

УДК 537.312

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИКЛАДНОЙ СИЛЬНОТОЧНОЙ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ: ПО МАТЕРИАЛАМ ШКОЛЫ ПО СВЕРХПРОВОДИМОСТИ, 1997

И. С. Байков

Всероссийский научно-исследовательский институт
межотраслевой информации, Москва, Россия

В. С. Круглов, А. К. Чернышова

Институт сверхпроводимости и физики твердого тела,
РНЦ "Курчатовский институт", Москва, Россия

Л. С. Ширшов

Институт физики высоких энергий, г. Протвино, Моск. обл., Россия

Дан краткий обзор докладов, представленных на Школе по наиболее перспективным направлениям сильноточной сверхпроводимости, ее применениям и перспективам развития.

С 25 по 30 мая 1997 г. на базе РНЦ "Курчатовец", вблизи г. Протвино, проходила школа по сверхпроводимости (СП). Председатель оргкомитета — проф. В. Е. Кейлин, ученый секретарь — канд. техн. наук В. С. Круглов (РНЦ КИ).

Школа организована Институтом сверхпроводимости и физики твердого тела РНЦ «Курчатовский институт» при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Министерства науки и технологии РФ, Секции сильноточной сверхпроводимости направления «Сверхпроводимость» Государственной научно-технической программы «Актуальные направления в физике конденсированных сред», Научного совета РАН «Научные проблемы использования сверхпроводимости в электротехнике и энергетике», Международной и Российской Академии электротехнических наук.

На Школе было представлено 29 докладов-лекций, посвященных наиболее крупным и перспективным достижениям в области прикладной сильноточной сверхпроводимости, включая сверхпроводящие материалы (НТСП и ВТСП), исследования особенностей электродинамики, сверхпроводящие магнитные системы и их всевозможные применения, сопутствующие проблемы криогенной техники. В ее работе участвовали 77 специалистов, представлявших 21 организацию России и Украины.

Одной из важных задач Школы на современном этапе недостаточного финансирования и невозможности обеспечить физический эксперимент на высоком уровне по многим утвержденным проектам были поддержание хотя бы уровня понимания фундаментальных проблем в области сверхпроводимости и концентрация усилий на наиболее перспективных применениях СП с учетом реальных потребностей сегодняшнего потребителя.

По традиции работу Школы открыл профессор В. Е. Кейлин, отметив, что наличие молодежи среди участников дает надежду на продолжение традиций (первая Школа по сверхпроводимости была проведена в конце 70-х годов в Звенигороде) и будущие успехи на ниве технической сверхпроводимости.

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА СВЕРХПРОВОДНИКОВ

Доклад А. М. Фишера (ВЭИ) посвящен кинетике вихревой решетки и электродинамике жестких СП в скрещенных магнитных полях. Обнаружено новое явление — коллапс намагниченности в жестком СП, помещенном в скрещенные постоянное и переменное магнитные поля. В этих условиях статическая кривая намагниченности жесткого СП заметно подавляется под действием ортогонального переменного магнитного поля, а на кривой $M(H)$ появляются обратимые участки. Размер по H этих участков возрастает при увеличении амплитуды переменного магнитного поля. Изучена динамика коллапса одиночными импульсами переменного поля. Показано, что этот эффект не может быть объяснен в рамках электродинамических уравнений, предложенных Кимом. Принимая во внимание пересечение вихрей Абрикосова, построена теоретическая двухжидкостная гидродинамическая модель, учитывающая поступательное и относительное движения вихревых кластеров и объясняющая эффект коллапса. Позднее развита более общая теория, описывающая кинетику вихревой решетки в жестких СП в скрещенных магнитных полях. В ее рамках предсказан новый эффект — парамагнетизм сверхпроводника в скрещенных магнитных полях. Этот эффект обнаружен и экспериментально, а его основные особенности хорошо согласуются с выводами развитой теории.

