

К.А. БОРОДАКО, Д.А. АБИН, С.В. ВЕСЕЛОВА, С.В. ПОКРОВСКИЙ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО ИНДУКТИВНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

Изготовлены элементы сверхпроводящих катушек индуктивного накопителя энергии – CORC кабель и твистированная стопка, состоящая из 1-4 слоев 2G ВТСП лент (RE)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> промышленного производства российской компании СуперОкс. Исследованы транспортные характеристики образцов кабелей, как в исходном состоянии, так и подвергнутые деформации изгиба на диаметрах 50, 40, 23, 15, 10, 5 см (имитация намотки катушки).

K.A. BORODAKO, D.A. ABIN, S.V. VESELOVA, S.V. POKROVSKII  
*National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia*

## INVESTIGATION OF TRANSPORT CHARACTERISTICS OF SUPERCONDUCTING INDUCTIVE ENERGY STORAGE ELEMENTS

Elements of superconducting coils of an inductive energy storage device are manufactured - CORC cable and a twisted stack with a thickness of 1 to 4 layers of 2G HTS tapes (RE)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> is an industrial production of the Russian company SuperOx. The transport characteristics of cable samples both in the initial state and those subjected to bending deformation at diameters are investigated 50, 40, 23, 15, 10, 5 see (imitation of coil winding).

Индуктивный накопитель энергии служит для хранения энергии в виде магнитного поля, создаваемого электрическим током, протекающим по замкнутой электрической цепи. Электрическая цепь обычно выполняется в виде набора соленоидов. Перспективным материалом для изготовления токонесущих элементов индуктивных накопителей является сверхпроводник. Одним из главных конструктивных элементов такого накопителя является сверхпроводящая катушка [1]. Как правило, для формирования сверхпроводящих катушек, на основе промышленно выпускаемых ВТСП лент 2-ого поколения применяется сверхпроводящий кабель. Самые популярные типы сверхпроводящих кабелей: CORC кабель и твистированная стопка. CORC кабель (conductor on round core – проводник на круглом сердечнике) изготавливается путём намотки ВТСП ленты на цилиндрический формер, за счет чего получается асимметричное продольное сечение проводника. Формер является полый трубкой, а охлаждение кабеля осуществляется прокачкой жидкого хладагента по этой трубке. При намотке ВТСП ленты сверхпроводником вовнутрь, сверхпроводящий слой испытывает только деформации сжатия, поэтому диаметр трубки может быть небольшим до 2,8 мм [2], а плотность тока кабеля высокой: до 650 А/мм<sup>2</sup> в поле 12 Тл при температуре 4,2 К [3]. Твистированная стопка лент состоит из нескольких лент, которые сначала складывают вместе, а затем скручивают. Благодаря своей архитектуре и отсутствию формера кабель обладает высоким значением общей инженерной плотности тока по сравнению с другими типами кабелей аналогичного диаметра [4].

В данной работе исследованы транспортные характеристики CORC кабеля и твистированных стопок на основе 2G ВТСП лент (RE)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> промышленного производства российской компании СуперОкс, в которых в качестве редкоземельного элемента выступает Gd или Y. Для изготовления CORC кабеля ВТСП ленты наматывались на полые мельхиоровые трубки диаметром 5 мм с толщиной стенки 1 мм с усилием 1; 1,5; 2 кг под углом 40 и 22 градуса к оси вращения трубки-формера. Концы ленты припаивались к трубке. При намотке более одной ленты на трубку, последующие ленты укладывались одна на другую, образуя сэндвич, и также припаивались к трубке. Для изготовления твистированных стопок ВТСП ленты складывались вместе и припаивались к друг другу. Затем скручивались с шагом твистирования 40; 20; 15; 10 см. Для исследования были изготовлены CORC кабели и твистированные стопки толщиной от 1 до 4 слоев ВТСП ленты. Исследовались образцы кабелей как в исходном состоянии, так и подвергнутые деформации изгиба на диаметрах 50, 40, 23, 15, 10, 5 см (имитация намотки катушки). Измерение ВАХ проводилось 4-х контактным методом при температуре 77 К (погружение в жидкий азот).

Работа выполнена в рамках Госзадания (проект FSWU-2022-0013) при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ.

### *Список литературы*

1. Lieurance D. et al. Design and cost studies for small-scale superconducting magnetic energy storage (SMES) systems //IEEE Transactions on Applied Superconductivity. – 1995. – Т. 5. – №. 2. – С. 350-353.
2. Viarengo S. et al. CORC Cables: Numerical Characterization of the Critical Current after Bending // IEEE Transactions on applied superconductivity. – 2024. – Т. 34. – №. 5. – С. 1-5.
3. Weiss J. D. et al. Introduction of the next generation of CORC® wires with engineering current density exceeding 650 A mm<sup>-2</sup> at 12 T based on SuperPower's ReBCO tapes containing substrates of 25 μm thickness //Superconductor Science and Technology. – 2020. – Т. 33. – №. 4. – С. 044001.
4. Takayasu M. et al. HTS twisted stacked-tape cable conductor //Superconductor Science and Technology. – 2011. – Т. 25. – №. 1. – С. 014011.