Министерство общего и профессионального образования

Российской федерации

Вятский государственный университет

Электротехнический факультет

Кафедра электроэнергетических систем

## Реферат

## на тему

«Криогенная техника в системах энергетики»

По курсу введение в специальность

Разработал студент гр. Э-12 Скулкин Д.В.

## 

Проверила Репкина Н.Г.

Киров 2001

## Содержание

## Введение

## 1. Криогенные и сверхпроводящие линии электропередачи

## 2. Накопители энергии

## 3. Криогенная техника

## 4. Оценка целесообразности

Заключение

###### Введение

Существенное уменьшение электрического сопротивления очень чистых металлов (алюминия, меди, бериллия, натрия) с понижением температуры, главное — сохранение некоторыми сплавами сверхпроводимости в сильных магнитных полях при больших плотностях тока создали принципиальные возможности для применения глубокого холода в новых сферах, из которых наиболее важное значение имеют электротехника и электроника.

Использование сверхпроводников может оказаться экономичным при создании в будущем сверхмощных электрических машин, аппаратов, линии электропередачи (ЛЭП), что представляется весьма актуальной проблемой для перспектив развития электроэнергетики. Цель научных исследований на ближайший период: изыскание новых сверхпроводящих материалов с повышенными критическими параметрами, пониженными потерями в переменных полях и создание на их основе совершенной технологии изготовления проводников (проволочных и ленточных, - пригодных для обмоток машин и аппаратов; композиционных изделий), удешевление сверхпроводящих материалов, определение областей технико-экономической целесообразности применения сверхпроводников, а также разработка конструкции сверхпроводящих машин, аппаратов. ЛЭП и пр.

В самом деле. научно-технический прогресс электротехники (совершенствование магнитных, электроизоляционных материалов, внедрение более совершенных систем охлаждения, более глубокое изучение физической сущности процессов, новые технологические разработки и др.) не коснулся основного электротехнического материала — проводника, который оказался неизменным с присущим ему сопротивлением, ограничивающим допустимую плотность тока и мощность машин и аппаратов в заданных габаритах.». Снижение активного сопротивления проводника, а тем более применение сверхпроводников позволило бы в принципе существенно повысить мощность электрических машин и аппаратов в тех же габаритах, повысить к. п. д. за счет увеличения рабочей индукции и плотности тока.

Внимание ведущих электротехнических фирм привлечено к проблеме использования глубокого холода и явления сверхпроводимости в электротехнике больших мощностей. На XII Международном конгрессе по холоду (1967 г., Мадрид) впервые работала специальная секция по применению сверхпроводимости в электротехнике, а в марте 1969 г. (Лондон) состоялась I Международная конференция на тему: «Низкие температуры и электроэнергетика», где в основном рассматривались перспективы создания криогенных ЛЭП. Обсуждаются два возможных направления работ:

1) применение очень чистых алюминия или меди, охлаждаемых жидким водородом (криогенные\* машины, аппараты, линии электропередачи);

2) применение сверхпроводников, охлаждаемых жидким или сверхкритическим гелием (сверхпроводящие машины, аппараты, линии электропередачи).

## Криогенные и сверхпроводящие линии электропередачи

Возможность применения низких температур в системах передачи электроэнергии на протяжении последних лет привлекает внимание многих исследователей.

Передача и распределение подавляющего количества электроэнергии производится по сетям переменного тока. основным элементом которых являются воздушные линии электропередачи (ЛЭП), функционирующие под высоким напряжением (в России обычно 110.220, 500).

Ввод больш[[1]](#footnote-1)\*их потоков энергии в крупные города и промышленные районы посредством воздушных ЛЭП связан с серьезными осложнениями: необходимо отчуждение значительных участков земли в пригородных жилых районах, создаются помехи авиатранспорту и известная опасность для населения, возникают радиопомехи и т.п.

