



Вадим Амеличев – А. К. Шиков. «Мистер сверхпроводимость»

Карандаши, бумага, 30x40 см, 2024



УДК 538.945

Статья

## К 75-летию А.К. Шикова. Памяти «Mister Superconductor»

С.В. Шавкин\*, В. С. Круглов

НИЦ «Курчатовский институт», пл. Академика Курчатова, д. 1, 123182, Москва, Россия

\* e-mail: Shavkin\_SV@nrcki.ru

Статья в память об известном ученом, докторе технических наук, профессоре Александре Константиновиче Шикове (11.10.1948–26.10.2013), внесшем громадный вклад в сохранение и развитие отечественной прикладной сверхпроводимости в трудные для нее времена.

Ключевые слова: многоволоконный сверхпроводящий провод, бронзовая технология, сплав Nb-Ti, соединение Nb<sub>3</sub>Sn, ИТЭР, токамак, высокотемпературный сверхпроводник.

DOI: 10.62539/2949-5644-2024-0-1-1-7

*«У нас впереди очень много очень интересной работы,  
и я благодарен судьбе за то, что она связала меня  
со сверхпроводимостью».*

*А.К. Шиков*

За сухими строками биографии любого человека не всегда виден масштаб личности. Время, как обычно, все расставляет по своим местам. Вот уже более десяти лет нет с нами Александра Константиновича Шикова. Но многие люди постоянно вспоминают о нем, и вспоминают с глубоким сожалением о его преждевременном уходе. «Был бы жив Шиков, все могло бы быть по-другому». Это ли не лучшая память о человеке, большом ученом и организаторе? Его усилия во многом определили нынешний облик отечественной прикладной сверхпроводимости, на его примере воспитывались многие ученые и руководители. Плодами его труда пользуются все те, кто вовлечен в такую сложную, но бесконечно интересную область, как сверхпроводимость. Ему удалось поработать в двух соседних организациях, скрепленных многолетней дружбой и совместными работами в прикладной сверхпроводимости — в АО ВНИИНМ им. А.А. Бочвара и в НИЦ «Курчатовский институт». И везде сотрудники отзываются о нем с теплотой.

Интересно, что в декабре 2008 года руководители отделения магнитов и секции сверхпроводниковых систем ИТЭР Нил Митчелл и Арно Девре вместе с заместителем генерального директора по токамаку Гэри Джонсоном на банкете в г. Кадараш (Франция) воспользовались возможностью поднять бокалы за вдохновителя выдающихся усилий, вложенных Россией в разработку сверхпроводников для ИТЭР. В шутовском тосте Александру Константиновичу было присвоено почетное звание «Мистер сверхпроводник». Александр Константинович очень гордился таким признанием своих заслуг, правда, вспоминал об этом всегда с улыбкой (рис. 1).

Шиков А.К. родился 11 октября 1948 года в г. Норильске Красноярского края в семье служащих. Сам он не рассказывал о детских и юношеских годах, но очевидно, что суровые северные условия способствовали укреплению характера и развитию целеустремленности молодого человека. В 1966 году после окончания школы в Норильске он поступил в Московский институт стали и сплавов на факультет цветных и редких металлов и сплавов по специальности «Металловедение и технология термической обработки металлов», который окончил в 1971 году.

По окончании института был направлен во ВНИИ неорганических материалов (ныне — АО ВНИИНМ им. А.А. Бочвара) Министерства среднего машиностроения (ныне Государственная Корпорация «Росатом») в лабораторию по разработке технологий получения конструкционных и функциональных материалов атомной техники и изделий из них. Он стал заниматься разработкой сверхпроводников на основе соединения  $Nb_3Sn$  и технологии их получения для создания крупномасштабных магнитных систем установок термоядерного синтеза.

