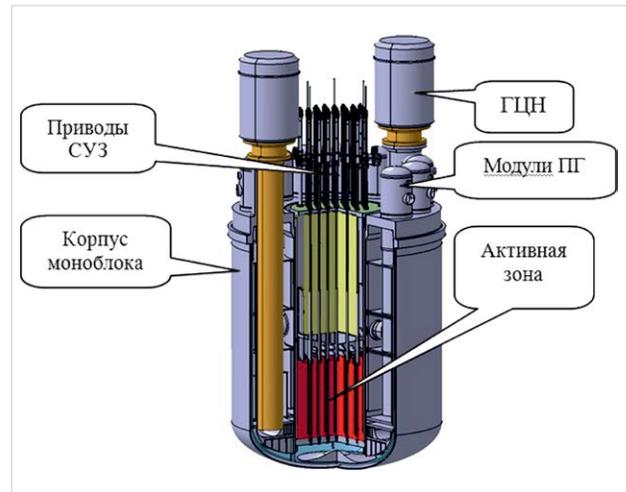


Рис. 4 — Реакторный моноблок СВБР-100 [7]  
Fig. 4 — Reactor bar SVBR-100 [7]

с использованием МОКС топлива смогут решить проблему АСММ различного назначения и, несмотря на большую стоимость сравнительно с водо-водяными РУ, стать базовыми за счет их широкого тиражирования, безопасности эксплуатации и удешевления топлива за счет работы по замкнутому циклу. На рис. 4 приведен схематический чертеж реакторного моноблока СВБР-100 разработки «АКМЭ-Инжиниринг», на котором обозначены: ГЦН — главный циркуляционный насос, ПГ — парогенератор, СУЗ — система управления и защиты.

Характеристики СВБР-100: мощность РУ тепловая — 280 МВт; мощность электрическая — 100 МВт; давление генерируемого насыщенного пара — 7,0 МПа; производительность пара — 580 т/ч.

Теплоноситель первого контура — состав: 44,5% Pb + 55,5% Bi; температура теплоносителя 1 контура, входа/выхода — 340/490 °С; топливо среднего обогащения по U-235, UO<sub>2</sub> — 16,3%; максимальное обогащение по U-235, UO<sub>2</sub> — менее 20%; кампания активной зоны — 50 тыс. эфф. часов; интервал времени между перегрузками (одномоментная перегрузка всего топлива) — 7–8 лет; габариты МБР (диаметр/высота) — 4,53/7,86 м [6].

### Электрические суда и их энергетика

Судовые электроустановки обладают высоким КПД, обеспечивают гибкость и повышенную надежность и, что еще более важно, снижают стоимость оборудования. Простота схемотехники, сокращение числа первичных источников энергии, интеграция, гибкость проектных решений и убедительные коммерческие преимущества делают их перспективными для решения предъявленных кораблестроителями требований. Системы судовых ходовых электроустановок, по данным [8], разделяются на три основных направления, а именно:

- гибридные;
- интегрированные (IEP);
- полностью интегрированные (IFEP).

В настоящее время термины «электрический корабль» и «военный электрический корабль» также обозначают отдельные категории. Их можно идентифицировать следующим образом:

— гибридные установки — это корабельные установки, сходные с фрегатом серии T23,

где применение механического привода сочетается с электрическим приводом;

— IEP-установки, где традиционные источники энергии, используемые на корабле, заменяются на электрические источники. Например, эсминец серии T45, танкеры серии АО и десантные корабли LPD(R);

— IFEP-установки, где концепция электрических источников энергии развивается дальше путем применения силовой электроники и элементов накопления электроэнергии, что дает дополнительные преимущества по стоимости и оперативным характеристикам;

— «электрический корабль» объединяет в себе усовершенствованные первичные источники энергии и развитую систему электрификации, встроенную в архитектуру IFEP;

— «военный электрический корабль» — корабль, в котором системы наведения и мощное вооружение объединены в единое целое для использования всех возможностей мощных систем энергоснабжения [9–11].

На рис. 5 приведена структурная схема энергоснабжения электрического корабля среднего класса типа эсминца или ледокола. Принимаются обозначения: ГТУ — газотурбинная установка, В — выпрямитель, И — инвертор, АБ — аккумуляторная батарея, С, СК — конденсаторы, ЛО (КО) — лазерное (кинетическое оружие), САУК — система автоматического управления комплексом.

