

## Перспективная отечественная главная турбоэлектрическая установка ледокола

АДАЛЕВ А.С., БУЛГАКОВ С.А., КИБАРДИН А.С., КУЧИНСКИЙ В.Г., СОЙКИН В.Ф.

*Представлена перспективная главная турбоэлектрическая установка атомного ледокола, показан состав ее электротехнического оборудования. Проведено сравнение основных показателей электротехнического оборудования установки с аналогом. Отмечены основные особенности работы разработанной турбоэлектрической установки и ее достоинства, главным из которых является возможность сокращения массы оборудования на 600 т и объема в 3–4 раза.*

**Ключевые слова:** система электродвижения, турбоэлектрическая установка ледокола, гребные двигатели, электрогенераторы с постоянными магнитами

Перспективный двухсодочный атомный ледокол проекта 22220 предназначен для работы как в открытом море, так и в устьях рек. Обеспечение уверенного плавания в мелководных реках заставляет снижать водоизмещение ледокола до минимально возможного. Это, в свою очередь, вынуждает при выборе основного оборудования для ледокола обращать особое внимание на массогабаритные показатели. Среди оборудования ледокола большой массой обладает главная турбоэлектрическая установка (ГТУ), включающая две паровые турбины, два электрогенератора по 37 МВт, распределительное устройство и три гребных двигателя по 20 МВт.

Первоначально в проекте ледокола предполагалось использовать оборудование фирмы «Converteam». В соответствии с этим предложением масса только электрогенераторов и гребных двигателей превышала 1000 т. Впоследствии заказ был передан в концерн «Русэлпром», который взялся поставить подобное оборудование примерно с такими же массогабаритными параметрами. Следует отметить, что в настоящее время в России существуют научно-технические разработки, выполненные в ОАО «НПО «Русский Электропривод», которые позволяют создать необходимое оборудование с существенно меньшими массогабаритными показателями и сэкономить порядка 600 т водоизмещения судна. Стоимость изготовления этого оборудования также может быть снижена.

Было проведено сравнение основных показателей электротехнического оборудования главной турбоэлектрической установки проекта ледокола с аналогом (см. таблицу).

Основные изменения в составе ГТУ по сравнению с оборудованием «Converteam» состоят в том, что изменены типы генераторов, гребных двигателей, схема и оборудование распределительного устройства.

Параметр	Converteam	ОАО «НПО «Русский Электропривод»
Электрогенератор		
Тип	синхронный, трехфазный	синхронный, шестифазный
Мощность	37 МВт	37 МВт
Частота вращения	3000 об/мин	3000 об/мин
Напряжение	10,5 кВ, 50 Гц	11 кВ, 300 Гц
КПД	97,5%	98%
Возбуждение	электромагнитное, от возбудителя на валу	от постоянных магнитов
Габариты	6,7' 4,5' 4 м	6,0' 2,2' 2,8 м
Масса	88 т	75 т
Электродвигатель		
Тип	асинхронный, сдвоенный	вентильный, многофазный, с постоянными магнитами
Мощность	2x10 МВт	20 МВт
Частота вращения	165 об/мин	165 об/мин
Питание	6/3 кВ, через преобразователь частоты	3 кВ, через преобразователь частоты
Габариты	8,1' 7,1' 5,6 м	5,1' 3,9' 4,7
Масса	280 т	135 т
Электротехническое оборудование системы ГТУ в целом		
Масса	~1500 т	~900 т

В состав генераторной установки входят:  
два генератора мощностью 37 МВт каждый;  
блоки генераторных защитных выключателей;  
блоки преобразователей с согласующими понижающими трансформаторами (50 Гц) для питания собственных нужд и нагнетательных насосов;  
сетевые понижающие трансформаторы 11/3 кВ (300 Гц) для питания преобразователей частоты гребных двигателей;

силовая коммутационная аппаратура.

В качестве генераторов использованы два шестифазных синхронных генератора с возбуждением от постоянных магнитов (ЭГПМ-В-37500-3000).

Основные достоинства предлагаемой генераторной установки:

малые габариты и масса;

повышенная частота выходного напряжения, позволяющая уменьшить массу сетевых трансформаторов;

отсутствие каких-либо подводов электроэнергии к вращающемуся ротору, что повышает надежность машины.

Особенность предлагаемой генераторной установки — отсутствие возможности регулирования потока возбуждения генератора, что при снижении нагрузки приводит к увеличению напряжения на выходе генератора до 16 кВ. Данный факт необходимо учитывать при выборе класса полупроводниковых приборов и изоляции трансформаторов.

В состав системы электродвижения входят:

три гребных двигателя с возбуждением от постоянных магнитов (ГЭД-В-20000-165);

три преобразователя частоты, каждый из которых включает четыре идентичных канала;

12 защитных трехфазных вакуумных выключателей.

Гребные двигатели выполнены на базе многофазных двигателей с возбуждением от постоянных магнитов и обеспечивают все режимы работы в соответствии с техническими требованиями.

Преобразователи частоты, обеспечивающие работу гребного двигателя, с целью повышения КПД и надежности системы электродвижения выполнены в основном на базе тиристоров.

Основные достоинства предлагаемой системы электродвижения:

малые габариты и масса;

возможность создания максимального момента на валу (даже при нулевом числе оборотов) без превышения значений номинального тока;

плавные пусковые и реверсивные характеристики;

повышенная надежность за счет большого числа независимых звезд и их каналов питания;

отсутствие каких-либо подводов электроэнергии к вращающемуся ротору, что также повышает надежность машины.

