

ниобиевые стержни. Этую заготовку подвергают волочению для достижения нужного диаметра провода. Полученный таким способом многожильный провод покрывают термостойким изолятором и наматывают соленоид. Изготовленную обмотку помещают в печь при $T = 900^\circ\text{C}$. Олово диффундирует из бронзы, и на поверхности ниobia формируется микрометровый слой Nb_3Sn . Технология изготовления исходного провода стала проще, а изготовление магнитов усложнилось. В СССР инициаторами "бронзовой" технологии стали сотрудники Всесоюзного научно-исследовательского института неорганических материалов (ныне — Всероссийский научно-исследовательский институт неорганических материалов им. А.А. Бочвара) В.Я. Филькин, А.Д. Никулин и А.К. Шиков. Сейчас эта технология является основной в производстве сверхпроводящих многожильных проводов для магнитных систем с большим полем. И хотя магниты с проволочной обмоткой имеют поле на 1–2 Тл меньшее, чем ленточные (галетные), они являются более надёжными и стабильными. У "бронзовой" технологии оказалось несколько важных преимуществ: отсутствие в диффузионном слое других станидов помимо Nb_3Sn , высокая прочность многожильного провода, автоматически обеспечивающаяся токовая и магнитная стабилизация, высокая тококонесущая способность и, главное — сохранение незменности параметров на большой длине провода.

В середине 1970-х годов работы над ленточными сверхпроводниками были свёрнуты. Лишь с появлением высокотемпературных сверхпроводников интерес к ним вернулся. Если использовать современные технологии и применять многослойную (упрочнённую) ниобиевую ленту, то, вполне возможно, способ получения сверхпроводящей ленты с помощью твердофазной диффузии, который начал разрабатывать Н.Е. Алексеевский, может вновь возродиться.

Автор благодарен Е. Николаеву за поиск архивных материалов АН СССР.

Список литературы

1. Buckel W *Supraleitung. Grundlagen und Anwendung* (Weinheim: Physik-Verlag, 1972) [*Super-conductivity. Fundamentals and Applications* (Weinheim: VCH, 1991); Буккель В *Сверхпроводимость. Основы и приложения* (М.: Мир, 1975)]
2. Алексеевский Н Е, Агеев Н В, Михайлов Н Н, Шамрай В Ф *Письма в ЖЭТФ* 9 28 (1969) [Alekseevskii N E, Ageev N V, Mikhailov N N, Shamrai V F *JETP Lett.* 9 16 (1969)]
3. Kunzler J E *Rev. Mod. Phys.* 33 501 (1961)
4. Martin D L et al. *Cryogenics* 3 161 (1963)

PACS numbers: 01.65.+g, 07.55.Db, 84.71.Ba
DOI: 10.3367/UFNr.0183.201302k.0219

История создания и развития Международной лаборатории сильных магнитных полей и низких температур

В.И. Нижанковский, В.И. Цебро

Отмечая 100-летие со дня рождения выдающегося учёного-физика, члена-корреспондента АН СССР Николая Евгеньевича Алексеевского, крупнейшего специалиста в

В.И. Нижанковский. Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН, Москва, РФ
В.И. Цебро. Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, РФ. E-mail: tsebro@sci.lebedev.ru

области сверхпроводимости, физики низких температур и физики металлов, нельзя не отметить тот огромный вклад, который Николай Евгеньевич внёс в дело организации и развития Международной лаборатории сильных магнитных полей и низких температур (МЛ) во Вроцлаве. Достижения Н.Е. Алексеевского в указанных выше областях физики общизвестны и признаны. Если говорить о научно-организационной деятельности Н.Е. Алексеевского, которая включала его интенсивную работу в ряде советов и комиссий, в том числе международных¹, то самым крупным достижением Николая Евгеньевича как учёного-организатора, безусловно, является создание в 1968 г. Международной лаборатории и активное, в течение четверти века, участие в её развитии.