Силовая установка (СУ) содержит 2 ГТУ каждый мощностью 36 МВт (для эсминца Zumwalt) или по 27 МВт для отечественного эсминца, два дизель-генератора каждый мощностью по 6 МВт, 1–2 батареи конденсаторных накопителей энергии (С, СК) и аккумуляторных батарей (АБ). Источники в виде синхронных генераторов (Г) с постоянными магнитами (возможны и сверхпроводящие двигатель-генераторы) через выпрямители (В) нагружены на униполярную или биполярную сеть постоянного тока высокого напряжения (ВН) — 6 (10) кВ. Система автоматического управления комплекса САУК осуществляет управление и мониторинг агрегатов по шине САУК. Цепи собственных нужд, информационно-вычислительного комплекса могут содержать секционированную шину низкого напряжения (НН) — 0,22–0,4 кВ.

Питание приводов и различных видов оружия осуществляется от шины ВН. Мощность накопителей электроэнергии (НЭЭ) в составе АБ, конденсаторов С и СК выбирается как из условия резервирования СУ, так и с учетом энерговооруженности корабля. Автономность кораблей с ГТУ ограничена запасами топлива, а для ледоколов СМП вместо ГТУ устанавливаются одна или две АСММ с турбогенератором и перегрузкой по топливу через 8 лет. Накопители НЭЭ позволяют осуществить форсировку движения, резервирование по мощности, а для ледоколов — движение на лед.

Проблема формирования автономных локальных систем энергоснабжения освещена в [12, 13]. Подобная схема энергоснабжения может и должна применяться для мобильной, а также стационарной системы автономного энергоснабжения (САЭ) надводного, подводного и наземного базирования при мощности единичного модуля электропитания 6 МВт и напряжении 6 кВ. Газотурбинный агрегат ГТА-6/8 РМ производства НПО «Сатурн» (г. Рыбинск) на базе авиационного двигателя Д30КУ/КП развивает электрическую мощность 6 МВт при расходе дизельного топлива 2263 кг/час или газа — 1950 кг/час.

Источником энергии корабля может служить ГТУ необходимой мощности. Так, при общей мощности ГТУ 27 МВт, уровень электрической мощности составит 12,65 МВт с КПД 28,5%. Назначенный ресурс ГТУ составляет 120 тыс. часов, срок службы — 20 лет. Удельная мощность авиационных газовых турбин составляет свыше 1000 Вт/кг, а дизель-генераторов — примерно на порядок ниже. В качестве ядерного источника ледокольной энергоустановки может использоваться реактор СВБР-100, также, как и для питания береговых потребителей, например, на ПАТЭС «Академик Ломоносов» в виде плавучего или подводного энергоблока.

Перспективным направлением в системе транспортировки электрической энергии является применение линий постоянного тока, которые легко сопрягаются с накопителями электрической энергии, а также с широким применением систем мониторинга и дистанционного управления электрическим оборудованием [14, 15].

Номинальная мощность АБ определяется резервированием энергоснабжения и

форсировкой приводов собственных нужд и движения. В качестве основных типов АБ предполагается использование литиевых батарей для мобильных комплексов. Для стационарных установок по-прежнему целесообразно применять никель-кадмиевые батареи. Литиевые элементы — самые легкие, имеют номинальное напряжение 3,6 В, удельную энергоёмкость 240 Вт•ч/кг, число циклов «заряд-разряд» — 600, диапазон температур —  $-20 \div +60$  °С. Никель-кадмиевые элементы имеют номинальное напряжение 1,35 В, удельную энергоёмкость — 45–60 Вт•ч/кг, число циклов «заряд-разряд» — 1000–1500, диапазон температур  $-50 \div +40$  °С, срок службы — 20–25 лет, хранить их можно про запас.

В качестве накопителей энергии целесообразно использовать конденсаторы с удельной энергии до 0,3 Дж/ч, низкой индуктивностью и внутренним сопротивлением. Подобные конденсаторы разработаны на напряжение 5–100 кВ с максимальным током 100–300 кА с числом циклов  $60 \div 120$  тыс. Перспективно применение конденсаторов, которые накапливают энергию в пористой наноструктуре, имеют ёмкости от 10 до 12000 Ф и рабочее напряжением 1–15 В. Так, полимерные конденсаторы при напряжении 2,5–2,7 В, обеспечивают импульсные токи 30 А, ёмкость до 2600 Ф, рабочий диапазон температур —  $-30 \div +75$  °С. Их удельная энергоёмкость составляет 10 кДж/кг, удельная мощность — 3 Вт/кг [16].

