
**КОНКРЕТНЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РЕАЛИЗАЦИИ ОБЩЕСТВА,
БАЗИРУЮЩЕГОСЯ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ
ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОМОЩЬЮ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ
СВЕРХПРОВОДИМОСТИ (SCDC)**

© 2020 г. О. Могоджима¹, А. Ииёши¹, М. Тендлер¹ *, Ю. Иванов¹

¹Университет Чубу, Касугаи, Япония

*e-mail: mtendler@kth.se

Поступила в редакцию 07.04.2020 г.

После доработки 27.07.2020 г.

Принята к публикации 30.07.2020 г.

Предлагается концепция устройства будущего общества, основанного на усовершенствованных сетях постоянного тока, использующих технологию высокотемпературной сверхпроводимости. Цель концепции заключается в предоставлении технологических средств для достижения стабильного “безуглеродного” развития, способного поддерживать постоянный прогресс в рамках ЦУР ООН, одобренных японским правительством, как это отражено в документе “Общество 5.0”. Подробно описан план реализации проекта. Как технологические, так и финансовые требования представляются весьма жесткими, однако, учитывая настоятельную необходимость, их можно преодолеть. Ключевой компонент проекта берет свое начало от строительства командой Университета Чубу прорывной экспериментальной высокотемпературной сверхпроводящей (ВТСП) кабельной линии в районе Ишикари на острове Хоккайдо. Опыт, накопленный в ходе реализации этого проекта, дает возможность, при условии нахождения политического решения, построить энергетическую магистральную линию с близкого острова Сахалин. В случае успеха проект открывает, с точки зрения экономических обменов, огромные взаимовыгодные перспективы. В заключение, с использованием графических средств и целостного подхода, подчеркиваются долгосрочные выгоды для градоустройства.

Ключевые слова: высокотемпературная сверхпроводимость, сеть постоянного тока, “Общество 5.0”, умный город

DOI: 10.31857/S000233102005009X

Предложенная Правительством Японии стратегия “Общество 5.0” стремится, в сотрудничестве с международным сообществом, в ближайшем будущем достичь нулевого уровня выбросов углекислого газа и реализовать устойчивое общество, сосредоточившись на интернете вещей (IoT), искусственном интеллекте (AI), электромобилях (EV) и проч., сохраняя при этом постоянные темпы экономического роста на фоне крайне низкой рождаемости в стране. В связи с этим существует множество задач, таких как дальнейшее расширение использования возобновляемых источников энергии, резкое повышение энергоэффективности на транспорте и во многих других областях, реализация термоядерного синтеза, не говоря уже о развитии технологий в сферах IoT, AI и EV. Кроме того, требуются крупные инвестиции, а для снижения инвестиционного риска и повышения эффективности инвестиций необходимы эффективные стратегические и компактные инвестиции в НИОКР. Для достижения этой цели необходимо обеспе-

чить взаимопонимание и сотрудничество между частным и государственным секторами на основе сотрудничества между промышленностью и академическими кругами во всем мире [1].

С другой стороны, IoT, AI, EV и т.д., которые являются столпами Общества 5.0, требуют большого количества электроэнергии. В связи с этим необходимо построить инфраструктуру на основе высокотемпературной сверхпроводящей сети с нулевыми потерями при передаче энергии, которая соединяет электростанции и крупные хранилища электроэнергии (гидроаккумулирующие электростанции, литиевые аккумуляторы большой емкости, в настоящее время не могущие передавать мощность в сеть) с обычными домашними хозяйствами, заводами, электромобилями и другими потребителями.

Таким образом, содействие диверсификации энергетики и обеспечению стабильности за счет повышения эффективности производства и независимо разработанного в Японии метода транспортировки электроэнергии, и в то же время резкое сокращение выбросов углекислого газа являются важнейшими технологическими достижениями для создания устойчивого и развивающегося мира (SDGs) и могут внести значительный вклад в план укрепления страны общей стоимостью 25 трлн иен, продвигаемый кабинетом премьер-министра Абэ, тем самым открывая огромные возможности для экспорта передовых технологий.