Побудительные мотивы, которые заставили Н.Е. Алексеевского с энтузиазмом взяться за эту трудную, отнимающую много времени от любимого занятия самой наукой, работу изложены в самом начале его статьи (в соавторстве с Е.П. Краснопёровым) в сборнике [1], посвящённом многостороннему сотрудничеству академий наук социалистических стран, вышедшем в 1978 г., в год 10-летия МЛ: "Развитие современной физики твёрдого тела в значительной мере зависит от возможности проведения исследований в сильных магнитных полях и при низких температурах. Экспериментальные установки для таких исследований в большинстве случаев являются достаточно дорогими. Их коллективное использование позволяет снизить затраты на проведение дорогостоящих экспериментов, избежать параллелизма, а также использовать опыт, накопленный в разных странах, иными словами, приводит к повышению эффективности научных исследований. Научные разработки, требующие сложного и дорогостоящего оборудования, при таком решении вопроса становятся доступными для всех стран, открывая перед ними возможность проведения актуальных фундаментальных исследований".

Идея создания Международной лаборатории, согласно воспоминаниям Ч. Базана, который с начала её основания в 1968 г. и до ухода на пенсию в 1985 г. был заведующим МЛ, принадлежала польской стороне. Ч. Базан в мемуарах, опубликованных в сборнике [2], пишет: "Сама идея создания такой лаборатории исходила, по-видимому, от польского физика профессора Романа Ингардена. В 50-х годах он организовал во Вроцлаве лабораторию низких температур ПАН и посещал низкотемпературные центры в Европе, в том числе в Москве и Харькове. Таким образом он познакомился с Н.Е. Алексеевским, и они уже тогда смогли провести предварительные дискуссии о целесообразности создания МЛ... Официальное предложение было изложено на очередном заседании комиссии экспертов СЭВ в Минске в 1964 г... Идея создания лаборатории встретила горячую поддержку Николая Евгеньевича, и он сразу занялся претворением её в жизнь..."

Следует отметить, что выбор места для будущей Международной лаборатории был в значительной степени не случаен и созданию МЛ во Вроцлаве способствовали определённые благоприятные обстоятельства. Во-первых, во Вроцлаве при Институте низких температур и струк-

¹ С 1952 по 1954 гг. и с 1962 по 1967 гг. Н.Е. Алексеевский возглавлял Научный совет по проблеме "Физика низких температур", много лет являлся председателем Комиссии по сверхпроводимости при Секции физико-технических и математических наук Президиума АН СССР, а с 1966 по 1972 г. был представителем СССР в Комиссии сверхнизких температур Международной ассоциации фундаментальной и прикладной физики (IUPAP).



Рис. 1. Старое (а) и новое (б) здания МЛ. (Фотографии 2003 г.)

турных исследований Польской академии наук уже существовала занимавшаяся разработкой водоохлаждаемых магнитов лаборатория (возглавляемая Р. Ингарденом), в которой с 1961 г. проводились эксперименты в магнитном поле 4 Тл биттеровского соленоида. Кроме того, к 1968 г., когда начала функционировать МЛ, К. Тройнаром, который станет в ней главным конструктором биттеровских соленоидов [3], уже был спроектирован соленоид с магнитным полем 10 Тл. Во-вторых, в городе благодаря переводу трамвайной сети на систему выпрямителей освобождались мотор-генераторы общей мощностью около 9 МВт, и Вроцлавское отделение электросети передало Польской академии наук здание станции (рис. 1а) по преобразованию переменного тока вместе с моторами-генераторами (рис. 2), переключателями и трансформаторами. И наконец, не было никаких проблем с обеспечением экспериментов жидким гелием — имелись гелиевый охладитель фирмы Philips и дешёвый гелий (в залежах природного газа близ Вроцлава было обнаружено очень высокое содержание гелия, и его стали добывать и охаживать впоследствии в промышленном масштабе).

После многочисленных предварительных консультаций и согласований 11 мая 1968 г. представители четырёх академий наук — Народной Республики Болгарии, Германской Демократической Республики, Польской Народной Республики и Союза Советских Социалистических Республик — подписали "Соглашение об учреждении Международной лаборатории сильных магнитных полей и низких температур" в целях проведения теоретических и экспериментальных исследований в области сильных ста-



Рис. 2. Зал моторов-генераторов для питания биттеровских соленоидов в старом здании МЛ (современный вид).