Обзорный доклад о модели пиннинга в сверхпроводниках был сделан А. Л. Рахмановым (ИВТ РАН). Определены понятия корреляционного объема и характерного масштаба потенциала пиннинга. Получены выражения для критического тока и корреляционного объема как функции элементарного потенциала пиннинга и магнитного поля.

В докладе Е. Ю. Клименко (РНЦ КИ) рассмотрена концепция пиннинговых тел в сверхпроводниках. В отличие от ранних работ модель пиннинга в жестких сверхпроводниках учитывает анизотропный характер сверхпроводящих свойств в технических сверхпроводниках.

Логическим продолжением такого подхода является и рассмотрение картины поперечных электрических полей в сверхпроводниках, доложенной С. В. Шавкиным (РНЦ КИ).

В докладе Ю. Д. Куроедова (РНЦ КИ) были сообщены результаты экспериментов по измерению скорости распространения нормальной фазы в сверхпроводниках с высокой токонесящей способностью, в которых, в соответствии с расчетом Фортова В. Е., может наблюдаться сверхзвуковая скорость.

А. А. Пуховым (ИВТ РАН) рассмотрено разрушение сверхпроводимости ВТСП-пленок под действием микроволнового излучения. Получено выражение для пороговой интенсивности пробоя. Показано, что энергия таких возмущений быстро убывает с ростом интенсивности микроволнового поля. Полученные результаты могут быть полезны при изучении нормальных переходов в СП-переключателях и устройствах микроволнового диапазона.

СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОВОДА

А. Е. Воробьева (ВНИИНМ) сообщила о состоянии дел с разработкой токонесящего элемента по проекту ИТЭР. Большие обмотки ИТЭР будут изготавливаться из интерметаллического соединения ниобий — олово. Для токонесящего элемента необходимо произвести свыше 1500 т СП-материала на основе Nb_3Sn , что превышает возможности мирового сообщества и требует развития соответствующих мощностей. Заданная плотность тока составляет $I_c = 440 \text{ А/мм}^2$ в магнитном поле 12 Тл. Россия является одним из изготовителей магнитных систем. В 1998 г. планируется проведение в Японии испытаний модельной катушки ИТЭР.

В докладе И. И. Акимова (ВНИИНМ) рассмотрены особенности технологии получения длинномерных ВТСП-проводов, получаемых по методу "порошок в трубе". В настоящее время в России налажено полупромышленное производ-

ство многоволоконных лент и круглых проводов из соединения 2223 с длиной единичного куска до 250 м и критической плотностью тока до $2 \cdot 10^4$ А/см² при 77 К в собственном магнитном поле. Изготовлен и испытан ряд макетных галет, но обнаружена заметная деградация критического тока по сравнению с коротким образцом. В целом достижения ВНИИНМ в области технологии ВТСП находятся на уровне лучших зарубежных разработок.

Б. П. Михайлов привел результаты экспериментов по влиянию легирования на структуру и свойства висмутовых ВТСП-соединений. Легирование в Bi-2223 образцах может улучшить пиннинг потока.

Два доклада С. И. Новикова (РНЦ КИ) посвящены вопросам испытания коротких образцов кабеля на основе Nb₃Sn и тройного сплава Nb—Ti—Ta. Высокая чувствительность критических токов к напряжениям для проводов на основе интерметаллидов требует корректных испытаний токонесущей способности, что позволит правильно спрогнозировать рабочие параметры магнитных систем. На примере проведенного совместно с ВНИИНМ и ИФВЭ исследования транспонированного провода, предназначенного для квадруполь большого андронного коллайдера (ЛНС) в ЦЕРНе, показано, что критический ток короткого образца транспонированного провода совпадает с суммой критических токов составляющих его проволок при учете различия в их деформированном состоянии и реальной ориентации в магнитном поле. Рассмотрено влияние технологических режимов на токонесущую способность тройного сплава Ti—Nb—Ta, изготовленного во ВНИИНМ и предназначенного для изготовления магнитной системы ЛНС.