До 1972 года тематикой сверхпроводимости занимались несколько групп специалистов из различных подразделений ВНИИНМ, было проведено большое количество исследований, получены опытные и промышленные образцы сверхпроводников. Эти результаты были положены в основу деятельности специальной лаборатории, созданной в отделении под руководством доктора технических наук Анатолия Дмитриевича Никулина, который был организатором и вдохновителем этого направления более 30 лет, с самого начала работ и до последнего дня его жизни. Эстафету подхватил его ученик и последователь — Александр Константинович Шиков. В его зоне ответственности были многоволоконные провода на основе соединения  $Nb_3Sn$ , которое синтезировалось в процессе длительного отжига проводов или изделия (обмотки), изготовленного из этих проводов. При этом олово из бронзовой матрицы диффундировало в тонкие ниобиевые жилы. Такой метод изготовления получил название «бронзовая технология».



**Рис. 1.** Доктор технических наук, профессор А.К. Шиков (1948- 2013).

После запуска в период 1974–1978 годов Токамака Т-7 с первой в мире сверхпроводниковой обмоткой тороидального поля, изготовленной с применением сплава Nb-Ti, в сотрудничестве с Институтом атомной энергии им. И. В. Курчатова (ИАЭ), Ульбинским металлургическим заводом в Усть-Каменогорске (УМЗ) и другими организациями были изготовлены сверхпроводники по бронзовой технологии на основе соединения  $Nb_3Sn$  для магнитной системы токамака Т-15 (1988). Это был первый в мире токамак с ниобий-оловянной магнитной системой [1].

В конце 80-х годов А.К. Шиков возглавил во ВНИИНМ работы по разработке технологий получения низкотемпературных и высокотемпературных сверхпроводников, а в начале 90-х

годов начал руководить разработкой сверхпроводников на основе сплава Nb-Ti и соединения Nb<sub>3</sub>Sn для уникального проекта «Международный термоядерный экспериментальный реактор ИТЭР».

Сам Александр Константинович об этом периоде говорил так [2]:

«В 1992 г. Международной организацией ИТЭР был объявлен конкурс на разработку сверхпроводников, в котором приняли участие 17 мировых фирм-производителей, в том числе ВНИИНМ, Курчатовский институт, а также ВНИИ кабельной промышленности и НИИ электрофизической аппаратуры — это четверка, которая успешно создала магнитные системы, основы «Токамака-7» и «Токамака-15».

Особо сложной была задача разработки металлургических технологий получения сверхпроводников. Нужны были не просто оловянная бронза или ниобий, а сверхчистые металлы и сплавы, чтобы обеспечить им необыкновенную пластичность. Необходимо было получить в металлической матрице сверхтонкие «жилки», не имеющие обрывов на длине до 20 км. Но мало получить такие «жилки» целыми, надо обеспечить им специальную наноструктуру, которая позволяла бы достигать высокой токонесущей способности. Сегодня о нанотехнологиях говорят все, а мы уже тогда понимали: без создания в сверхпроводнике наноструктуры достичь поставленной цели будет невозможно, и мы успешно справились с разработкой таких технологий. Из 17 фирм только четыре, включая российские, разработали сверхпроводники с необходимым уровнем свойств.

Непростым был и процесс участия в тендере. Нужно было получить 100-метровые куски проводника, разрезать их на десять частей и послать в десять лабораторий мира, чтобы избежать «лукавых» результатов, чтобы все было подтверждено. Установка грандиозная, и свойства должны быть гарантированы. Из всех десяти лабораторий пришел ответ, что российские сверхпроводники на основе сплава ниобий-титан и на основе соединения ниобий-олово полностью удовлетворяют высоким международным требованиям.

Затем необходимо было изготовить так называемые токонесущие элементы. Дело в том, что такая проволока при температуре жидкого гелия может проводить токи порядка сотен ампер в магнитных полях силой до 5 Тл (для Nb-Ti) и 12 Тл (для Nb<sub>3</sub>Sn). Однако нужны тысячи ампер, чтобы обмотка могла удерживать плазму. Для повышения токонесущей способности сверхпроводники сплетают в жгут. В одном жгуте более 1 тыс. проволок, причем такой жгут имеет определенную конструкцию, определенную пористость. Его помещают в трубу, по которой циркулирует жидкий гелий, а поры позволяют гелию проникать и омывать каждую проволоку, тем самым переводя ее в сверхпроводящее состояние. И такой токонесущий элемент при диаметре 40 мм в магнитном поле 12 Тл может проводить уже 120 тысяч ампер ( $1.2 \times 10^5$  А), а без поля, которое плохо влияет на сверхпроводимость, — несколько миллионов ампер. Длина такого отрезка должна быть 765 м.