Схема распределительного устройства выполнена таким образом, чтобы обеспечить максимальное резервирование работы основного электротехнического оборудования при нештатных режимах работы. Основные коммутационные и защитные аппараты в распределительном устройстве выполнены на базе вакуумных выключателей переменного тока. Масса применяемых силовых понижающих трансформаторов существенно уменьшена за счет работы на повышенной частоте (300 Гц). Стабилизацию напряжения у потребителей и требуемую частоту сети (50 Гц) обеспечивают блоки преобразователей для питания собственных нужд. Переход на требуемый уровень напряжения обеспечивается согласующими трансформаторами.

Стабилизации питающего напряжения преобразователей частоты гребных двигателей не требуется. Для согласования уровня напряжения и обеспечения гальванической развязки цепей питания гребных двигателей используются сетевые понижающие трансформаторы.

Главное достоинство предлагаемой установки — возможность существенного уменьшения массы оборудования (примерно на 600 т) и объема (в 3–4 раза), что представляется весьма важным обстоятельством для данного проекта судна. Это позволит значительно снизить стоимость оборудования, а общий экономический эффект при его использовании с учетом возможной модернизации проекта ледокола для последующих заказов окупит затраты на создание первых опытно-поставочных образцов установки.

[26.03.15]

*Авторы: Адалев Алексей Сергеевич окончил электромеханический факультет Санкт-Петербургского государственного политехнического университета (СПбГПУ) в 1998 г. В 2001 г. защитил кандидатскую диссертацию в СПбГПУ. Доцент кафедры теоретических основ электротехники СПбГПУ, начальник расчетного сектора отдела по разработке электроприводов ОАО «НПО «Русский Электропривод».*

*Булгаков Сергей Алексеевич окончил электромеханический факультет Ленинградского политехнического института ЛПИ (ныне Санкт-Петербургский государственный политехнический университет) в 1979 г. Заместитель генерального директора ОАО «НПО «Русский Электропривод».*

*Кибардин Алексей Сергеевич окончил электромеханический факультет ЛПИ (СПбГПУ) в 1972 г. Начальник отдела по разработке электроприводов ОАО «НПО «Русский Электропривод».*

**Кучинский Владимир Георгиевич** окончил электро-механический факультет ЛПИ (СПбГПУ) в 1972 г. В 1994 г. защитил докторскую диссертацию в СПбГПУ. Профессор кафедры электротехники и электроэнергетики СПбГПУ, генеральный директор ОАО «НПО «Русский Электропривод».

**Соикин Владимир Федорович** окончил Ленинградский механический институт в 1978 г. Начальник проектно-конструкторского отдела ОАО «НПО «Русский Электропривод».

*Elektrichestvo (Electricity), 2015, No. 7, pp. 67–51.*

## A Prospective Russian Main Turboelectric Set for an Icebreaker

A.S. ADALEV, S.A. BULGAKOV, A.S. KIBARDIN, V.G. KUCHINSKII, and V.F. SOIKIN

*A prospective main turboelectric set for a nuclear-powered icebreaker is presented, and the composition of its electrical equipment is shown. The basic indicators of the set's electrical equipment are compared with its analog. The basic specific features relating to operation of the developed turboelectric set and its advantages are pointed out, the main of which are the possibilities of reducing the equipment weight by 600 t and its volume by a factor of 3–4.*

*Key words: electric propulsion system, icebreaker turboelectric set, propulsion motors, permanent-magnet electric generators*

*Authors: Adalev Aleksei Sergeevich (St. Petersburg, Russia) – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor at the St. Petersburg State Polytechnic University (SPbSPU), Head of the Department, JSC «Scientific Production Association (SPA) «Russkii Elektroprivod».*

*Bulgakov Sergei Alekseyevich (St. Petersburg, Russia) – Deputy General director, JSC «SPA «Russkii Elektroprivod».*

*Kibardin Aleksei Sergeevich (St. Petersburg, Russia) – Head of the Department, JSC «SPA «Russkii Elektroprivod».*

*Kuchinskii Vladimir Georgiyevich (St. Petersburg, Russia) – Dr. Sci. (Eng.), Professor at the SPbSPU, General director, JSC «SPA «Russkii Elektroprivod».*

*Soikin Vladimir Fedorovich (St. Petersburg, Russia) – Head of the Department, JSC «SPA «Russkii Elektroprivod».*

\* \* \*

### **Зарубежная подписка**

на журнал «Электричество»  
оформляется через фирмы-партнеры ЗАО «МК-Периодика» или непосредственно  
в ЗАО «МК-Периодика» по адресу:

Россия, 111524 Москва, Электродная ул., 10, стр. 3

ЗАО «МК-Периодика»;

тел. (495) 672-70-12; факс (495) 306-37-57

E-mail: [info@periodicals.ru](mailto:info@periodicals.ru)

Internet: <http://www.periodicals.ru>

To effect subscription it is necessary to address to one of the partners of JSC «MK-Periodica» in your country or to JSC «MK-Periodica» directly.

Address: Russia, 111524 Moscow; 10, str.3, Elektrodnyaya ul.

JSC «MK-Periodica»

Tel.: (495) 672-70-12; fax (495) 306-37-57

E-mail: [info@periodicals.ru](mailto:info@periodicals.ru)

Internet: <http://www.periodicals.org>