ционарных магнитных полей и низких температур. Соглашение определяло организационные принципы руководства и основные направления работ МЛ. Руководство деятельностью МЛ было возложено на коллективный орган — Совет Международной лаборатории, а также её директора. На первом заседании Совета МЛ председателем Совета был избран Н.Е. Алексеевский, а её первым директором стал В. Тшебятовский², один из активных инициаторов создания МЛ. В протоколе к Соглашению об учреждении МЛ размер долевого участия на покрытие расходов, связанных с проведением научных исследований, определялся следующим образом: Болгарская академия наук — 8 %, Немецкая академия наук в Берлине Германской Демократической Республики — 25 %, Польская академия наук — 26 % и Академия наук СССР — 41 %.

Согласно статье III Соглашения, основными задачами МЛ являлись:

- исследование свойств сверхпроводников, новых сверхпроводящих систем, формы поверхности Ферми металлов, электронной структуры магнитных материалов, взаимодействий магнитных моментов ядер в твёрдом теле;
- получение самых низких температур и развитие методов адиабатического размагничивания;
- развитие методов создания сильных магнитных полей;
- разработка конструкций бесстержневых электромагнитов, охлаждающихся водой или конденсированными газами;
- проведение метрологических работ в области сильных магнитных полей и низких температур.

Наиболее значимые даты и этапы деятельности МЛ с момента её основания и до наших дней приведены на сайте лаборатории (табл. 1) [4].

² Тшебятовский (Trzebiatowski) Владзимеж (1906–1982) — польский химик, иностранный член АН СССР (1976), академик (1952) и президент (1972–1977) Польской академии наук. В 1966–1967 гг. вместе с Р. Ингарденом организует во Вроцлаве Институт низких температур и структурных исследований Польской академии наук, которым руководит до своей кончины в 1982 г. Автор трудов по неорганической и физической химии, технологии цветных и редких металлов, магнетизму редкоземельных и урановых соединений.

Таблица 1. Этапы развития деятельности Международной лаборатории

| | |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1964 г. | Идея создания лаборатории (Роман Ингарден) |
| 1968 г. | Подписание Соглашения о создании МЛ между странами участниками СЭВ — НРБ, ГДР, ПНР и СССР |
| 1975–1980 гг. | Ввод в строй биттеровского магнита (20 Тл) и импульсного магнита (48 Тл) |
| 1982–1985 гг. | Развитие идеи существенной модернизации лаборатории |
| 1988–1989 гг. | Начало модернизации, предполагающей получение постоянного магнитного поля величиной до 30 Тл и переход на тиристорные источники питания |
| 1993–1994 гг. | Изменение вектора развития в сторону создания квазистационарных магнитных полей с длительным временем импульса |
| 1999–2001 гг. | Частичное выполнение процесса модернизации. Ввод в строй нового лабораторного корпуса |
| 2002–2005 гг. | Конструирование и запуск серии квазистационарных магнитов |
| 2004–2007 гг. | Существенное обновление приборного парка. Приобретение нового сверхпроводящего магнита (15 Тл) |
| 2006 г. | Получение лабораторией статуса международного института Польской академии наук |

Таблица 2. Биттеровские магниты Международной лаборатории

| Тип магнита | Максимальное поле, кЭ | Диаметр рабочего отверстия, см | Мощность, МВт | Съём тепла, Вт см ⁻² | Год ввода в строй |
|-------------|-----------------------|--------------------------------|---------------|---------------------------------|-------------------|
| E40* | 43 | 8,5 | 1,5 | 218 | 1961 |
| E100 | 90 | 4,3 | 1,8 | 450 | 1969 |
| E150 | 145 | 3,4 | 4,2 | 540 | 1971 |
| E200 | 185 | 2,5 | 5,2 | 660 | 1975 |

* Демонтирован в 1973 г. (см. [5]).

На первом этапе основные усилия сотрудников МЛ были сосредоточены на развитии методов создания сильных магнитных полей с помощью биттеровских водоохлаждаемых магнитов и на конструировании магнитов различной мощности как основы экспериментальной базы лаборатории. В результате к 1975 г. в МЛ были последовательно введены в эксплуатацию несколько биттеровских магнитов (табл. 2), в том числе самый крупный трёхсекционный магнит E200 (рис. 3, 4). Параллельно проводилась большая исследовательская работа по усовершенствованию водоохлаждаемых магнитных систем. Так, с целью достижения максимального поля при заданной мощности было изучено влияние охлаждающих отверстий в медных дисках соленоида на коэффициент его эффективности и найдено оптимальное их распределение [6]. Специалистами из Института физики им. Л. В. Киренского Сибирского отделения АН СССР было предложено модифицировать традиционную биттеровскую конструкцию, заменив разборные диски компаундированными эпоксидной смолой галетами. Проведённые в МЛ эксперименты показали, что в каналах, охлаждающих галеты, теплосъём выше и, кроме того, такая конструкция способна выдержать большие механические нагрузки [8].