Первоначально нужно было изготовить образец длиной 4 м и отправить его в Швейцарию, в Институт Пауля Шеррера, и измеряющая свойства лаборатория должна была подтвердить, что с полученным токонесущим элементом все в порядке: ничего не сломалось при кабельных переделах, поры не зажаты, гелию есть куда проникать и что охлаждать. Мы с нетерпением ждали результата, и он также был успешным. Так что мы вновь удовлетворили всем требованиям, предъявляемым и к этому проводнику.

Далее нужно было изготовить прототип магнитной системы — так называемую катушку-вставку. Это магнит диаметром 2 м, высотой 5 м, весом 7 тонн, для него требовалась тонна сверхпроводника. Содружество ВНИИНМ, Курчатовского института, ВНИИКИ и НИИЭФА успешно решило и эту задачу: тонна сверхпроводника была изготовлена, из нее — токонесущий элемент, из токонесущего элемента — катушка-вставка. Ее транспортировали из Санкт-Петербурга самолетом в Японию, где были проведены испытания, которые тоже прошли удачно: российская катушка-вставка при температуре жидкого гелия достигла рабочего тока 43.1 кА. Таким образом, мы получили право внести существенный вклад в международный проект.

Россия выиграла тендер на изготовление 220 тонн сверхпроводника, приблизительно треть всего объема. Этот крупный заказ уже невозможно было выполнить в условиях институтов. Такое супертехнологичное производство необходимо было создать в промышленном масштабе, на заводе, где есть культура производства и высококвалифицированные специалисты. В то время я работал заместителем генерального директора ВНИИНМ и отвечал за реконструкцию циркониевого производства на Чепецком механическом заводе в городе Глазове в Удмуртии, и вместе с коллегами из Курчатовского института и «Росатома» мы выбрали этот завод для организации производства сверхпроводников. В 2002 г. руководитель Минатома А.Ю. Румянцев подписал приказ о создании такого производства. Меня назначили научным руководителем разработки технологий и организации производства. Работы был непочатый край, поскольку необходимо было также создать производство исходных материалов: сверхчистой меди, высокоомогенной оловянной бронзы, высокоомогенного сплава Nb-Ti, сверхчистого ниобия, самих композитов и их полуфабрикатов.



**Рис. 2.** Торжественное открытие промышленного производства сверхпроводников на Чепецком механическом заводе (г. Глазов, Удмуртия). Апрель 2009 года.

В сжатые сроки на Чепецком механическом заводе Топливной компании ТВЭЛ ГК «Росатом» были подготовлены пять больших цехов. На приобретенном у ведущих зарубежных и отечественных фирм оборудовании специалисты ВНИИНМ отработывали технологию, а ученые Курчатовского института разрабатывали методы диагностики этих материалов — определение критических токов, критической температуры, качества меди, однородности свойств по длине — более 40 сертифицированных методик было применено для того, чтобы аттестовать материалы по международным стандартам.

