

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Амурский государственный университет»
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

ДОКЛАД

На тему: «Анализ электроэнергетических показателей ледоколов разного
типа»

Выполнил:

Студент группы № 942-об2

Сиянов Р.А.

Проверил:

Старший преподаватель

Карпова Т.В.

Благовещенск 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕДОКОЛА «АРТИКА».....	4
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ЛЕДОКОЛА.....	5
ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГЭУ.....	8
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕДОКОЛА «ЕРМАК».....	11
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ЛЕДОКОЛА.....	12
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	14
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	15

ВВЕДЕНИЕ

Россия единственная в мире обладает атомным ледокольным флотом, призванный решать задачи обеспечения национального присутствия в Арктике. Освоение Крайнего Севера началось с появлением данной техники.

Атомный ледокол является судном с ядерной силовой установкой, сконструированным для плавания во льдах и Северных морских путей. В этот путь входит Баренцево, Печерское, Карское, Восточно-Сибирское море и Берингов пролив. На данный момент 7 ледоколов находятся в строю. Все атомные ледоколы имеют электрогенераторы и электродвигатели для осуществления электрической передачи мощности на гребные винты судна. В рассмотрение возьмем ледокол «Арктика», который стал первым надводным судном, достигшим Северного полюса в 1977 году. В качестве сравнения рассмотрим новейший дизель-электрический ледокол «Ермак».

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕДОКОЛА «АРТИКА»

На рассмотрение ледокол «Арктика» был выбран не случайно. Он являлся самым крупным и мощным в мире судном с 1971 года вплоть до 2016 года. По конструкции, имеет длину 148 м, высоту 17,2 м, внешний корпус толщину 48 мм, внутренний – 25 мм, пространство между ними используется для воды при балансировании. Спереди судно имеет литой стальной нос в 500 мм, дугообразной формы, служащий для облегчения ледокольной проводки. Максимальная толщина льда, которую может пробить, составляет 5 м. Данный класс имеет систему барботажа, которая обеспечивает выпуск пара из форсунок со скоростью $24 \text{ м}^3/\text{с}$ на глубине 9 м для облегчения разрушения льда. Максимальная скорость судна 38,2 км/ч или 20,6 узлов.

Корабль разделен восемью переборками, образующие водонепроницаемые отсеки, выполняющие короткие буксировки при необходимости. Палуба оборудована вертолетной площадкой и ангаром в кормовой части корабля.



Рис. 1. Ледокол класса «Арктика»

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ЛЕДОКОЛА

1. Устройство атомного энергетического комплекса.

В атомном ледоколе «Арктика» находятся два водо-водяных реактора марки ОК-900А мощностью 172 МВт каждый, работа одно из реакторов достаточна для обеспечения корабль энергией, но во время плавания задействованы оба. Они являются частью движущей силы ледокола. За реакторами установлены блочного типа две автономных паро-производящих установки (АППУ), паротурбинная установка, две судовые электростанции и гребная установка. В каждый блок входит 4 циркулярных насоса и парогенератора, компенсаторы объема и другое оборудование. Такие устройства в отдельных корпусах, соединены друг с другом короткими патрубками типа «труба в трубе». Далее установлены 2 турбины и 6 электрогенератора, связанные трехвальной установкой. Принято распределение мощности в отношении 1-1-1, это позволило в гребной электрической установке (ГЭУ) выполнить все три гребных электродвигателя в двухъякорном исполнении и идентичной конструкции вместе с системами возбуждения и управления.

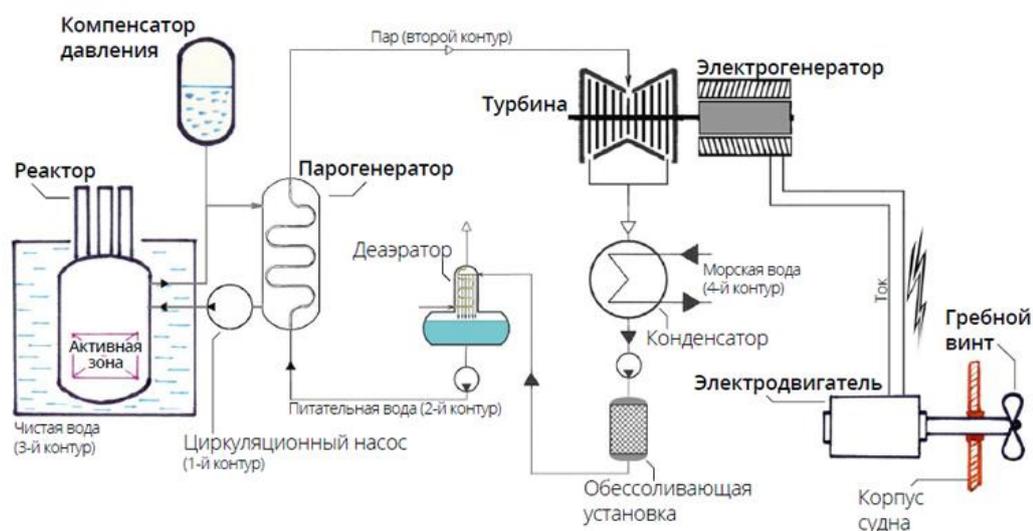


Рис. 2. Принципиальная схема энергетического комплекса ледокола

2. Тепловая схема АППУ.

Тепловая схема АППУ имеет 4 контура: в контуре I вода высокой степени очистки прокачивается через активную зону реактора, нагревается до 317 °С. Из реактора поступает в парогенератор, омывает трубы, внутри которых протекает вода II контура, превращаясь в перегретый пар. Далее отработанная вода циркуляционным насосом снова подается в реактор. Перегретый пар давлением 3 МПа поступает на главные турбины, состоящие из турбогенераторов. Затем пар конденсируется, проходит ионообменную очистку и снова поступает в парогенератор. III контур предназначен для охлаждения оборудования АППУ. Вода в данном контуре имеет незначительную радиоактивность. IV контур служит охладителем третьего контура и пара второго контура, в этом случае теплоноситель – морская вода.

АППУ выполнена и размещена таким образом, чтобы повысить безопасность от облучения экипажа и загрязнения окружающей среды радиоактивными веществами. С данной целью между реактором и окружающей средой были сконструированы защитные барьеры:

- оболочка топливных элементов активной зоны реактора;
- прочные стенки оборудования и трубопроводов I контура;
- защитная оболочка реакторной установки;
- защитное ограждение, границами которого являются продольные и поперечные переборки, второе дно и настил верхней палубы в районе реакторного отсека.

3. Технологическое устройство ГЭУ.

Трехвальные ГЭУ атомных ледоколов являются первыми отечественными установками переменного-постоянного тока, сконструированные по схеме генератор переменного тока и постоянного тока. Данная схема построения позволила создать двухтурбинную гребную установку с уменьшенными массогабаритными характеристиками, увеличенными экономическими показателями и мощностью 55,2 МВт

Использование генераторов переменного тока на любую частоту позволили:

- Соединить напрямую турбину и генератор;
- Спроектировать главную турбину с оптимальными характеристиками;
- Образовать из двух турбин и шести генераторов два турбоагрегата и разместить в одном машинном отделении;
- Уменьшить уровень шума и вибрации;
- Повысить КПД на 2,5 % по сравнению с ГЭУ постоянного тока.

В состав ГЭУ входит следующее электрооборудование:

- Главные турбогенераторы ГТГ1, ГТГ2;
- 6 выпрямительных установок ВУ;
- 3 двухъякорных гребных электродвигателя ГЭД;
- 6 нереверсивных и реверсивных тиристорных возбудителей генераторов ВГ;
- 3 щита электродвижения с регуляторами.