В обзорном докладе Г. А. Дорофеева (РНЦ КИ) рассмотрены состояние и перспективы СП-проводов с искусственными центрами пиннинга, первыми разработчиками которых являлись РНЦ КИ и ВНИИНМ. Упрощение технологии и заметное увеличение токонесущей способности делают такие провода весьма перспективными.

СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ МАГНИТЫ И УСТРОЙСТВА

Д. И. Иванов (РНЦ КИ) доложил о проектах токамаков со сверхпроводящими обмотками, которые осуществляются в КНД, Индии и Республике Корея. В России работы по УТС сворачиваются из-за недостатка средств. Уникальная установка «Токамак Т-15», введенная в строй в 1989 г., со сверхпроводящей тороидальной Nb₃Sn-обмоткой практически не работает с 1994 г. Развивающиеся страны проявляют заметный интерес к токамакам и инвестируют соответствующие высокие технологии. В чем-то они копируют установки России и США, но в основном стараются создать свою конструкцию и отработать собственную технологию. Например, в Корее собираются закупить СП-заготовку в виде прутка, но превратить его в проволоку на отечественном оборудовании, хотя очевидно, что дешевле было бы закупить готовый проводник. КНД приобрела «Токамак Т-7» с СП-обмоткой в России, самостоятельно освоила его, что сопровождалось определенными издержками. При запуске произошла авария с переходом в нормальное состояние СП-обмотки и разрушением тоководов из-за отсутствия систем диагностики и защиты. Сейчас последствия аварии устранены, и на модернизированной установке с новым названием НТ-7 успешно ведутся эксперименты с плазмой. В КНД разрабатывается и новый токамак с СП-обмотками для создания тороидального магнитного поля.

Более скромный проект с СП-катушками 1,2 x 1,8 м разрабатывает Индия. Конкурс на производство СП-кабеля выиграли японцы. Индия объявила тендер на испытание СП-катушки и создание рефрижератора мощностью 400 Вт с производительностью 200 л жидкого гелия в час. Рассматривается вариант превращения токамака в стационарную установку (поэтому проявляют интерес к созданию инжектора нейтральных частиц). Предусмотрены затраты на СП-кабель токамака 3—4 млн. дол.

и на рефрижератор — 2—4 млн. дол. Остальные работы и сборку установки собираются проводить самостоятельно, главное — освоить технологии.

Планируемые затраты по проектам (в млн. дол.): КНР — 20, Индия — 60, Южная Корея — 300.

Создание первых СП-магнитов на основе Nb_3Sn и $NbTi$ материалов относится к середине 60-х годов, а их крупномасштабное использование в физике высоких энергий началось в 80-х годах, после решения технологических проблем по созданию СП-проводников.

Использованию сверхпроводимости в ускорителях заряженных частиц были посвящены доклады сотрудииков ИФВЭ (г. Протвино). А. М. Севрюкова осветила использование ускорительных ВЧ-структур (на основе СП-материалов) и состоящие дела с созданием нового линейного ускорителя TESLA.

А. С. Ширшов рассказал об использовании СП-магнитов и о применении СП-устройств в "магнитных дорожках" кольцевых ускорителей заряженных частиц и в детекторных установках.

А. М. Васильев охарактеризовал состояние нового проекта большого адронного коллайдера (ЛНС), который планируется разместить в туннеле существующего кольца LEP с периметром 27 км. По проекту планируется изготовить свыше 10 тыс. СП-магнитов оригинальной конструкции "два-в-одном" (в одном криостате расположены обмотки двух магнитов с общим железным ярмом). Потребность в СП-материале для этих устройств составляет около 1200 т $NbTiTa$ проволоки. Свыше 1200 СП дипольных магнитов с номинальным магнитным полем 8,4 Тл должны охлаждаться сверхтекучим гелием при температуре 1,9 К. Дипольные магниты длиной 14,2 м планируется изготовить промышленным способом. В настоящий момент испытана "цепочка" из трехдипольных и квадрупольных магнитов.

Традиционный интерес слушателей вызывают проекты применения СП-материалов для создания электродвигателей, электрических генераторов, накопителей электрической энергии (сверхпроводящих индуктивных накопителей — СПИН), электромагнитных пушек, самолетных катапульт и т. п. Это направление было представлено на Школе несколькими докладами.

Доклад А. М. Рубинраута (ИВТ РАН) был посвящен одной из возможных областей применения СП в авиации нового поколения — электромеханическому запуску воздушно-космического самолета. Современные достижения космической техники (аппараты типа «Энергия», «Шатл» или «Буран») базируются на химическом топливе, что позволяет запускать спутники с затратами порядка 10 тыс. дол. на 1 кг выведенного веса. Но возможности традиционного топлива достигли насыщения. Так, при весе «Шатла» 105 т полезная нагрузка не превышает 35 т. Поиск новых путей выхода в космос направлен на увеличение полетного веса при снижении общего веса топлива, в частности, за счет отказа от окислителя на борту летательного аппарата. В качестве альтернативного окислителя можно использовать атмосферный воздух на ранней стадии выведения и отказаться от жидкого кислорода.

Предложена конструкция прямоточного двигателя, который работает на водороде или на керосине, а в качестве окислителя используется воздух атмосферы, полезная нагрузка при этом может возрасти до пяти раз. На космолане с таким двигателем можно долететь из Москвы до Нью-Йорка всего за 80 мин на высоте 35 км (не выходя за пределы земной атмосферы). Однако необходимый для работы такого двигателя приток воздуха достигается только при сверхзвуковых скоростях аппарата, что требует начального ускорения самолета с помощью реактивного или химического двигателя. Этого можно избежать, если использовать взлетную платформу, которая не покидает пределы аэродрома, но разгоняет самолет до звуковой скорости. Для разгона платформы можно использовать линейный электродвигатель, разгоняющий систему до скорости звука за 10—15 с при ускорении 3 г. Аналогичные принципы используются при разработке

скоростного наземного транспорта на основе СП-обмоток, заложенных в трассу, и СП-магнитов, размещенных в составе вагона. Оценки показывают, что использование СП-накопителей электроэнергии с индуктивностью 6 Гн и током 25 кА позволяет разогнать платформу весом 800 т и самолет весом 1200 т на взлетной полосе длиной 1700 м. СП-индуктор, размещенный на платформе, имеет обмотки типа рейстрека с размерами 10х3,5 м, другая система СП-соленоидов обеспечивает левитацию системы. Для создания тяги $6 \cdot 10^7$ Н требуется мощность 10^4 МВт в течение 10 с, что сопоставимо с возможностями современной электростанции. После взлета самолета запасенная механическая энергия разгонной платформы преобразуется в электрическую и возвращается в накопитель. Для этой цели на аэродроме отводится 500 м на полосу торможения платформы. Расчетный вариант самолета — планер с размахом крыльев 90 м и длиной до 73 м. Проект содержит математическую модель по объединению всех электромеханических систем в единую систему.

И. А. Кирьенин (ИФТ РАН) доложил о разработках СПИН на энергию 10^8 Дж.

К. А. Ковалев (МАИ) рассказал о разработках гистерезисных ВТСП-двигателей на основе оплавленной керамики мощностью до 10 кВт и продемонстрировал действующую модель мотора мощностью 100 Вт, работающую в жидком азоте. Компактные двигатели с использованием ротора на основе ВТСП-материала могут найти широкое применение в криогенике и авиационно-космической технике вследствие снижения потерь электроэнергии, повышения экономичности и мощности в несколько раз при сравнимых массогабаритных параметрах традиционных двигателей. Гистерезисные двигатели обычного исполнения применяются в счетчиках электроэнергии и в системах управления. Принцип действия гистерезисных ВТСП-двигателей — в отталкивании магнитных полюсов ротора и статора. Статор выполнен из обычного несверхпроводящего материала, а ротор представляет собой ВТСП-цилиндр из текстурированной YBCO-керамики. Необходимо отметить, что основной вклад в гистерезисные потери в роторе вносят внутригранульные токи. Для повышения мощности двигателя ротор изготавливается из керамики с крупными ВТСП-гранулами (3—10 мм) с высокой плотностью тока ($3 \div 4 \cdot 10^8$ А/м²).

Наряду с цилиндрическими роторами используются дисковые, например, на диск диаметром 200 мм наклеено 10 таблеток ВТСП. Дисковые машины могут применяться в качестве криогенного насоса с мощностью 300 Вт, и сейчас ведутся работы по изготовлению модели двигателя. Последние разработки нацелены на создание многодискового мотора 2,5 кВт, работающего при частоте 50 Гц.

Работы по созданию гистерезисных ВТСП-моторов ведутся в МАИ с 1990 г., а с 1994 г. они продолжены в содружестве со специалистами ВНИИНМ, ВЭИ, ИФТТ РАН (Черноголовка) и IPHT (г. Йена, Германия). Изготовлена серия гистерезисных ВТСП-двигателей мощностью 50÷100 Вт (1995 г.) и серия машин мощностью 300÷500 Вт (1996 г.). В настоящее время ведутся работы по совместному проекту создания ВТСП-мотора мощностью 10 кВт, который поддерживается министерствами науки России и Германии. В рамках этого проекта созданы и прошли успешные испытания ВТСП-двигателя мощностью 1 кВт (размеры цилиндрического ротора: диаметр 40 мм, длина 140 мм) и многодисковый двигатель 2,5 кВт.

Прошел успешные испытания высокооборотный (12 тыс. об/мин) двигатель мощностью 30 Вт. Данный двигатель является прототипом системы для подачи жидкого H_2 и разрабатывается в рамках проекта АНТК им. Туполева "Криоплан", целью которого является создание самолета, использующего в качестве топлива жидкий водород. Необходимо создать технологию и оборудование для получения массивных ВТСП-изделий в промышленных масштабах. Верхний предел мощности гистерезисных ВТСП-двигателей определяется габаритами ротора, и рост мощности моторов сдерживается отсутствием заготовок требуемого размера.

В. А. Мальгинов (ФИ РАН) представил обзорный доклад по использованию сверхпроводящих магнитов и СП-якоря в электродинамических акустических излучателях (ЭАИ). Представлены результаты модельных экспериментов, которые показывают возможность увеличения мощности существующих обычных ЭАИ на два-три порядка как за счет увеличения магнитного поля, так и возрастания пропускаемого через обмотки якоря тока.

М. А. Тихоновский (ХФТИ) сделал обзор состояния и перспектив работ по сверхпроводимости на Украине. В 1996 г. наука получила 0,47 % годового бюджета. Более 5000 ученых уехали с Украины в другие страны. Исследования по сверхпроводимости не получают прямого финансирования, а разбросаны по разным программам, прежде всего по программам производства керамики и сепараторов для очистки угля от серы и золы. Украина добывает уголь низкого качества, содержащий около 2% двуокиси серы и 20—22 % золы. На Украине накопилось огромное количество отвалов, и извлечению руды из них с помощью сепараторов отводится важное место. На изготовление сепараторов на основе сверхпроводящих магнитов для очистки угля и обогащения руды запланировано выделить 100 тыс. дол. В Кривом Роге уже работает СП-сепаратор, изготовленный ранее в институте им. Курчатова. Основные направления работ по СП в ХФТИ:

массивные СП-кольца и диски на основе иттрия для гравиметров и градиометров;

повышение предельных криттоков в титановых сплавах, отработка технологии термосработки, формирование центров пиннинга (для NbTi проводов рекордное $I_c = 4,05 \cdot 10^5$ А/см², $H = 5$ Тл; для одножильного Nb(37%)—Ti—Ta(22%) — (8—10) · 10⁴ А/см², $H = 12$ Тл, $T = 2$ К; для NbSn проводов, полученных по бронзовой технологии методом направленной кристаллизации, — 4,5 · 10⁴);

увеличение прочностных характеристик Cu—Nb проводов для импульсных магнитов, полученных методом "jelly-roll", до 120—150 кг/мм² при электропроводности в 65% от электропроводности меди (совместно с ДонФТИ).

Доклад Л. С. Флейшмана (ЭНИН) был посвящен обзору исследований, выполняемых в Энергетическом институте им. Г. М. Кржижановского, по разработке индуктивных токоограничителей с ВТСП-экраном, выполняющим функцию коммутатора магнитного потока. Подобная конструкция была впервые предложена и испытана на макетном образце в ЭНИН в 1991 г., однако для получения коммерческого устройства нужно было научиться изготавливать цилиндрические ВТСП-экраны, диаметр и длина которых составляют десятки сантиметров. Подключение к этой работе специалистов из ВНИИНМ стимулировало работы в этом направлении, получены первые образцы экранов — трубки из текстурированной Bi-2223 керамики диаметром 2,5 см, продемонстрировавшие способность экранировать переменное поле величиной до 10 мТл. Увеличение диаметра трубок позволит создавать макетные образцы токоограничителей с номинальными рабочими токами в десятки ампер и в дальнейшем перейти к опытно-промышленным образцам ВТСП-токоограничителя в России. Работы по созданию ВТСП-токоограничителей и не только индуктивных, ведутся уже много лет в США, Канаде, Швейцарии. Актуальность проблемы связана с реальной необходимостью ограничения токов короткого замыкания и «демпфирования» бросков тока в линиях передач. По оценкам американских специалистов, внедрение ВТСП-токоограничителей в энергосистемы США позволит ежегодно экономить свыше 100 млн. дол. за счет снижения затрат на ремонтные работы.

ВТСП-токоограничители находятся в центре внимания разработчиков систем энергоснабжения по двум основным причинам: во-первых, достигнутые параметры ВТСП-материалов достаточны для реализации конструкции токоограничителя;

во-вторых, габаритные размеры таких устройств невелики. Конструкция таких устройств вполне выполнима, что позволяет надеяться на их внедрение в реальную энергетику.

В докладе В. С. Круглова (РНЦ КИ) сообщается о разработанном в России методе формирования сильноточных ВТСП-структур из метастабильного состояния применительно к получению опытных прототипов тоководов для работы в интервале 60—4,2 К. Приведены результаты расчета теплопритоков для конкретных ВТСП-тоководов.

Изучению механизмов отвода тепла от модельных ВТСП-тоководов был посвящен доклад А. А. Лаврухина (МИФИ). Самым узким местом в тепловой стабилизации сверхпроводника является стык медной шины и ВТСП-образца, где имеется электрическое сопротивление и наиболее высокая температура. Джоулев разогрев при больших плотностях транспортного тока обуславливает необходимость эффективного отвода тепла в этом месте. Экспериментально исследованы механизмы отвода тепла в жидкий азот с поверхности токовода, начиная с естественной конвекции и до турбулентной теплопроводности, соответствующей пузырьковому кипению азота. Переход от режима естественной конвекции к пузырьковому кипению сопровождается постепенным понижением перегрева и, как следствие, возвращением образца в исходное состояние. Этот процесс сопровождается активизацией центров парообразования внутри многочисленных пор на керамической поверхности ВТСП, причем эти центры остаются активными и при уменьшении теплового потока. Получены также характеристики нестационарного теплообмена с ВТСП в жидкий азот. Показано, что минимальный нестационарный критический тепловой поток более чем в два раза меньше стационарного критического теплового потока, при этом пленочное кипение на поверхности ВТСП может приводить к резкому увеличению его температуры вплоть до разрушения проводника. При охлаждении образцов однофазным хладагентом (например, газообразным гелием) разогрев может продолжаться вплоть до разрушения ВТСП-тоководов (нет эффективной теплоотдачи благодаря парообразованию), что требует специального рассмотрения тепловой стабильности тоководов.

Доклад А. В. Филатова (МГТУ) был посвящен конструированию пассивных магнитных подвесов на основе ВТСП. Магнитные (бесконтактные) подшипники на основе ВТСП позволят получить рекордно малое трение, коэффициент трения в тысячу раз меньше, чем у лучших шариковых подшипников. Обычные шарикоподшипники имеют ограниченный срок службы. Газодинамические подшипники требуют газовую среду для своей работы, а перезапуск такого устройства может вывести из строя ротор. Для стабилизации космических аппаратов применяют активные магнитные подвесы, но они потребляют энергию и имеют большие габариты.

Целью разработки было создание пассивного магнитного подвеса взамен активного. Ранее были известны подобные попытки, например, использовался Nb-ротор в поле постоянного магнита, но для его работы требовался жидкий гелий, что ограничивало условия применения. В данной разработке подвес осуществляется на основе короткозамкнутых СП-контуров из ВТСП-материала во внешнем магнитном поле.

Пассивные магнитные подвесы для неконтактного подвеса валов могут использоваться, например, для стабилизации спутников связи. На космическом аппарате можно накапливать энергию на быстровращающемся валу при нахождении на свету и отдавать ее бортовой аппаратуре при пребывании в тени. Подвес вращающихся валов в криогенной аппаратуре может снизить тепловыделение в низкотемпературной зоне и увеличить ресурс оборудования. В военной

технике подобные подвесы отвечают за стволы танков при движении, а в мирной жизни позволяют производить кино съемку из мчащегося автомобиля. Перечисление возможных применений пассивной магнитной подвески можно продолжить и находить новые сферы применения.

Представленные И. О. Щеголевым (ИВТ РАН) экспериментальные результаты исследования параметров сетчатой структуры органической изоляции и структурных особенностей в устройствах обмотки с поверхности композитного сверхпроводника представляют существенный практический интерес при конструировании как традиционных, так и ВТСП-обмоток.

Общее впечатление о состоявшейся Школе.

Прослушанные доклады и неформальный обмен мнениями между участниками подтвердили, что за последний год в области сверхпроводимости не произошло никаких резких прорывов, идет планомерное накопление данных в фундаментальных исследованиях СП, совершенствуются методики, неуклонно возрастает наше понимание сущности СП. В условиях недостаточного финансирования наблюдается общее уменьшение числа экспериментальных научных работ в России, тем более выполняемых с использованием уникальных методов, приемов, установок. Тем не менее конкретные разработки (СП-кабеля, провода, приборов и др.) дают основания для оптимизма и вселяют уверенность, что в ближайшие годы рынок коммерческих СП-устройств будет резко расти.

**PROBLEMS AND PERSPECTIVES OF APPLIED
HIGH-CURRENT SUPERCONDUCTIVITY:
HIGHLIGHTS OF THE SCHOOL ON SUPERCONDUCTIVITY,
MAY 25—30, 1997**

(base "Kurchatovets", Protvino, Russia)

I. S. Baikov

The All-Russia Research Institute of Interbranch Information, Moscow, Russia

V. S. Kruglov, A. K. Chernyshova

RRC "Kurchatov Institute", Moscow, Russia

L. S. Shirshov

Institute of High-Energy Physics, Protvino, Russia

A short review of the reports presented in the School on most advanced achievements in the fields of high-current superconductivity, its applications and future evolution is given.