В апреле 2009 года производство сверхпроводников на Чепецком механическом заводе было торжественно открыто (рис. 2). Начался крупномасштабный выпуск сверхпроводящего материала. Вошли в строй кабельное производство в Подольском отделении ВНИИКП и линия джекетирувания на территории Института физики высоких энергий (ИФВЭ в г. Протвино), который теперь входит в НИЦ «Курчатовский институт». К концу 2012 г. было выпущено уже более половины всего сверхпроводника. Были изготовлены семь ниобий-оловянных токнесущих элементов, которые полностью соответствуют высоким международным

требованиям. Всего мы должны были за 2.5 года изготовить и проверить около 30 таких токонесущих элементов. Они представляют собой бобину диаметром 4 м и высотой более 5 м, весом около 10 тонн, внутри которой намотан проводник — токонесущий элемент (рис. 3). Материал приходилось везти ночью из Протвино в Курчатовский институт в сопровождении ГИБДД, т.к. это негабаритный груз. Мы также должны поставить на строительную площадку 39 кусков ниобий-титанового сверхпроводника в виде кабеля. Таким образом, в России появилось крупномасштабное уникальное производство сверхпроводников.



**Рис. 3.** Испытания токонесущих элементов для обмоток тороидального поля ИТЭР. Большой экспериментальный зал СИМС в НИЦ «Курчатовский институт»

По технологии многожильных сверхпроводников в Курчатовском институте более 30 лет назад было предложено создать материал для импульсных магнитных полей — порядка 50–100 Тл. Но, к сожалению, обычные электротехнические материалы — медь, алюминий — не выдерживали высочайших нагрузок, которые развивались в электромагните при импульсе. Тогда родилась идея применить для создания импульсных магнитов Nb-Ti-сверхпроводники, но использовать в них сверхчистую медь, а жилы Nb-Ti упрочняли бы медную матрицу. Курчатовские «токамачные» сверхпроводники установили мировой рекорд: было достигнуто поле 50 Тл. Во ВНИИНМ начали увеличивать количество упрочняющих жил, улучшая механические свойства. В различных лабораториях мира, изготавливающих магниты из композитов, разработанных Курчатовским институтом и ВНИИНМ, этот материал стал крайне востребованным. В марте 2012 г. в США, в Лос-Аламосской лаборатории высоких магнитных полей, на соленоиде, изготовленном из уникального российского композиционного материала, содержащего при сечении  $4 \times 6 \text{ мм}^2$  (прямоугольный проводник) 450 млн ниобиевых волокон размером 10 нм каждое, удалось достичь 100.1 Тл. Материал обладает прочностью стали, электропроводностью около 70% от электропроводности меди, при сохранении высокой пластичности. Это яркий пример того, как одна наукоемкая технология рождает другую.

О способностях ученого говорит тот факт, что, работая во ВНИИНМ с 1971 г. по 2009 г., А.К. Шиков прошел путь от инженера до директора предприятия. Рассказывают, что когда Александр Константинович в 2009 году не по своей воле покидал пост директора ВНИИНМ, то несколько сотен сотрудников стоя аплодировали ему, входящему в актывый зал исторического

здания института, созданного выдающимся ученым А.А. Бочваром. Шиков был представителем старой школы атомного проекта, людей, действующих по принципу «не благодаря, но вопреки».

Люди такого калибра не могут сидеть без дела. В 2009 году по приглашению М.В. Ковальчука Александр Константинович перешел на работу в Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт». Сначала на должность исполнительного директора Курчатовского НБИК–Центра, а затем на должность заместителя директора по технологиям, с возложением обязанностей начальника научно-технологического комплекса сверхпроводимости, на которой работал до последних дней. Основной областью интересов в период работы в Курчатовском институте стали высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП).

Специалисты, всю жизнь занимавшиеся сверхпроводящими материалами, понимали, что ВТСП — это задача на перспективу, особенно для электроэнергетики. Отлично понимали это и в руководстве Курчатовского института. М.В. Ковальчук собрал в Курчатовском институте все заинтересованные стороны, серьезно обсудил все детали, а затем по его инициативе совместно с ГК «Ростатом» и Минэнерго был запущен крупномасштабный государственный проект по созданию и использованию высокотемпературных сверхпроводников, который состоял из двух частей. Первая — разработка высокотемпературных сверхпроводников с приемлемым для технического использования уровнем характеристик. Вторая посвящена созданию устройств, работающих с использованием сверхпроводящего материала. В этом проекте Курчатовскому институту была поручена самая сложная часть: разработка технологий и повышение токонесущей способности проводников. Александр Константинович со свойственной ему энергией подхватил это направление. Он сделал все возможное и невозможное, чтобы в Курчатовском институте появились технологические возможности по изготовлению ВТСП. К сожалению, сам он не успел увидеть плодов своей деятельности, но его молодые коллеги довели начатое до конца и с 2015 года лабораторно-экспериментальная линия полного цикла по изготовлению проводов на основе ВТСП успешно работает в Курчатовском институте. Благодаря усилиям А.К. Шикова НИЦ «Курчатовский институт» значительно нарастил компетенции в области материаловедения и технологий изготовления сверхпроводников, и по сей день остается одним из признанных научных лидеров технической сверхпроводимости в стране.