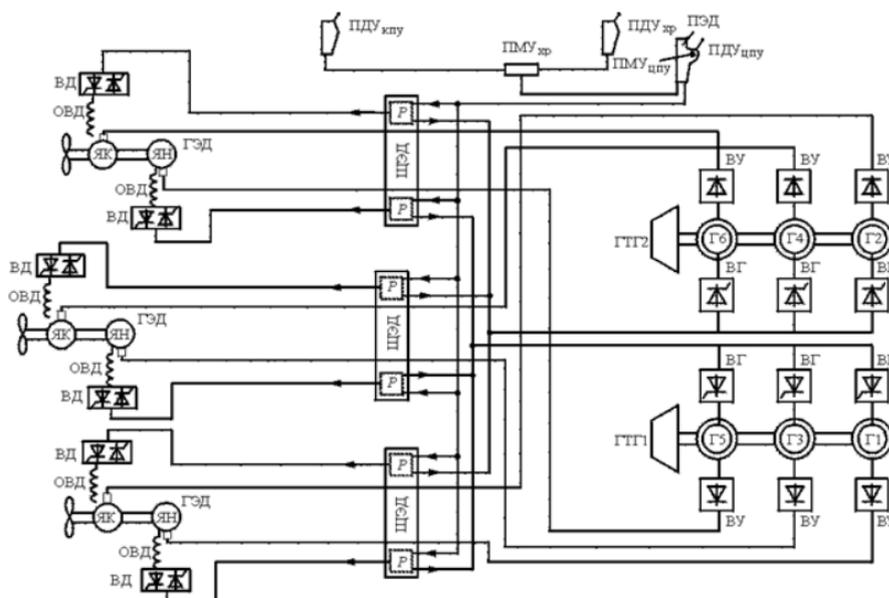


Рис. 3. Функциональная схема ГЭУ

ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГЭУ

1. Главные турбогенераторы.

В качестве генераторов применены генераторы шестифазного тока типа ТК9-4 с одной обмоткой возбуждения и двумя статорными обмотками, имеющие фазовый сдвиг в 27 электрических градусах, с 12 выводами.

Таблица 1. Номинальные данные генератора типа ТК9-4.

S, кВА	P _{ном} , кВт	U, В	I _ф , А	cosφ	f, Гц	n, об/мин	η, %	I, т · м ²
10220	9000	780	3780	0,88	116,7	3500	95,8	0,625

При температуре воды IV контура в 25°C мощность генератора уменьшится и составит 55% от номинальной. Генераторы выполнены с воздушным дутьем по замкнутому контуру через четыре воздухоохладителя, встроенные в корпус статора, с двумя свободными концами вала. В верхней части корпуса генератора предусмотрена площадка под ВУ.

2. Возбудители генераторов.

Для питания обмоток возбуждения генераторов, а также ГЭД применены шесть нереверсивных статических возбудителей генераторов типа ВАКС-150-330, имеющие выходное напряжение 220 В и силу тока 250 А. Они собраны по трехфазной мостовой симметричной схеме.

3. Выпрямительные установки

В качестве ВУ использованы шесть установок типа ВУКЭП-9000-1000. Каждая состоит из двух неуправляемых мостов, подключенных к статорным обмоткам. Выпрямительный мост сконструирован по трехфазной схеме с использованием кремниевых вентилях типа ВКДЛ-200, а также состоит из четырех разъемных блоков: 3 силовых блоков и 1 блок с вентилятором и воздухоохладителем. Каждое плечо выпрямительного моста содержит 18 цепочек, соединенных параллельно, состоящие из двух последовательно подключенных вентилях и быстродействующего предохранителя.

4. Гребные электродвигатели.

Для привода гребных винтов применены три двухъякорных ГЭД постоянного тока типа 2МШ7600-В.

Таблица 2. Номинальные характеристики ГЭД постоянного тока типа 2МШ7600-В.

Р, кВт	n, об/мин	U, В	I, А	η , %	E _в , В	I _в , А
2x8800	130	1000	9200	95,3	190	190
2x8350	165		8700			
2x8100	178		8400			
2x8100	185		8400			

5. Возбудители электродвигателей.

Возбудители каждого якоря ГЭД состоят из двух нереверсивных преобразователей. В одном из них на месте силового трансформатора установлены 4 уравнивательных реостата.

Схема главного тока трех гребных электродвигателей одинакова. Она состоит из двух электрически не связанных между собой контуров, рисунок 4. Носовой якорь ЯН получает питание от турбогенератора, расположенного справа, кормовой якорь получает питание от левого турбогенератора. Такое построение схемы обеспечивает одновременную работу каждой главной турбины на все три ГЭД, даже при выходе из строя одной из турбин во время экспедиции. В этом случае мощность оставшейся турбины достаточна для работы электродвигателей на малых оборотах. Использование турбины на полную мощность достигается включением генератора на оба последовательно соединенных якоря гребного электродвигателя.