Показанные на рис. 5 инверторы могут выполняться как на тиристорах, так и в виде преобразователей напряжения по схеме трехуровневого преобразователя напряжения или более перспективного многоуровневого модульного конвертора (далее — ММС). Технология ММС основана на последовательном соединении ячеек с приборами IGBT [17]. Схема ячейки модуля состоит из двух ключей с указанными приборами и двух обратных диодов, между полюсами которых включен конденсатор. Наличие конденсаторов позволяет исключить конденсаторную батарею большой ёмкости на полюсах преобразователя напряжения.

Модульная технология наиболее благоприятна для реверсивной передачи мощности конвертора. Преимущества ММС заключаются в возможности отказа на стороне переменного тока от силового трансформатора, конденсаторов и фильтров. Недостаток состоит в отсутствии гальванической развязки и наличии сложной двухконтурной системы управления.

### Итоги

Анализ основных особенностей Северного морского пути и прибрежных зон показывает целесообразность энергоснабжения береговых потребителей с использованием разработанных и испытанных в условиях Арктики судовых реакторных установок, что позволяет рассматривать их в качестве базовых энергоустановок для унификации и последующего тиражирования особенно в условиях восточной Арктики, где отсутствуют источники СПГ. В условиях западной Арктики, где имеются источники СПГ, другим вариантом энергообеспечения стационарных и мобильных установок наземного, надводного и подводного базирования являются авиационные газовые турбины и дизели мощностью

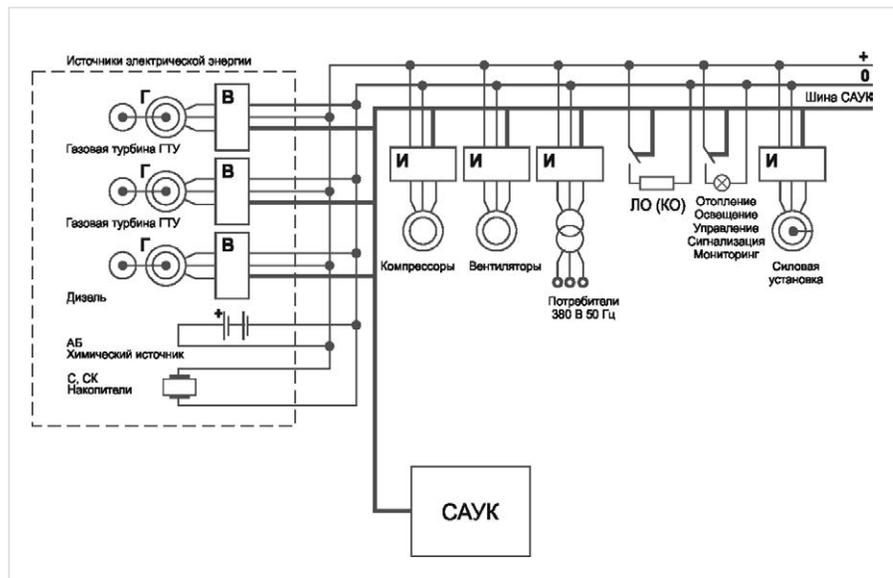


Рис. 5 — Структурная схема энергоснабжения электрического корабля  
Fig. 5 — Block diagram of the supply vessel

5–30 МВт, с применением электрических накопителей энергии. В качестве накопителей предусматривается использование металлопленочных импульсных конденсаторов. Для резервного энергоснабжения предусматривается использование литиевых аккумуляторов и преобразователей напряжения. Рассмотрены различные варианты реализации создания системы электроснабжения с использованием атомных, газогенераторных, дизельных энергетических установок в структуре системы энергоснабжения прибрежных потребителей.

Для рассмотренных прибрежных условий и транспортировки энергии в береговых зонах, возможно применение линий постоянного тока, которые легко сопрягаются с электрическими накопителями и обеспечивают резервирование электропитания. Применение устройств судовой энергетики на постоянном токе для энергоснабжения платформ, ГОКов, поселков и др. объектов в Арктике позволит существенно удешевить и улучшить питание потребителей.

Важными элементами системы энергоснабжения являются цифровая САУК с системой мониторинга, в первую очередь, наиболее ответственных элементов в виде электрических машин и накопителей электроэнергии.

### Выводы

Анализ основных особенностей северного морского пути, прибрежных зон показывают целесообразность энергоснабжения береговых потребителей с использованием разработанных и испытанных в условиях Арктики судовых реакторных установок. Что позволяет рассматривать их в качестве базовых энергоустановок для унификации и последующего тиражирования. Другие варианты энергообеспечения стационарных и мобильных установок наземного, надводного и подводного базирования могут предусматривать использование авиационных газовых турбин мощностью (5–30) МВт, с применением электрических накопителей энергии. В качестве накопителей предусматривается использование металлопленочных импульсных конденсаторов. Для резервного

энергоснабжения предусматривается использование литиевых аккумуляторов и преобразователей напряжения.

Для рассмотренных прибрежных условий и транспортировки энергии в береговых зонах, целесообразно применение линий постоянного тока легко сопрягаемых с электрическими накопителями и обеспечивающих резервирование электропитания. Для систем электроснабжения в экстремальных климатических условиях использование систем мониторинга работоспособности электрического оборудования является безальтернативным.

### Литература

1. Карта Севморпути. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.nemiga.info/rossiya/severnny\\_morskoy\\_put.htm](http://www.nemiga.info/rossiya/severnny_morskoy_put.htm)
2. Малая энергетика для Арктики. СОНАР-2050. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.sonar2050.org/publications/malaya-energetika-dlya-bolshoy-arkiki-pochemu-rf-i-rb-doljny-delat-malые-aes-vmeste/>
3. Шельфовые проекты ПАО «НК «Роснефть». [Электронный ресурс]. <https://www.rosneft.ru/business/Upstream/offshore/>,
4. Б. Марцинкевич. Мегaproекты в Арктике без прямого участия государства невозможны. Геоэнергетика.ru. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://geoenergetics.ru/2017/10/04/megaproektyv-arkike-bez-pryamogo-uchastiya-gosudarstva-nevozmozhny/>
5. Атомные станции малой мощности: новое направление развития энергетики. Т.2. Под ред. акад. РАН А.А. Саркисова. М.: Академ-Принт, 2015. 387 с.
6. Комлев О.Г., Тошинский Г.И., Тормышев И.В. СВБР-100: Потенциальная энергия теплоносителя и безопасность АЭС // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. 2012. №1.
8. G.T. Little, S.S.Yong, J.M. Newell. Военно-морской корабль 7 поколения, пер. и ред. Местергази В.А. ВЗИ-Принт, 2017.
9. Боровиков П.В., Шульга Р.Н. Энергообеспечение нетрадиционных направленных видов наступательного оружия. М.: РАРАН, 2017.

10. J. Michael Cole. Five Futuristic Weapons That Could Change Warfare. The National Interest, 1 November 2014. Available at: <https://nationalinterest.org/commentary/five-futuristic-weapons-could-change-warfare-9866>
11. Лазерное оружие — реалии нашего времени. ИА "Оружие России". [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.arms-expo.ru/news/archive/lazernoe-oruzhie---realii-nashego-vremeni02-09-2009-04-26-00>
12. Шульга Р.Н. Автономное энергоснабжение с использованием разнородной генерации // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. 2015. №3. С. 7–11.
13. Шульга Р.Н. К вопросу о возможности создания гибридной энергораспределительной сети с накоплением электроэнергии // Новое в российской электроэнергетике. 2015. №12. С. 29–44.
14. Шульга Р.Н., Стальков П. М. Современные технологии электроэнергетики // Новости электротехники. 2019. №1.
15. Шульга Р.Н., Лавринович В.А., Энергетическое обеспечение Арктики // Энергосбережение и водоподготовка. 2019. №2.
16. Каталог ЗАО «Русская технологическая группа 2». 2012. 29 с.
17. Шульга Р.Н. Характеристики накопителей и статических преобразователей // Энергосбережение и водоподготовка. 2016. №1. С. 68–76.

## Naval nuclear power as the basis for constructing autonomous energy systems with the development of the Arctic territories

### Authors

**Robert N. Shulga** — Ph.D., senior researcher; [rshulga@vei.ru](mailto:rshulga@vei.ru)  
**Aleksandr Yu. Petrov** — Ph.D., deputy director; [ayupetrov@vei.ru](mailto:ayupetrov@vei.ru)  
**Viktor I. Zavidij** — Sc.D., chief researcher; [zavidievi@mail.ru](mailto:zavidievi@mail.ru)

VEI — branch of FSUE VNIITF, Moscow, Russian Federation

### Abstract

An analysis of modern methods and tools for monitoring and diagnosis of technical condition of asynchronous and synchronous motors and advice on choosing the best monitoring systems for use on existing and disabled equipment. It is shown that, based on measurements of basic parameters of complex by a single system of control, maintenance and repair of electrical machines, produced on their technical condition with no planned outages, and intrusion prevention tests.

### Materials and methods

Analysis of the literary sources

### Keywords

atomic icebreaker, electricity, power plant, DC bus power drive

### Conclusions

Conclusions the analysis of the basic features of the Northern sea route, coastal zones show the usefulness of energy onshore consumers, using the developed and tested in Arctic conditions of the ship's reactor installations. That allows you to treat them as a basic power plants for unification and subsequent replication. Other energy options of stationary and mobile units of land, surface and

submarine launched may involve the use of aviation gas turbines (5–30) Mw, using electrical energy storage units. As the drives use metal-film pulse capacitors. For the backup power supply provides for the use of lithium batteries and voltage converters.

For the considered coastal conditions and energy transport in coastal areas, it is advisable to use DC lines are easily matched with electric drives and providing backup power. For power supply systems in extreme climatic conditions using health monitoring systems, electrical equipment is indisputable.

### References

1. *Karta Sevморпути* [Map of the Northern Sea Route]. Available at: [www.nemiga.info/rossiya/severnoy\\_morskoy\\_put.htm](http://www.nemiga.info/rossiya/severnoy_morskoy_put.htm)
2. *Malaya energetika dlya Arktiki* [Small-scale power generation for the Arctic]. SONAR-2050. Available at: <https://www.sonar2050.org/publications/malaya-energetika-dlya-bolshoy-arktiki-pochemu-rf-i-rb-doljniy-delat-malye-aes-vmeste/>
3. *Shel'fovye proekty PAO «NK «Rosneft»* [Rosneft Oil Company offshore projects]. Available at: <https://www.rosneft.ru/business/Upstream/offshore/>
4. B. Martsinkevich. *Megaproekty v Arktike bez pryamogo uchastiya gosudarstva nevozmozhny*. [Megaprojects in the Arctic without direct participation of the State is not possible]. *Geoenergetika.ru* Available at: <http://geoenergetics.ru/2017/10/04/megaproekty-v-arktike-bez-pryamogo-uchastiya-gosudarstva-nevozmozhny/>
5. *Atomnye stantsii maloy moshchnosti: novoe napravlenie razvitiya energetiki* [Low-power Nuclear Power Plants – a New Line in the Development of Power Systems]. V.2. Ed. by Acad. A. Sarkisov. M.: Academ-Print, 2015, 387 p.
6. Komlev O.G., Toshinskiy G.I., Tormyshev I.V. SVBR-100: *Potentsial'naya energiya teplonositelya i bezopasnost' AES* [SVBR-100: potential energy the coolant and NPP safety]. *Bezopasnost' yadernykh tekhnologii i okruzhayushchey sredy*, 2012, issue 1.
8. G.T. Little, S.S.Yong, J.M. Newell. *Voennomorskoy korabl' 7 pokoleniya* [Navy 7 generation ship lane]. Ed. Mestergazi V.A. VEI-print, 2017.
9. Borovikov P.V., Shul'ga R.N. *Energoobespechenie netraditsionnykh napravleniy vidov nastupatel'nogo oruzhiya* [Innovative Energy directional offensive weapons]. M.: RARAN, 2017.
10. J. Michael Cole. Five Futuristic Weapons That Could Change Warfare. The National Interest, 1 November 2014. Available at: <https://nationalinterest.org/commentary/five-futuristic-weapons-could-change-warfare-9866>
11. Лазерное оружие — реалии нашего времени [Laser Weapons-the realities of the present time]. ИА "Оружие России". Available at: <http://www.arms-expo.ru/news/archive/lazernoe-oruzhie---realii-nashego-vremeni02-09-2009-04-26-00>
12. Шульга Р.Н. Автономное энергоснабжение с использованием разнородной генерации // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. 2015. №3. С. 7–11.
13. Шульга Р.Н. К вопросу о возможности создания гибридной энергораспределительной сети с накоплением электроэнергии [To the question about the possibility of creating a hybrid of power distribution network with electrical energy], *Novoe v rossiyskoy elektroenergetike*, 2015, issue 12, pp. 29–44.
14. Шульга Р.Н., Стальков П. М. *Sovremennye tekhnologii elektroenergetiki* [Modern technologies of electric power]. *Electrical Engineering News*, 2019, issue 1.
15. Шульга Р.Н., Лавринович В.А., *Energeticheskoe obespechenie Arktiki* [Arctic energy supply]. *Energy conservation and water treatment*, 2019, issue 2.
16. Catalogue of ЗАО "Russian technology group 2", 2012, 29 p.
17. Шульга Р.Н. *Kharakteristiki nakopiteley i staticheskikh preobrazovateley* [Characteristics drives and static converters]. *Energy conservation and water treatment*, 2016, issue 1, pp. 68–76.