Александр Константинович всегда очень трепетно относился к молодым кадрам, и всегда поддерживал молодежь, всячески подталкивал к профессиональному росту, участию в конкурсах, защите диссертаций. В 2011 г. по инициативе М.В. Ковальчука и М.Н. Стриханова была создана кафедра прикладной сверхпроводимости в Московском инженерно-физическом институте, и Шиков ее возглавил.

А.К. Шиков являлся автором и соавтором более 500 научных трудов, в том числе трех монографий, на его счету более 60 изобретений и патентов. В 1981 году защитил кандидатскую, а в 1993 г. — докторскую диссертацию по технологии сверхпроводников, утвержден в звании профессора (2009).

Научно-производственная деятельность А.К. Шикова отмечена присуждением ему Государственной премии в области науки и техники 1994 г., медалью ордена «За заслуги перед отечеством» II степени (2002 г.), двумя Премиями Правительства РФ (2002 и 2012 гг.), Премии РАН имени академика А.А. Бочвара (2008 г.). В 1996 г. и в 1997 г. на Всемирном салоне изобретений в Брюсселе патентам по разработкам, соавтором которых являлся А.К. Шиков, были присуждены Золотая и две Серебряные медали.

Александр Константинович навсегда останется в памяти коллег примером высочайшей требовательности к себе и другим, человеком, отдавшим все свои силы, всю жизнь делу, которому он служил честно и самоотверженно.

### **Литература**

[1] Е.А. Дергунова. Пионеры сверхпроводимости. // Вестник Атомпрома, (2023). URL: <https://atomvestnik.ru/2023/03/30/pionery-sverhprovodimosti/>

[2] А.К. Шиков, ИТЕРация сверхпроводимости, В мире науки, 1, 25 (2013).

## To the 75th anniversary of A.K. Shikov. In memory of "Mister Superconductor"

S. V. Shavkin, V. S. Kruglov

NRC Kurchatov Institute, 1, Akademika Kurchatova sq, 123182, Moscow, Russia

\* e-mail: Shavkihn\_SV@nrcki.ru

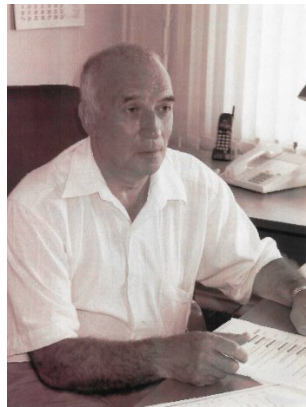
An article in memory of the famous scientist, Doctor of Sciences, Professor Alexander Konstantinovich Shikov (10/11/1948–10/26/2013), who made a huge contribution to the saving and development of Russian applied superconductivity in difficult times for it.

Keywords: multi-filament superconducting wire, bronze technology, Nb-Ti alloy, Nb<sub>3</sub>Sn compound, ITER, tokamak, high temperature superconductor



Шавкин Сергей Викторович, кандидат физико-математических наук, начальник отдела сверхпроводниковых, криогенных и магнитных технологий, НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Dr. Sergey V. Shavkin, Head of Department at NRC “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia



Круглов Виталий Сергеевич, кандидат технических наук, ведущий эксперт-наставник, НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Dr. Vitaly S. Kruglov, Leading expert-mentor at NRC “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia