Объединение независимых экспертов в области минеральных ресурсов, металлургии и химической промышленности

ИНФОМАЙН

исследовательская группа

www.infomine.ru

Обзор рынка низкотемпературных сверхпроводников (НТСП) и оборудования на их основе в России

3 издание

Москва
февраль, 2017 г.

Этот отчет был подготовлен экспертами ООО «ИГ «Инфомайн» исключительно в целях информации. Содержащаяся в настоящем отчете информация была получена из источников, которые, по мнению экспертов ИНФОМАЙН, являются надежными, однако ИНФОМАЙН не гарантирует точности и полноты информации для любых целей. Информация, представленная в этом отчете, не должна быть истолкована, прямо или косвенно, как информация, содержащая рекомендации по инвестициям. Все мнения и оценки, содержащиеся в настоящем материале, отражают мнение авторов на день публикации и подлежат изменению без предупреждения. ИНФОМАЙН не несет ответственность за какие-либо убытки или ущерб, возникшие в результате использования любой третьей стороной информации, содержащейся в настоящем отчете, включая опубликованные мнения или заключения, а также последствия, вызванные неполнотой представленной информации. Информация, представленная в настоящем отчете, получена из открытых источников либо предоставлена упомянутыми в отчете компаниями. Дополнительная информация предоставляется по запросу. Этот документ или любая его часть не может распространяться без письменного разрешения ИНФОМАЙН либо тиражироваться любыми способами.

Copyright © ООО «ИГ «Инфомайн»

Содержание

Аннотация 7

1. Развитие научных исследований в области сверхпроводящих материалов 8

2. Производство Россией сверхпроводящих материалов и оборудования на их основе в 2010-2016 гг. 15
2.1. АО «Чепецкий механический завод» (Глазов) 16
2.2. АО «ВНИИНМ» (Москва) 23
2.3. Институт Ядерной Физики СО РАН (Новосибирск) 27
2.4. Институт Прикладной Физики РАН/ЗАО «Гикон» (Нижний Новгород) 35
2.5. АО «ВНИИКП» (Москва) 39
2.6. Физический Институт РАН им. Лебедева (Москва)/ООО «РТИ» (Черноголовка) 44
2.7. АО «АК «Туламашзавод» (Тула)/ООО «МИП Нано» (Москва) 48

3. Экспорт и импорт Россией низкотемпературных сверхпроводящих материалов и оборудования на их основе в 2010-2016 гг. 52
3.1. Экспорт и импорт проводов и кабелей в 2010-2016 гг. 52
3.2. Экспорт и импорт электромагнитов в 2010-2016 гг. 54
3.3. Экспорт и импорт научной аппаратуры в 2010-2016 гг. 57
3.4. Импорт медицинских магниторезонансных томографов в 2010-2016 гг. 61
Импортеры томографов Siemens *64*
Импортеры томографов General Electric *69*
Импортеры томографов Toshiba *75*
Импортеры томографов Philips *79*

4. Ценовой анализ низкотемпературных сверхпроводящих материалов в 2010-2016 гг. **84**

5. Перспективы развития российского рынка низкотемпературных сверхпроводящих материалов и устройств на 2017-2022 гг. **87**

Приложение 1. Специализация российских предприятий в области НТСП 90
Приложение 2. История партнёрства корпорации «Росатом» и Phillips в магниторезонансной томографии 91
Приложение 3. Особенности эксплуатации МРТ 92
Приложение 4. Работа по стандартизации в области сверхпроводимости 94
Приложение 5. Контактная информация 95

Источники информации 98

Таблицы

Таблица 1. Характеристики сверхпроводящих кабелей 10
Таблица 2: Объёмы продаж СП устройств в 2010-2016 гг., млрд $..... 11
Таблица 3. Сравнительные характеристики жидких хладагентов 13
Таблица 4: Объём производства сверхпроводников в РФ в 2009-2016 гг., т..... 15
Таблица 5: Этапы развития АО «ЧМЗ» в области сверхпроводников в 2009-2016 гг. 21
Таблица 6: Российские гиротроны на плазменных установках управляемого термоядерного синтеза..... 38
Таблица 7: Экспорт НТСП кабелей в 2010-2016 гг., т, млн $..... 52
Таблица 8: Экспорт сверхпроводящих магнитов ЗАО НПП «Гиком» в период 2010-2016 гг., шт., кг, тыс. $..... 54
Таблица 9: Импорт сверхпроводящих магнитов в 2010-2016 гг., шт., тыс. $..... 55
Таблица 10: Экспорт научной аппаратуры в 2010-2016 гг., шт., тыс. $ 57
Таблица 11: Импорт научных приборов в 2010-2016 гг., шт., тыс. $ 59
Таблица 12: Российский импорт новых магниторезонансных томографов со сверхпроводящими магнитами в 2010-2016 гг., шт., млн $ 62
Таблица 13: Импортёры томографов Siemens в 2010-2016 гг., шт. 64
Таблица 14: Импортёры томографов General Electric в 2010-2016 гг., шт..... 69
Таблица 15: Импортёры томографов Toshiba в 2010-2016 гг., шт. 75
Таблица 16: Импортёры томографов Philips в 2010-2016 гг., шт..... 79
Таблица 17: Уровень цен на СП кабели в 2016 г., $/кА м..... 85
Таблица 18: Стоимость популярных моделей МРТ в 2016 г., тыс. $ 85

Рисунки

Рисунок 1: Структура мирового рынка сверхпроводниковых устройств в 2016 г., % ... 12
Рисунок 2: Технологическая схема производства многожильных Nb_3Sn сверхпроводников ... 17
Рисунок 3: Технологическая схема производства многожильных Nb-Ti сверхпроводников ... 18
Рисунок 4: Поперечный срез Nb-Ti сверхпроводников для ИТЭР ... 19
Рисунок 5: Поперечный срез Nb_3Sn сверхпроводников для ИТЭР ... 19
Рисунок 6: Многоволоконная сборка Nb-Ti сверхпроводника для ИТЭР ... 20
Рисунок 7: Объём производства ниобий-титановых и ниобий-оловянных НТСП на ЧМЗ в 2009-2016 гг., т ... 20
Рисунок 8: Образцы сверхпроводников разработки ВНИИНМ ... 24
Рисунок 9: Монтаж вигглера ИЯФ на накопитель ANKA ... 29
Рисунок 10: Прототип гиротрона с жидкостным охлаждением рекуперационного изолятора в криомагните ... 36
Рисунок 11: Ортопедический МРТ конструкции ФИАН производства ООО «РТИ» ... 45
Рисунок 12: Полноразмерный МРТ Full Scan конструкции ФИАН производства ООО «РТИ» ... 46
Рисунок 13: Производственная линия для томографов Full Scan ФИАН в г. Черноголовка ... 46
Рисунок 14: Стадии производства магнита для МРТ Full Scan конструкции ФИАН ... 47
Рисунок 15: Внешний вид томографа под торговой маркой «Престиж 15» ... 49
Рисунок 16: Томограф «Престиж-15» разработки ООО «МИП Нано» ... 50
Рисунок 17: Схема сверхпроводящего магниторезонансного томографа ... 61
Рисунок 18: Географическая структура российского импорта магниторезонансных томографов со сверхпроводящими магнитами в 2010-2016 гг., % ... 63
Рисунок 19: Распределение импортёров томографов Siemens по регионам в 2010-2016 гг., % ... 68
Рисунок 20: Топ-10 импортёров томографов Siemens в 2010-2016 гг., штук ... 69
Рисунок 21: Распределение импортёров томографов General Electric по регионам в 2010-2016 гг., % ... 74
Рисунок 22: Топ-10 импортёров томографов General Electric в 2010-2016 гг., шт. ... 74
Рисунок 23: Распределение импортёров томографов Toshiba по регионам за период 2010-2016 гг., % ... 78
Рисунок 24: Топ-10 импортёров томографов Toshiba в 2010-2016 гг., шт. ... 78
Рисунок 25: Распределение импортёров томографов Philips по регионам в 2010-2016 гг., % ... 82
Рисунок 26: Топ-10 импортёров томографов Philips в 2010-2016 гг., шт. ... 82

Рисунок 27: Экспортные цены на НТСП кабели производства ЧМЗ для ИТЭР в 2012-2016 гг., $/кг 84
Рисунок 28: Прогноз структуры рынка сверхпроводниковых устройств в России на 2022 г., % 88
Рисунок 29: Прогноз производства НТСП кабелей в РФ на 2017-2022 гг., т 89
Рисунок 30: Рабочий момент ремонта томографа Discovery MR750W 3T 93

Аннотация

Настоящий отчет является **вторым изданием** исследования рынка низкотемпературных сверхпроводников.

Цель исследования – анализ российских низкотемпературных сверхпроводников.

Объектом исследования выступают низкотемпературные сверхпроводниковые материалы и устройства на их основе.

Данная работа является **кабинетным исследованием**. В качестве **источников информации** использовались данные научной, отраслевой и региональной прессы, годовых и квартальных отчетов эмитентов ценных бумаг, интернет-сайтов разрезов и производителей оборудования.

Хронологические рамки исследования: 2010-2016 гг., прогноз на 2017-2022 гг.

География исследования: Российская Федерация.

Объем исследования: отчет состоит из **5** глав, содержит **98** страниц, в том числе **18** таблиц, **30** рисунков и **5** приложений.

В **первой главе** отчета дана характеристика рынка низкотемпературных сверхпроводников в России, описано развитие научных исследований и мирового рынка сверхпроводящих материалов.

Вторая глава посвящена производству Россией низкотемпературных сверхпроводящих материалов и устройств на их основе. В данном разделе приведены данные об основных производителях НТСП в России.

Третья глава посвящена внешнеторговым операциям за период 2010-2016 гг. Представлена динамика импорта и экспорта Россией проводов и кабелей; сверхпроводящих электромагнитов; научных устройств, а также магниторезонансных томографов со сверхпроводящими магнитами.

В **четвертой главе** проведён ценовой анализ материалов и устройств на основе НТСП

В **пятой главе** рассмотрены перспективы развития российского рынка НТСП материалов на 2017-2022 гг.

В **приложениях** приведена специализация российских предприятий и организаций, дана краткая история партнёрства госкорпорации «Росатом» и Philips, указаны сложности в эксплуатации магниторезонансных томографов, рассмотрены вопросы стандартизации, а также дана контактная информация основных участников рынка и источники информации.

Целевая аудитория исследования:

- участники рынка сверхпроводников в России и странах СНГ – производители, потребители, трейдеры;
- потенциальные инвесторы.

Предлагаемое исследование претендует на роль **справочного пособия** для специалистов, работающих на рынке низкотемпературных сверхпроводников и принимающих управленческие решения.

1. Развитие научных исследований в области сверхпроводящих материалов

Явление сверхпроводимости было открыто в 1911 г. Через 50 лет на базе сверхпроводящих материалов и криогенной техники гелиевого уровня температур зародились низкотемпературные сверхпроводниковые технологии (НТСП технологии).

Использование сверхпроводников (СП) позволило создать уникальные исследовательские установки, такие как ускорители заряженных частиц на сверхвысокие энергии, детекторы для ядерной физики и физики элементарных частиц, установки для термоядерных исследований с магнитным удержанием горячей плазмы, лабораторные магнитные системы, ответственные устройства специальной техники, измерительные приборы рекордной чувствительности и точности. НТСП уже стали предметом прямого коммерческого интереса, как в случае, например, магниторезонансных томографов.

НТСП технологии опираются на следующие уникальные свойства сверхпроводников:

1) сверхпроводники в интервале значений ниже критических величин температуры, индукции магнитного поля и плотности электрического тока имеют нулевое сопротивление (т.е. способны нести бездиссипативный постоянный ток без потерь на нагрев проводника). Уровень потерь определяется фактором $\rho \cdot j^2$, где ρ – удельное сопротивление, j – плотность тока. В технических изделиях из сверхпроводников (проводах, кабелях и т.д.) эффективное сопротивление на переменном токе промышленной частоты (50-60 Гц) из-за потерь на гистерезис и вихревые токи, хотя и отличается от нуля, но составляет одну десятитысячную или менее от эффективного сопротивления обычного проводника при комнатной температуре;

2) при значениях магнитного поля ниже мейснеровского сверхпроводники обладают идеальным диамагнетизмом, магнитное поле не проникает в тело сверхпроводника;

3) магнитный момент сверхпроводящего кольца или полого цилиндра может изменяться только дискретно на величину кванта магнитного потока, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Гс·см²;

4) поверхностное сопротивление сверхпроводника при частотах ниже критических в 10-100 раз меньше поверхностного сопротивления хорошо проводящих материалов (медь, алюминий) при тех же температурах;

5) в сверхпроводниках возможно протекание тока без падения напряжения через туннельный контакт, образованный двумя сверхпроводниками, которые разделены тонким слоем (масштаб нанометры) диэлектрика (стационарный эффект Джозефсона), либо протекание тока, сопровождаемое при превышении некоторой критической его величины генерацией электромагнитного излучения с частотой, которая определяется разностью потенциалов на контакте (нестационарный эффект Джозефсона).

В середине 1970-х годов в Министерстве среднего машиностроения СССР было создано промышленное производство технических НТСП материалов, а на предприятиях Министерства химического машиностроения криогенного оборудования гелиевого уровня температур. В отраслевых и академических институтах активно разрабатывались устройства, использующие явление СП.

Основу технических НТСП материалов составляли два вещества. Одно из них – деформируемый сплав Nb-Ti со следующими параметрами: критическая температура 9,6 К при нулевых магнитном поле и токе, критическое магнитное поле 12 Т при 4,2 К, нулевом токе и критической плотности тока $3 \cdot 10^9$ А·м$^{-2}$ при 4,2 К и в магнитном поле 5 Т. Вторым сверхпроводником, освоенным промышленностью позже, стало интерметаллическое соединение Nb_3Sn, которое несколько расширило диапазон рабочих температур и магнитных полей для СП устройств. Материал на основе Nb_3Sn имел критическую температуру 18,3 К при нулевых магнитном поле и токе, критическое магнитное поле около 22 Т при 4,2 К и нулевом токе, критическую плотность тока более высокую, чем в материалах на основе сплава Nb-Ti, в частности, при 4,2 К в поле 10 Т плотность тока в нем превышала 10^9 А·м$^{-2}$.

СП кабели представляли собой сложные композитные конструкции из разнородных материалов с ультратонкими (до долей микрона) нитями собственно сверхпроводника. В частности, ниобий-титановые кабели накручивались вокруг стальной спирали – формера (центрального несущего элемента), который предназначен для прокачки жидкого гелия, и заключались в стальную оболочку (джекетинг).

Значения рабочих магнитных полей и плотностей тока, которые удавалось достичь в СП устройствах, использующих Nb-Ti и Nb_3Sn при температурах вблизи 4,2 К, практически перекрывали прогнозируемые потребности всего электротехнического и электроэнергетического оборудования (таблица 1).

Таблица 1. Характеристики сверхпроводящих кабелей

Применение	Плотность тока, А·м$^{-2}$	Магнитная индукция, Т
Кабель переменного тока	10^9-10^{10}	< 1
Индуктивный накопитель электроэнергии	10^9	5-8
Магниты	10^8-10^9	10-20
Магнитогидродинамический генератор и термоядерный реактор с магнитным удержанием плазмы	10^9	6-16
Сепараторы	10^8	2-5
Генераторы	10^8	2-5
Электродвигатели	10^8	2-5
Ограничители тока	10^9	1-3
Трансформаторы	10^{10}	< 2
Переключатели	10^{10}	< 1
Поезда на магнитном подвесе	10^8-10^9	5
Магниторезонансные томографы	10^9	0,5-9,0

Источник: оценка «Инфомайн»

Ожидалось, что применение СП технологий гелиевого уровня температур позволит не только расширить спектр исследовательских установок и устройств специальной техники, но, прежде всего, окажет преобразующее воздействие на электроэнергетику, транспорт и другие электропотребляющие отрасли народного хозяйства.

С середины 1980-х годов, начала исследования по прикладной сверхпроводимости. В развитых странах разрабатывались СП варианты практически всех основных электротехнических устройств, которые генерируют, передают, преобразуют и потребляют электроэнергию в промышленном масштабе.

В СССР была государственная программа по сильноточной СП технологии гелиевого уровня температур для электротехники и электроэнергетики, просуществовавшая до 1990-х годов. Были созданы и испытаны представительные модели и опытно-промышленные образцы СП турбогенераторов мощностью от 1 до 20 МВ·А, изготовлены турбогенератор мощностью 300 МВ·А, коллекторные и униполярные двигатели мощностью до 10 МВт, системы движения для морского и железнодорожного транспорта, трансформаторы, токоограничители, гибкие и жесткие линии электропередач, индуктивные накопители энергии. Создание нетрадиционных видов электротехнического оборудования потребовало выполнения большого комплекса сопутствующих научных исследований и разработки принципиально новых методов электромагнитных, механических, физических и гидродинамических расчетов с их экспериментальной верификацией на макетах и моделях.

Из-за слишком большого значения фактора $\rho \cdot j^2$ (фактора омических потерь) конкурентоспособным СП оборудование признавалось только при больших единичных мощностях, например, генераторы при мощностях более