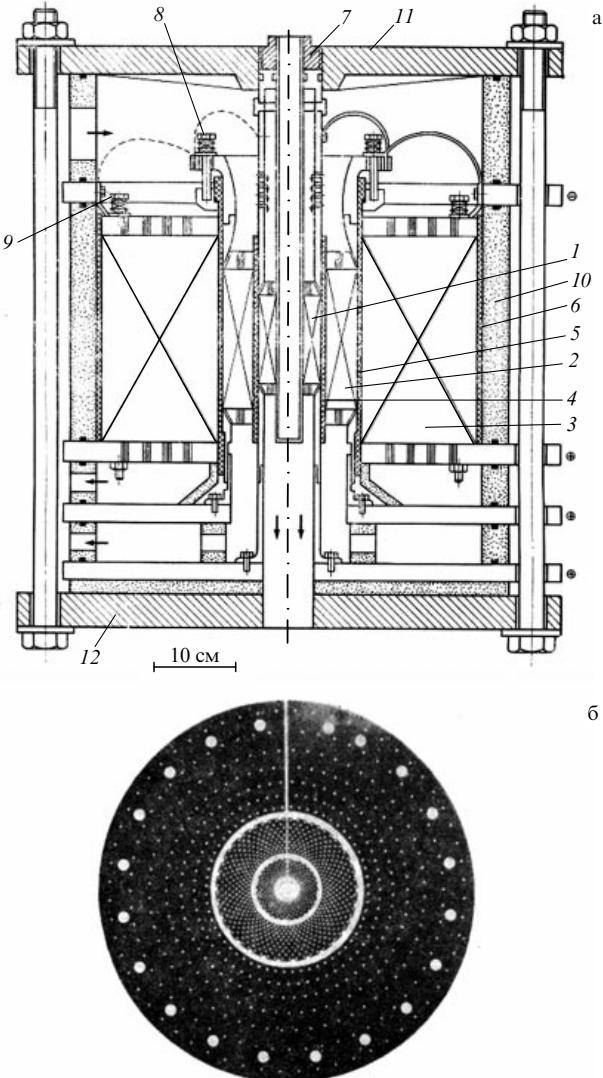


Рис. 3. (а) Поперечное сечение биттеровского магнита E200: 1 — внутренняя, 2 — средняя и 3 — внешняя секции, 4–6 — изоляционные трубы, 7 — гайка, 8 — болты, 9 — изолированные шпильки, 10 — корпус, 11 — верхняя и 12 — нижняя крышки. (б) Конфигурация биттеровских пластин.

Однако в конечном итоге компаундированные галеты себя не оправдали, поскольку срок их эксплуатации оказался небольшим³. Однако целиком и полностью оправдала себя другая идея красноярских учёных Б. Хрусталёва, Ю. Кочарова и Ю. Катрухина — использовать для трёхсекционного магнита E200 в качестве внутренней секции катушки типа "полигеликс" [9]. В этом случае в магните E200 было получено максимальное поле 207 кЭ (вместо 185 кЭ (см. табл. 2)), но, главное, срок службы секции составил 15 лет (!).

Помимо водоохлаждаемых магнитных систем, в МЛ использовались и сверхпроводящие соленоиды. Один из них (изготовленный по заказу МЛ в 1975 г. из ниобий-

³ Как вспоминает в мемуарах К. Тройнар [3]: "...на конференции по магнитным технологиям, которая состоялась в Гренобле в 1983 г., мы узнали от сотрудников лаборатории им. Ф. Биттера Массачусетского технологического института (МИТ), что там также занимались этой задачей и также не достигли успеха".



Рис. 4. (а) Биттеровский магнит Е150. (б) Магниты Е150 и Е200 (современный вид).