Каждый генератор может быть подключен на один или два соединенных последовательно якоря ГЭД. В зависимости от этого существует 5 режимов:

1. Два ГТГ на три ГЭД, то есть шесть генераторов на шесть якорей ГЭД;
2. ГТГ1 на три ГЭД с отдельным соединением и подключением на носовые якоря ЯН;
3. ГТГ1 на три ГЭД с последовательным соединением якорей, то есть три генератора первой турбины на шесть якорей, якоря ГЭД в этом случае соединены последовательно;
4. ГТГ2 на три ГЭД с отдельным соединением и подключением на кормовые якоря ЯК;
5. ГТГ2 на три ГЭД с последовательным соединением якорей, то есть три генератора первой турбины на шесть якорей, якоря ГЭД в этом случае соединены последовательно;

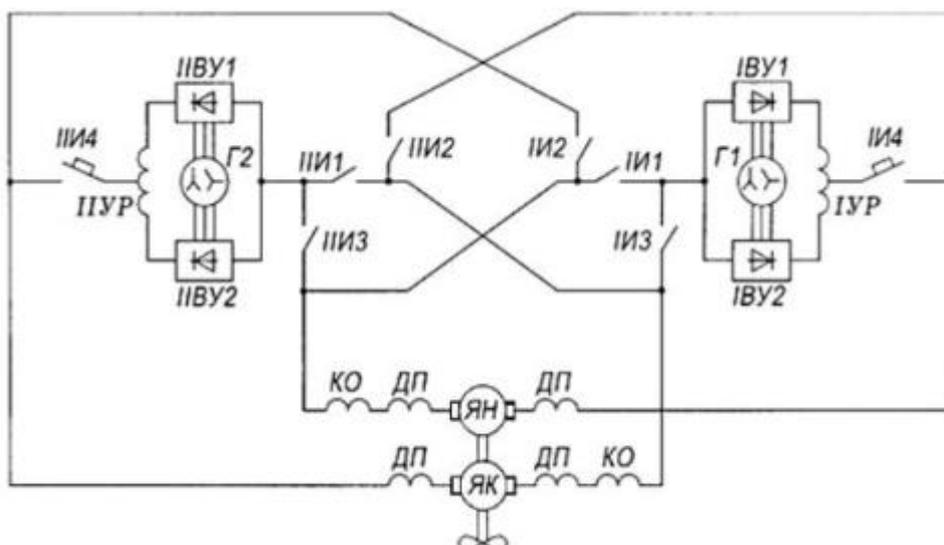


Рис. 4. Принципиальная схема цепи главного тока

Независимо от условий плавания, при нормальной работе, экономический режим будет соответствовать под номером 1, а другие применимы в случае выхода из строя одной турбины.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕДОКОЛА «ЕРМАК»

В период 1974 – 1977 гг. вступили в строй самые мощные дизель-электрические ледоколы. Одним из них был ледокол класса «Ермак». По конструкции имеет длину 135 м, высоту 16,7 м, ширину 26 м. Мощность дизеля 41400 л.с. (30450 кВт), скорость в свободной воде до 21 узлов или 39 км/ч. Имеет также 3 гребных винта и распределение мощности по винтам в соотношении 1:1:1.

Ледокол имеет четыре палубы, две платформы и пятиярусную надстройку. В среднем ярусе надстройки находится рубка. Палуба оборудована взлетно-посадочной площадкой и ангаром 26x18 м.



Рис. 5. Дизельный ледокол «Ермак»

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ЛЕДОКОЛА

В состав установки входит следующее оборудование:

- 9 главных дизель-генераторов, мощностью 4600 л.с. каждый при частоте вращения 380 об/мин и генератора постоянного тока мощностью 3080 кВт напряжением 800 В. Четыре расположены в носовом и пять в кормовом отделении;
- 3 сдвоенных ГЭД постоянного тока, мощностью 2х4410 кВт каждый, напряжением 1200 В.
- 6 вспомогательных дизель-генераторов переменного тока мощностью 1126 кВт и напряжением 400 В при частоте вращения 750 об/мин. Необходимые для питания судовых потребителей.

Схемы главного тока трех гребных электродвигателей аналогичны. Каждый состоит из трех главных генераторов и одного двухъякорного гребного электродвигателя, соединенных переменного-последовательно в один контур, рисунок 6.

При необходимости, главные генераторы при помощи переключающих разъединителей могут быть подключены к различным ГЭД. Генераторы среднего контура могут также подключаться к любому из двух бортовых ГЭД, генераторы бортовых контуров – только к контуру среднего ГЭД.

Включение генераторов производится генераторными выключателями. С их помощью можно производить отключение или подключение генератора во время работы установки, так как контакты работают с перекрытием.

Приборы защиты главных генераторов от тока короткого замыкания смонтированы на шинах главного тока, в случае неисправности, срабатывает защита и отключает соответствующий генераторный выключатель.