По этим причинам определилась тенденция к осуществлению так называемых глубоких вводов в города и промышленные районы с помощью высоковольтных подземных кабелей, которые на достаточном удалении от потребителей (5—50 км) стыкуются с воздушной ЛЭП. При больших передаваемых мощностях обычно применяются высоковольтные маслонаполненные кабели: в США максимальная мощность, передаваемая по такому кабелю при напряжении 345 кВ. достигает 500 МВ⋅А, а в Европе— 1000 МВ⋅А. Стоимость самого кабеля, а также его прокладки довольно высоки- в зависимости от режима эксплуатации ЛЭП капитальные затраты при сооружении кабельной линии на напряжение 345 кВ в 10—13 раз выше, чем при сооружении воздушной ЛЭП на те же параметры , поэтому естественны поиски других технических решений, к числу которых относится исследование возможности сооружения криогенных и сверхпроводящих линий электропередачи относительно небольшой протяженности.

Короткие сверхпроводящие кабельные линии постоянного тока могут найти применение в производствах, использующих большие токи сравнительно низкого напряжения: при получении алюминия или хлора электролизом, в мощных электропечах. более отдаленной и менее определенной перспективой представляется сооружение криогенных или сверхпроводящих ЛЭП большой протяженности: такие линии намного сложнее и дороже обычных воздушные ЛЭП и сооружение их может оказаться.

Современная электротехника требует изыскания принципиально новых решений научно-технических задач, обусловленных ростом единичной мощности энергетических блоков и необходимостью передачи огромных количеств энергии по дальним по дальним линиям электропередачи. Уже освоены энергоблоки мощностью 500 и 800 МВт, на стадии изготовления находятся блохи мощностью 1200, а для более далекой перспективы (к 2000 г.) анализируются возможности доведения единичной мощности турбогенератора до 2500-3000 МВт на базе обычной конструкции в четырехполюсном исполнении. Рост единичной мощности требует более интенсивного охлаждения, приводит к снижению КПД и увеличению относительных реактивностей

Для России с ее огромными пространствами и крайне неравномерным распределением энергоресурсов (в европейской части страны около 12% энергоресурсов, а в азиатской до 88%) первостепенное значение имеет проблема создания мощных и дальних ЛЭП.

Помимо других сложных вопросов, возникает необходимость в существенном повышении Номинального напряжения. Уже освоено напряжение переменного тока 500 кВ, испытываются воздушные ЛЭП переменного тока на 750 кВ (Конаково - Москва), а также ЛЭП постоянного тока 'на 800 кВ (Волгоград—Донбасс). В соответствии с разрабатывается комплексное электрооборудование для ЛЭП переменного тока 1150 кВ (для межсистемных связей в энергосистемах) и для ЛЭП постоянного тока на 1500 кВ протяженностью 2500 км (Экибастуз-Центр) с передаваемой мощностью 6 МВт. Напряжения 1150кВ переменного или1500 постоянного тока оказываются недостаточными для более мощных ЛЭП. Между тем мощность будущих ЛЭП из Восточной Сибири в европейскую часть России будет превышать 10 ГВт по одной цепи, что потребует повышение уровня напряжения до 2200-2400 кВ. В свете. сказанного ожидается, что в недалеком будущем (1990-2000 гг.) научно-технические возможности классической электротехники достигнут своего предела и потребуются новые решения сложных задач генерирования, преобразования и передачи электроэнергии. Применение чистых металлов, охлажденных до 15—20 К, а главное сверхпроводников представляется одним из возможных путей развития будущей электротехники больших мощностей.

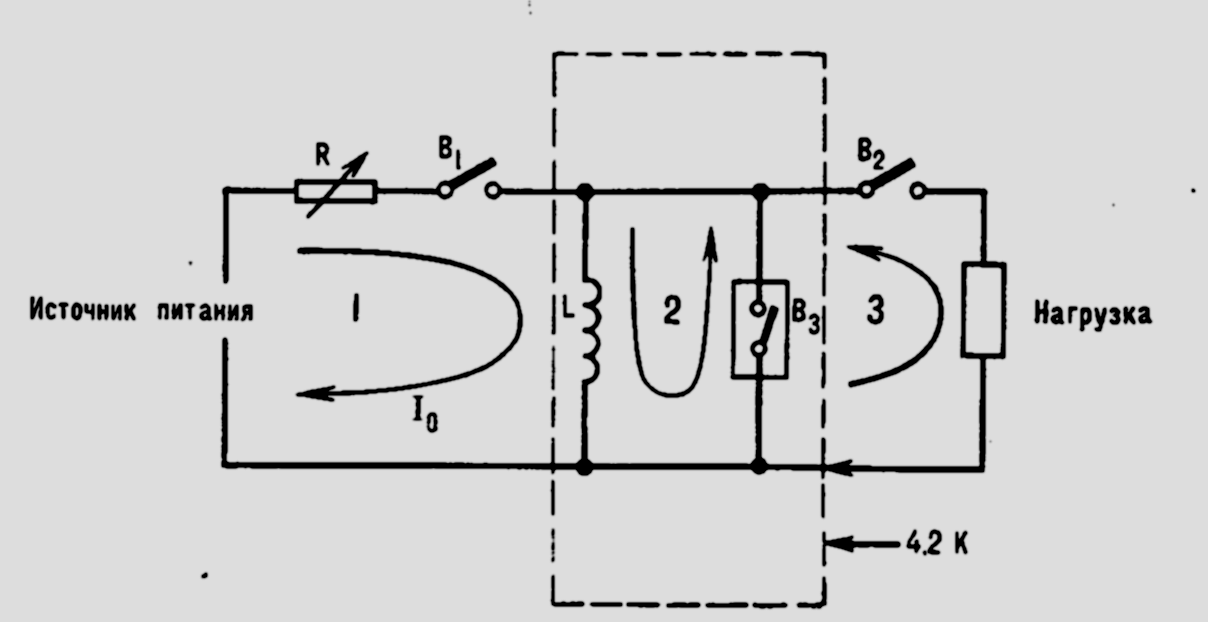
#### Накопители энергии

Наличие материалов, сохраняющих свойства сверхпроводимости в сильных магнитных полях, выдвинуло интересную идею накопления энергии в магнитном поле соленоидов. Накопление энергии часто требуется для создания импульсных разрядов большой мощности при исследованиях оптических квантовых генераторов (лазеров) и опытах по расщеплению и синтезу ядер и др. Импульсное выделение энергии за короткий промежуток времени могут обеспечить заряженные конденсаторные батареи. Плотность энергии, запасенной в конденсаторной батарее, сравнительно мала (3⋅105 Дж/м3); для создания мощных импульсов необходимы очень громоздкие конденсаторы. Энергоемкость аккумуляторов на три порядка больше энергоемкости конденсаторных батарей, но аккумуляторы не могут обеспечить отдачу энергии в милли- или микросекунды. Достаточные плотности энергии могут быть получены при использовании магнитного поля катушки с воздушным сердечником, но для обычных катушек это сопряжено с большими потерями мощности. В свете сказанного значительный интерес для создания мощных импульсных источников представляют катушки из жестких сверхпроводников. Энергия, заключенная в магнитном поле, на единицу объема равна 0,5μ0Н2; для однородного поля напряженностью в 80 кА/см запас энергии составит около 40 МДж/м3. Предполагается, что жесткие сверхпроводники могут быть применены не только для создания мощных импульсных источников энергии, но ив качестве аккумуляторов энергии для покрытия пиковых нагрузок в энергосистемах. В существующих сверхпроводящих магнитных системах запасенная энергия достигает 4—б МДж. Исследуется возможность накопления энергии порядка 1013 Дж, что может оказаться уже полезным для регулирования производства электроэнергии в стране. Такой грандиозный накопитель предполагается выполнить в виде тороидальной катушки диаметром обмотки 17 м, средний радиус тороида 68 м, плотность тока 3⋅105 А/см2, а максимальная индукция 7 Т. Намагничивание жестких сверхпроводников приводит к сильному гистерезису, определяющему потери. При резких изменениях тока к гистерезисным потерям добавляются потери, связанные с перемещением магнитного потока. Значительны потери за счет теплопритоков, оцениваемые 0,05 Вт/м2 при 4 К. Грубые оценки общих потерь для этого накопителя дают значение около 104 Вт на уровне 4,2 К; криогенные установки такой мощности пока еще не созданы, но их стоимость должна быть мала по сравнению со стоимостью накопителя.

При включении накопителя рассеиваемые мощности велики и необходимы меры, обеспечивающие рассасывание небольших зон нормальной проводимости в сверхпроводящем материале. При токе 105 А на провод отношение сечений стабилизирующего (5н) и сверхпроводящего (5с) материала, т. е. 5н/5с=40, а при токе 2-103 А это отношение снижается до 11. Рекомендованное значение тока 1,4⋅105 А, и каждый проводник внутри катушки должен разбиваться на 70 нитей с током в каждой примерно 2000 А.

На рис. 1 показана схема индуктивного накопителя энергии со сверхпроводящей катушкой. Сверхпроводящая катушка L заряжается при замкнутом выключателе B1 и разомкнутых выключателях В2 и В3. Последовательное сопротивление R регулирует постоянную времени и соответственно длительность зарядки. Когда в L запасено нужное количество энергии, выключатель В3 в цепи 2 замыкается, а выключатель B1 в цепи 1 размыкается; тем самым накопитель энергии отключается от источника питания.

Сверхпроводящий выключатель В3 обеспечивает циркуляцию тока в цепи 2. Разрядку на нагрузку производят, замыкая В2 в цепи 3 и размыкая В1. Энергия запасается при низком напряжении, высокие напряжения имеют место только при разрядке. Возможен очень быстрый разряд, но для этого необходим подходящий сверхпроводящий выключатель В3, который должен в замкнутом состоянии обеспечить нулевое сопротивление, а при разряде размыкаться за возможно короткое время (в целях снижения потерь в В3 при разряде). Эймин и Видерхольд рассмотрели работу мощных быстродействующих сверхпроводящих выключателей с тепловым и магнитным управлением для получения коротких мощных разрядов энергии, запасенной в сверхпроводящих катушках. Авторы считают, что магнитный 'выключатель в данном случае более удобен для сверхпроводящих систем накопления энергии.



Вполне естественно, что создание крупной сверхпроводящей системы накопления энергии требует решения многих сложных задач, но первоочередная состоит в определении рентабельности подобных аккумулирующих устройств.

Подчеркивается, что наличие накопителя позволяет снизить установленную мощность электростанции, предназначенных для покрытия суточных пиков нагрузки, причем экономия капиталовложений в энергосистеме тем больше, чем значительнее флуктуации потребляемой мощности.

Модельные сверхпроводящие накопительные системы с запасенной энергией около 100 кДж созданы и испытываются. Однако пока пет достаточных оснований для оценки перспектив этого направления прикладной сверхпроводимости.

1. Криогенная техника

Термином «криогеника» пользуются последние два-три десятилетия для обозначения области более низких температур (70—0,3 К), широко применяемой в технике. До Второй мировой войны (1941—1945 гг.) редко применялись температуры ниже 70 К (жидкий азот под вакуумом). Более низкие температуры, достигаемые сжижением неона, водорода, гелия, применялись в единичных лабораториях мира для научных исследований, которые оказались исключительно плодотворными.

Развитие ракетной техники, выполнение программы космических исследований способствовали быстрому прогрессу криогенной техники, которая вышла за пределы лабораторий и превратилась в новую область индустрии. В 1959 г. начато строительство крупных установок жидкого водорода и за короткий срок создано много тоннажное производство жидкого водорода (масса 1 м3 жидкого Н2 равна 70 кг).

Функционируют ожижители Н2 производительностью 30—60 т в сутки. За период 1961—1968 гг. производство жидкого Н2 в США возросло с 14 т до 151 т в сутки. Созданы большие хранилища жидкого Н2; так, на полигоне для испытании ракет в штате Невада (США) сооружено хранилище жидкого Н2 емкостью 209 м3 (потери от испарения не превышают 0,2% в сутки). Создано сферическое хранилище жидкого Н2 из алюминия емкостью 378,5 м3.

Применяются транспортные СОСУДЫ жидкого водорода емкостью

5-6 м3 с суточной испаряемостью 1,5%, а в последние годы сооружены транспортные цистерны емкостью 107 м3 жидкого Н2. Емкость самого крупного хранилища шарообразной формы для жидкого Н2 достигает 2850 м3 при диаметре внутренней алюминиевой сферы 17,4 м. Еще совсем недавно получение, хранение, транспортирование и применение таких больших количеств взрывоопасного жидкого водорода, кипящего при —253 °С, казалось немыслимым; ныне жидкий водород применяется в качестве топлива верхних ступеней ракет, в пузырьковых камерах. Изучается проблема применения жидкого водорода в качестве авиационного топлива.

Не менее стремительное развитие получила техника ожижения гелия. До 1946 г. в мире насчитывалось всего 15 лабораторных ожижителей гелия, а ныне в различных странах функционирует свыше тысячи более крупных гелиевых ожижителей.

Фирмой Артур Д. Литл (США) за последние десять лет изготовлено свыше 300 ожижителей гелия различной производительности, включая ожижители на 500 л/ч жидкого гелия. Фирма Линде (США) выпускает ожижители гелия производительностью 650 и 720 л/ч. Фирма Гарднер Крайодженикс (США) изготовила ожижители гелия на 850 л/ч. Ведется разработка ожижителя гелия на 1000 л/ч. Различные фирмы Европы, Японии выпускают разные модели ожижителей гелия и рефрижераторов на уровне температур 2—15 К. В России производятся и разрабатываются ожижители гелия и рефрижераторные установки различной холодопроизводительности. Общее количество жидкого гелия, получаемое в США, оценивается в 12000 м3 в год. В ряде случаев признано целесообразным сжижать гелий в целях уменьшения затрат на его дальнее транспортирование к потребителям (по аналогии с транспортом жидкого кислорода). Жидкий гелий транспортируется в автоцистернах, вмещающих до 20000—40000 л жидкого гелия В США практикуется также перевозка жидкого гелия воздушным путем в специальных подвесных сосудах емкостью 500, 1000 и 8800 л. Заправка автоцистерн производится из стационарных хранилищ жидкого гелия; так, для хранения жидкого гелия, вырабатываемого ожижителем производительностью 850 л/ч, изготовлена стационарная емкость на 121 000 л, снабженная высоковакуумной изоляцией и экранированная жидким азотом. Транспортные цистерны различной емкости рассчитаны на рабочее давление до 0,8 МПа, что позволяет перевозить жидкий гелий без потерь в течение 8 суток; на месте потребления испарившийся гелий закачивается в баллоны под давлением до 20 МПа. Сжижение больших количеств гелия, его хранение и перевозка в сосудах различной емкости с испаряемостью 0,5—1% в сутки подтверждает большой прогресс, достигнутый за последние два-три десятилетия криогенной техникой, ведь речь идет о жидкости с нормальной температурой кипения —269 °С и обладающей крайне низкой скрытой теплотой испарения — всего 2,5 кДж/л (0,6 ккал/л) жидкого гелия.

В 1950 г. продукция криогенной техники США оценивалась в 400 млн. долл., а к концу 1970 г. она превысила 1 млрд. долл. Основные научные и инженерные проблемы современности: управляемый термоядерный синтез, физика высоких энергий, магнитогидродинамический способ преобразования энергии. космонавтика, электроника, электротехника требуют применения холода на уровне 4—70 К.

1. Оценка целесообразности

При технико-экономической оценке целесообразности применения холода в электротехнических устройствах, использующих очень чистые металлы, следует сопоставить выгоду, обусловленную снижением активного сопротивления р. с энергетическими затратами на получение холода при соответствующей температуре.

С понижением температуры затраты на единицу произведенного холода быстро возрастают, а поэтому оптимальная температура охлаждения проводников отнюдь не равна температуре, при которой сопротивление ρ проводника минимально. В упрощенном виде задача сводится к определению температуры, соответствующей минимальному коэффициенту



где Т—оптимальная температура .хладагента (в идеальном случае—проводника); рт и рзоок — электрическое сопротивление металла при температуре 300 К; η— КПД холодильного цикла (по отношению к циклу Карно).

При охлаждении жидким азотом уменьшение омических потерь примерно компенсируется энергозатратами на охлаждение, и в энергетическом отношении азотное охлаждение проводников (Си, А1) лишено смысла. Охлаждение жидким водородом представляется более перспективным — выгода от уменьшения омических потерь для чистого алюминия примерно в 8—10 раз превышает затраты на охлаждение. Французские исследователи показали, что в современных условиях применение проводников из чистого алюминия (99,999%), охлаждаемых жидким водородом или газообразным гелием (13—15 К), более перспективно, чем применение дорогих сверхпроводников, требующих охлаждения жидким гелием (4,2 К). Во Франции работы в этом направлении проводились объединенными усилиями фирм («Лэр Ликид», «Пешине», «Альстом»), специализирующихся по трем основным направлениям: криогенная техника, материаловедение, электротехника [Л. 4-3 и 4-4]. Достигнуты большие успехи в получении очень чистого алюминия в виде тонких листов, ленты толщиной 20—50 мкм, проволоки диаметром менее 0.1 мм. Стоимость чистого алюминия примерно вдвое выше стоимости обычно применяемых алюминиевых проводников, а плотность тока при охлаждении до 15—20 К может быть повышена в 10—20 раз.

Создание жестких сверхпроводников, характеризующихся высокими значениями *I* и *Н*, вызвало повышенный интерес к проблеме использования сверхпроводимости в электротехнике и электронике, что нашло выражение в публикациях на эту тему.

Проявляемый многими энтузиазм пока не подкреплен достаточным количеством опытных работ, результатами испытаний и представляется несколько преждевременным.

Бесспорно, однако, что возникла новая ветвь технической физики — прикладная сверхпроводимость, которая уже приобрела большое значение для получения сильных магнитных полей в больших рабочих объемах. Не менее очевидно, что прикладная сверхпроводимость создает принципиальные предпосылки для анализа и опытного изучения новых путей научно-технического прогресса электротехники и электроники.

Заключение

Габариты н масса криогенных установок, удельные энергозатраты на производство холода при 4,2—15 К. надежность работы в длительном режиме пока еще не соответствуют высоким требованиям будущей криогенной электротехники. Технико-экономическая целесообразность создания криогенной электротехники определяется также значениями теплопритоков н внутренних тепловыделений, которые должны быть предельно снижены, в частности, путем усовершенствования теплоизоляции, конструкции токовводов и др.

Неоднократно подчеркивалось, что необходимо активно проводить исследования по созданию принципиально новых видов электрооборудования — опытных образцов турбогенераторов, электродвигателей и силовых промышленных трансформаторов на основе сверхпроводящих материалов.

Библиографический список

1. Фастовский В.Г. Криогенная техника, изд. 2-ое. перераб. и доп. М., «Энергия», 1974 (с)

1. \* Термин «криогенный» предполагает применение охлаждаемых чистых металлов (Al, Cu), а не сверхпроводников. [↑](#footnote-ref-1)