оловянной ленты фирмой Intermagnetics⁴), создающий поле до 15 Тл, используется и сейчас. Для измерений теплоёмкости в МЛ был изготовлен другой сверхпроводящий соленоид из ниобий-титановой проволоки, создающий поля до 6 Тл и работающий в режиме замороженного потока. В качестве следующего шага развития методов получения сильных магнитных полей была запланирована постройка гибридного соленоида с магнитным полем 30 Тл. Внешнюю секцию (примерно на 10 Тл) предполагалось сделать из сверхпроводящего кабеля, а внутреннюю водоохлаждаемую (на 20 Тл) — из новых материалов с улучшенными изоляционными и механическими свойствами. (Увы, в силу многих, прежде всего экономических, причин этому проекту не суждено было осуществиться.)

Первое десятилетие функционирования МЛ характеризовалось интенсивными научными исследованиями по всем направлениям её деятельности. Наиболее интенсивно под руководством Н.Е. Алексеевского изучались сверхпроводящие системы с высокими критическими параметрами, такие как соединения со структурой А-15, а также тройные халькогениды молибдена. Научными организациями СССР и ГДР совместно с МЛ была разработана сверхпроводящая лента на основе соединения ниobia с оловом и кабель на основе соединения ванадия с галлием. В ниобий-оловянной ленте была достигнута рекордно

⁴ Отметим, что это был один из первых пилотных образцов сверхпроводящих соленоидов ленточного типа фирмы Intermagnetics (США), которая впоследствии выпустила целую серию подобных соленоидов.

высокая по тем временам плотность критического тока в поле 10–15 Тл при температуре жидкого гелия. Активно исследовались сверхпроводящие свойства тройных халькогенидов молибдена, которые при температурах сверхпроводящего перехода ≈ 14 К обладали очень высокими значениями верхнего критического поля, существенно превышающими так называемый парамагнитный предел.

Исследования магнитных материалов, таких как бинарные и тройные соединения урана с элементами V и VI групп периодической системы, проводились в МЛ под руководством В. Тшебятовского в тесном контакте с возглавляемым им Институтом низких температур и структурных исследований ПАН. Эти исследования, включающие в себя измерения намагниченности в широком интервале температур и полей, а также измерения теплоёмкости и теплопроводности, были направлены на выяснение механизмов намагничивания, определения величины обменного взаимодействия, магнитной структуры и причин перехода одной магнитной фазы в другую. При выполнении этих работ у ряда соединений урана были обнаружены аномально большие поля магнитной анизотропии, порядка 10^6 Э. Столь сильная анизотропия объяснялась существованием анизотропного кристаллического поля, взаимодействие которого с ионом урана почти на порядок превышает обменное взаимодействие.

В гальваномагнитных исследованиях, которые в МЛ также выполнялись под непосредственным руководством Н.Е. Алексеевского, важное место занимало изучение электронных свойств различных металлов, прежде всего определение топологии поверхности Ферми и изучение такого явления, как магнитный пробой, при котором электроны в сильном магнитном поле туннелируют между отдельными частями поверхности Ферми. В проведённых в МЛ экспериментах по изучению магнетосопротивления в сильных магнитных полях было открыто существование магнитного пробоя у ниobia, ванадия, рутения и железа. Была продемонстрирована также возможность использования явления магнитного пробоя для практических целей. Так, в результате изучения гигантских магнитопробойных осцилляций магнетосопротивления бериллия был сконструирован бериллиевый датчик с чувствительностью к изменению магнитного поля 5×10^{-7} в интервале полей 7–8 Тл. Здесь следует отметить, что в те годы МЛ во Вроцлаве занимала в области изучения магнитного пробоя одно из ведущих мест в мире. И этому способствовало прежде всего наличие монокристаллов различных переходных металлов с рекордно высоким уровнем чистоты, приготовление которых стало возможным в результате тесного сотрудничества академий наук ГДР, Польши и СССР.

В уже упомянутой статье сборника [1], вышедшей в год 10-летия МЛ, отмечается: "Международная лаборатория за сравнительно короткий период своего существования превратилась в активно действующую международную организацию. В ней создан и успешно действует международный научно-исследовательский коллектив, который выполнил ряд интересных исследований и получены важные практические результаты... В настоящее время с Международной лабораторией сотрудничают 2 института Болгарской академии наук, 3 — Академии наук ГДР, 3 — Польской академии наук, 10 — Академии наук СССР; их число непрерывно увеличивается...".

Дальнейшему интенсивному развитию работ МЛ в 1980-е годы в существенной мере помешала политическая обстановка в Польше, введение в стране в 1981 г. военного положения и, соответственно, тяжёлая экономическая ситуация в промышленности и науке. Но, несмотря на

экономические трудности, именно в эти годы идея существенной модернизации лаборатории, которая подразумевала прежде всего получение постоянного магнитного поля до 30 Тл и переход на тиристорные источники питания для биттеровских магнитов, начинает реализовываться. Н.Е. Алексеевский предпринимает героические усилия по добыванию денег, необходимых для этого проекта, и в середине 1980-х годов СССР выделяет для этой цели порядка 1 млн рублей. Заказ на разработку и постройку специально для МЛ во Вроцлаве тиристорных источников питания суммарной мощностью 30 МВт был размещён и успешно выполнен на предприятиях Эстонской ССР.

В первоначальном плане модернизации предполагалось расширение МЛ и постройка нового корпуса лаборатории на окраине Вроцлава вблизи реки Одра, с тем чтобы использовать воды реки для охлаждения биттеровских магнитов во вторичном контуре системы охлаждения. Предполагалось, что гибкая система управления питанием даст возможность проводить эксперименты параллельно на четырёх установках в поле 18 Тл или, при условии подключения всей энергии к одной установке, в поле до 30 Тл. Так планировал развитие МЛ Н.Е. Алексеевский. Но история распорядилась по-своему. Распад СССР и его политические и экономические последствия намного отодвинули во времени реализацию планов модернизации МЛ. Новый корпус лаборатории (рис. 1б) со смонтированным силовым тиристорным оборудованием был введён в строй только в конце 1990-х годов, через несколько лет после ухода Н.Е. Алексеевского из жизни. И построен он был не на берегу реки Одра, а рядом со старым зданием.

В начале 1990-х годов у Н.Е. Алексеевского возникают серьёзные проблемы со здоровьем и на фоне трагических для отечественной науки внешних событий в стране он практически отходит от дел. В апреле 1993 г., за полгода до своей кончины, Н.Е. Алексеевский передаёт полномочия председателя Совета МЛ А.С. Боровику-Романову. (Список председателей Совета МЛ и её директоров в разные годы её деятельности представлен в табл. 3.) А за месяц до этого экспертная группа, состоящая из учёных Российской и Польской академий наук, рассмотрела вопрос о дальнейшей судьбе МЛ, и основным итогом встречи экспертов явилось предложение о развитии в МЛ техники квазистационарных магнитных полей напряжённостью выше 40 Тл. Дело в том, что в новых условиях пореформенной Польши стали недоступными требуемые для регулярной работы биттеровских соленоидов электрические мощности, во-первых, из-за отсутствия необходимых ресурсов (отказ Вроцлавского отделения электроэнергии предоставить электроэнергию мощностью несколько мегаватт в дневное время, в результате чего МЛ перешла на ночной режим работы при проведении экспериментов на биттеровских магнитах) и, во-вторых, из-за очень высокой стоимости электроэнергии, что самым негативным образом сказалось на лабораторном бюд-

жете. Тогда было предложено использовать мощное тиристорное оборудование для работы в режиме длинного импульса, при котором требуемая электрическая мощность затрачивается в течение нескольких долей секунды [10].

Во второй половине 1990-х и начале 2000-х годов была проведена большая работа по реализации этой идеи и созданию в МЛ техники получения квазистационарных магнитных полей напряжённостью выше 40 Тл. Работа велась одновременно в нескольких направлениях. Во-первых, были выполнены расчёты электрических и механических свойств предполагаемых к изготовлению импульсных катушек. Во-вторых, необходимо было выбрать материал для различных секций импульсного соленоида. Это должен быть предельно прочный в механическом отношении композиционный сплав с требуемой величиной электрического удельного сопротивления. Работы по таким сплавам, а именно микрокомпозитам Cu–Nb, проводились в России во Всероссийском научно-исследовательском институте неорганических материалов им. академика А.А. Бочвара. Этот уникальный материал имеет рекордно высокие прочностные характеристики ($\sigma_b > 1000$ МПа) и высокую проводимость, порядка 75 % проводимости чистой меди. В-третьих, тиристорный источник питания, первоначально предназначавшийся для использования с биттеровскими магнитами в стационарном режиме, необходимо было значительно модернизировать для работы в режиме длинного импульса. На окончательную отладку системы управления питанием импульсных катушек и измерительного оборудования для исследования транспортных и оптических свойств образцов материалов ушло более двух лет.

И наконец, большие усилия были затрачены на разработку и отладку технологии намотки импульсных магнитов, постройку оборудования, изготовление необходимой оснастки. Для согласования с параметрами тиристорного источника питания импульсные магниты (рис. 5) делались многосекционными с последовательно-параллельным соединением отдельных секций. Секционирование применялось и для уменьшения механических напряжений в магните — он состоял из двух или даже трёх катушек, вложенных одна в другую с небольшим радиальным зазором [11]. В результате магнит с рабочим отверстием 25 мм выдерживал более 200 импульсов амплитудой 30–38 Тл. На рисунке 6 импульсный магнит, создающий поле 48 Тл, с гелиевым криостатом и измерительной вставкой показан в рабочей обстановке в магнитном зале МЛ. В последнее время в МЛ изготовлен импульсный магнит с отверстием, увеличенным до 30 мм. После изготовления соответствующего криостата с He^3 это позволит понизить температуру проведения экспериментов до 0,4 К с сохранением достаточно большого рабочего объёма.

Со времени начала функционирования МЛ во Вроцлаве прошло 44 года. Уже почти 20 лет, как с нами нет Н.Е. Алексеевского, но его любимое детище продолжает жить и развиваться. Интерес к проведению измерений в МЛ остаётся весьма высоким, и около 10 % поступающих заявок приходится отклонять из-за переполнения программы работ. Так, в 2011 г. эксперименты в МЛ проводились с участием 71 учёного (не считая польских учёных), из них 35 — граждане России из 15 институтов РАН и 5 университетов. В том же году были опубликованы 54 работы в периодических изданиях и 20 работ в трудах конференций.

Изменился состав членов МЛ. Полноправные (постоянные) члены лаборатории, вносящие членские взносы, — это Болгарская академия наук (5 %), Национальная

Таблица 3. Председатели Совета и директора Международной лаборатории в разные годы её деятельности

| Председатель Совета МЛ | Директор МЛ |
|----------------------------------------|-----------------------------------|
| Н.Е. Алексеевский, 1968–1993 гг. | В. Тшебятовский, 1968–1982 гг. |
| А.С. Боровик-Романов, 1993–1997 гг. | Б. Сталинский, 1982–1993 гг. |
| А.Ф. Андреев, с 1997 г. | Я. Клямут, 1993–2012 гг. |

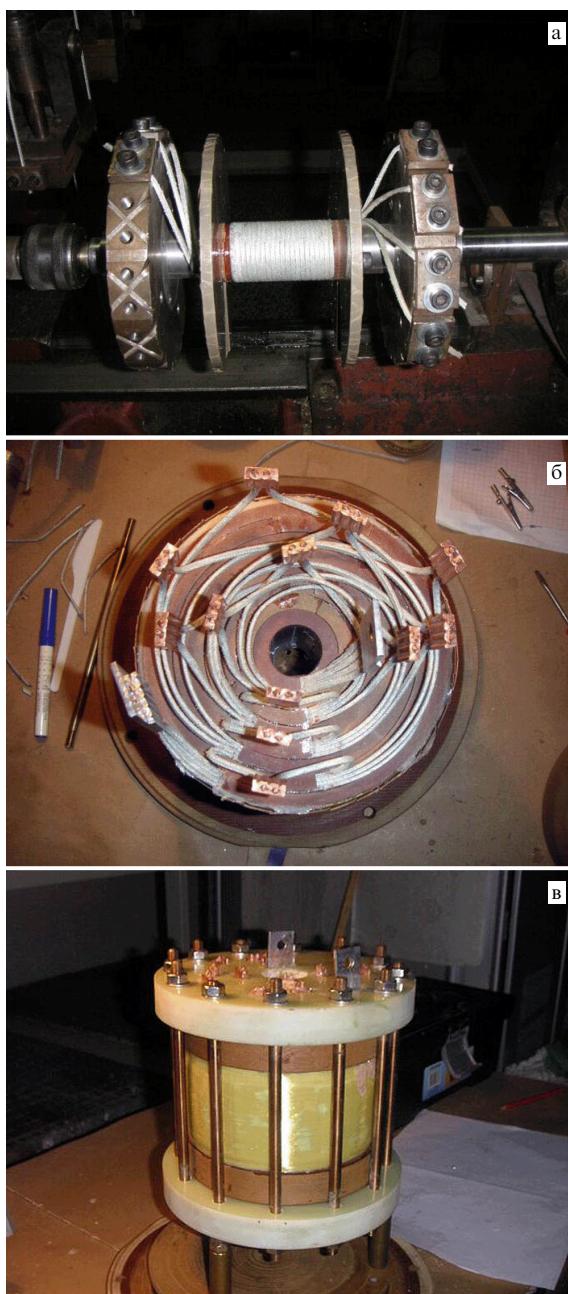


Рис. 5. Изготовление импульсного магнита: (а) намотаны четыре из 32 слоёв, (б) опрессованы соединения между слоями и секциями. (в) Готовый магнит.

академия наук Украины (5 %), Польская академия наук (60 %) и РАН (30 %). В МЛ появились ассоциированные члены — научные организации из Англии (2), Молдавии (1) и Германии (1), которые оплачивают свои расходы на криогенные жидкости и электроэнергию. Их права в принятии решений о деятельности МЛ сильно ограничены. В настоящее время годовой бюджет МЛ немножко превышает 1 млн долларов.

"Самым важным достижением является коллективный труд... Сотрудничество помогает проводить наиболее актуальные исследования в области физики твёрдого тела... ибо наука в мире становится всё дороже, поэтому



Рис. 6. Импульсный магнит (48 Тл) с гелиевым криостатом и измерительной вставкой в магнитном зале МЛ. Магнит помещён в пластиковый криостат с жидким азотом.

работы надо вести коллективно". (Из ответа Н.Е. Алексеевского на вопрос журналиста местной газеты в связи с 20-летием МЛ о наиболее важном её достижении, Вроцлав, 1988 г.)

Список литературы

1. Алексеевский Н Е, Красноперов Е П, в сб. *Многостороннее сотрудничество академий наук социалистических стран* (Под общ. ред. Г К Скрябина) (М.: Наука, 1978) с. 138
2. Базан Ч, в сб. *Портрет экспериментатора: Николай Евгеньевич Алексеевский* (Под общ. ред. М Н Михеевой) (М.: Academia, 1996) с. 112
3. Тройнар К, в сб. *Портрет экспериментатора: Николай Евгеньевич Алексеевский* (Под общ. ред. М Н Михеевой) (М.: Academia, 1996) с. 121
4. Powstanie Laboratorium, <http://www.ml.pan.wroc.pl/pl/historia/>
5. Тройнар К А, Базан Ч Э *ПТЭ* (3) 214 (1972)
6. Trojnar K *Acta Phys. Polonica A* **40** 821 (1972)
7. Bazan C, in *Fizyka i chemia ciala stałego* Vol. 1 (Pod red. B Stalińskiego) (Wroclaw: Zaklad Narodowy im. Ossolińskich, 1977) p. 161
8. Khrustalev B P et al. *J. Phys. E Sci. Instrum.* **10** 140 (1977)
9. Schneider-Muntau H J, Rub P *The Helix Project, Colloques Intern. C.N.R.S., No. 242 Physique Sous Champs Intenses* (1974) p. 161
10. Nizhankovskii V I et al., in *Proc. of 14th Intern. Conf. on Magnet Technology, Helsinki, 1995*
11. Berezovetz V A et al., in *Megagauss-9. Proc. of Ninth Intern. Conf. on Megagauss Magnetic Field Generation and Related Topics, Moscow-St. Petersburg, July 7–14, 2002* (Ed. V D Selemir, L N Plyashkevich) (Sarov: VNIIIEF, 2004) p. 90