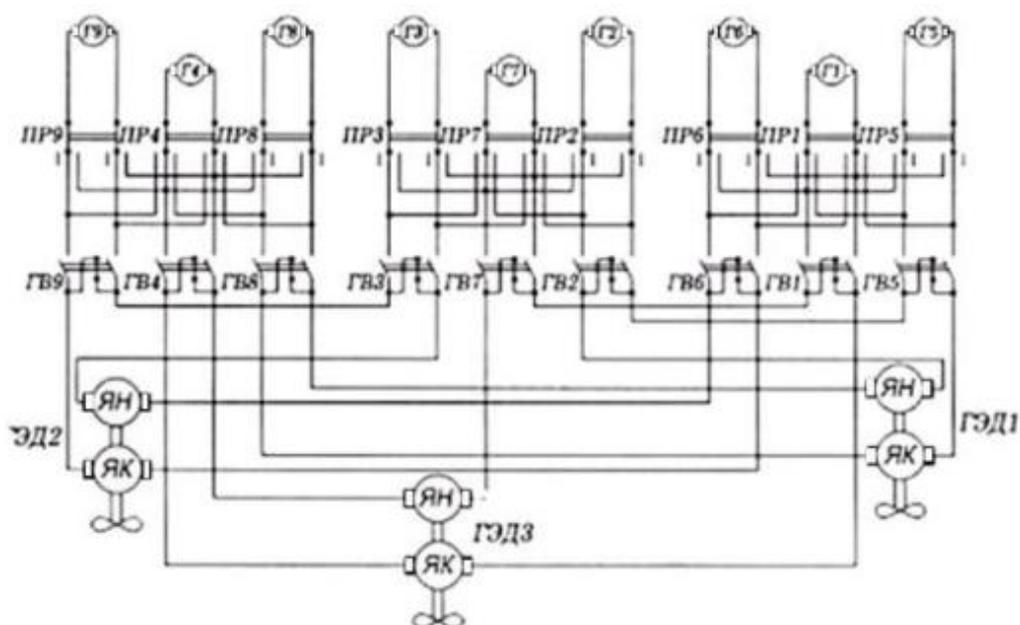


Рис. 6. Принципиальная схема главного тока ГЭУ «Ермак»

Обмотки возбуждения принимают питание от реверсивных тиристорных возбудителей, каждый из которых состоит из двух мостов, включенных встречно-параллельно. На каждые три генератора, питающие один ГЭД, предусмотрены два реверсивных возбудителя: основной и резервный, имеющие отдельные трансформаторы питания для бесперебойной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дизель-электрические ледоколы имеют такую же схему исполнения главного тока ГЭД, что у атомных. В отличие от «Арктика» «Ермак» имеет вспомогательные генераторы, необходимые для питания самого судна, когда как у первого питание осуществляется за счет всех вырабатываемых генераторов.

Атомные ледоколы по мощности превосходят дизельные, а также и по заправке – главное преимущество данных судов, они достаточно длительное время могут обходиться без неё, что позволяет плавать на территориях, где затруднительна или вообще невозможна дозаправка.

Ледоколы класса «Арктика» строились в течение 30 лет, между ними есть отличия как по мощности, так и по проходимости, а также количеством экипажа для эксплуатации судна. Атомные ледоколы — основа российского ледокольного флота.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Устройство двигателя атомного ледокола: [Электронный ресурс]. URL: <https://korallmotors.ru/ustroystvo-dvigatelya-atomnogo-ledokola>. (Дата обращения: 25.02.22).
2. М. М. Кашка, А. А. Смирнов, «Перспективы развития атомного ледокольного флота»: [Электронный ресурс]. URL: [http://www.ibrae.ac.ru/docs/3\(23\)2016_Арктика](http://www.ibrae.ac.ru/docs/3(23)2016_Арктика). (Дата обращения 15.03.22).
3. Андрей Акатов, Юрий Коряковский, «Атомный ключ к Арктике»: [Электронный ресурс]. URL: <https://territoryengineering.ru/infrastrukturnaya-revolyuetsiya/atomnyj-klyuch-k-arktike>. (Дата обращения 17.03.22).
4. ГЭУ атомных ледоколов «Арктика» и типа «Россия»: [Электронный ресурс]. URL: <https://poisk-ru.ru/s2340t10.html>. (Дата обращения 17.03.22).
5. Дизельный ледокол «Ермак» ФГУП «Росморпорт»: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.korabli.eu/galleries/oboi/grazhdanskiesuda/ermak>. (Дата обращения 24.03.22).