В Университете Чубу совместно с членами Ассоциации технических исследований сверхпроводящих систем электропередачи постоянного тока “Ишикари” (I-SPOT) в рамках запущенного в 2013 г. проекта “Ишикари” к 2017 г. были успешно завершены исследование и разработка высокотемпературной сверхпроводящей линии передачи электроэнергии (SCDC) [2]. В настоящее время, стремясь к практическому использованию результатов, мы готовимся к запуску следующего проекта, включающего международные совместные исследования. Помимо частного сектора, партнерами являются Национальный институт термоядерных исследований (NIFS), немецкий Технологический институт Карлсруэ (KIT), российская электросетевая компания РОССЕТИ, Российская академия наук (РАН), американский Вайомингский университет и др. NIFS проводит исследования, направленные на создание в Японии собственного термоядерного реактора спирального типа, результаты исследований на сверхпроводящем Large Helical Device (LHD), завершенного постройкой в 1998 г., привлекли внимание всего мира. LHD по-прежнему является крупнейшим в мире сверхпроводящим устройством, такое положение сохранится до завершения в 2025 г. строительства международного экспериментального реактора ITER (площадка во Франции), директором которого был один из авторов этой статьи Мотоджима. KIT активно занимается исследованиями масштабной передачи электроэнергии от ветроэлектростанций северной Германии с помощью SCDC в промышленные районы, такие как Франкфурт, на юге. Российская компания РОССЕТИ в 2017 г. подписала меморандум о взаимопонимании с Университетом Чубу. В дополнение к значительному интересу к университетским технологиям SCDC Научно-технический центр (НТЦ) компании реализует эксперимент по электропередаче с помощью SCDC в Санкт-Петербурге. Российская академия наук имеет большой опыт работы в областях передачи электроэнергии с помощью сверхпроводимости и материаловедения. Вайомингский университет проводит исследования в области технологии передачи электроэнергии постоянного тока.

На рисунке 1 показана модель реализации концепции “Умного общества”, выполненная университетом Чубу. На рисунке 2 дана общая схема передачи электроэнергии с помощью сверхпроводимости. На рисунке 3 представлены итоги проекта “Ишикари”, выполнявшегося с 2013 по 2017 гг. [3, 4].

Особенности передачи электроэнергии с помощью сверхпроводимости:

– потери при передаче достаточно малы;

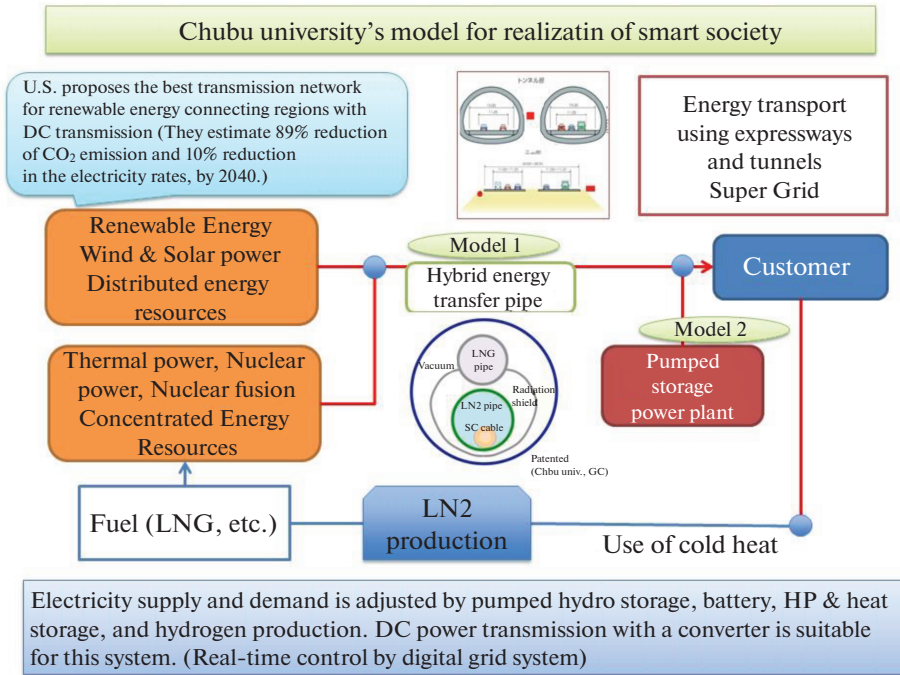


Рис. 1. Модель реализации концепции “Умного общества”, выполненная университетом Чубу.

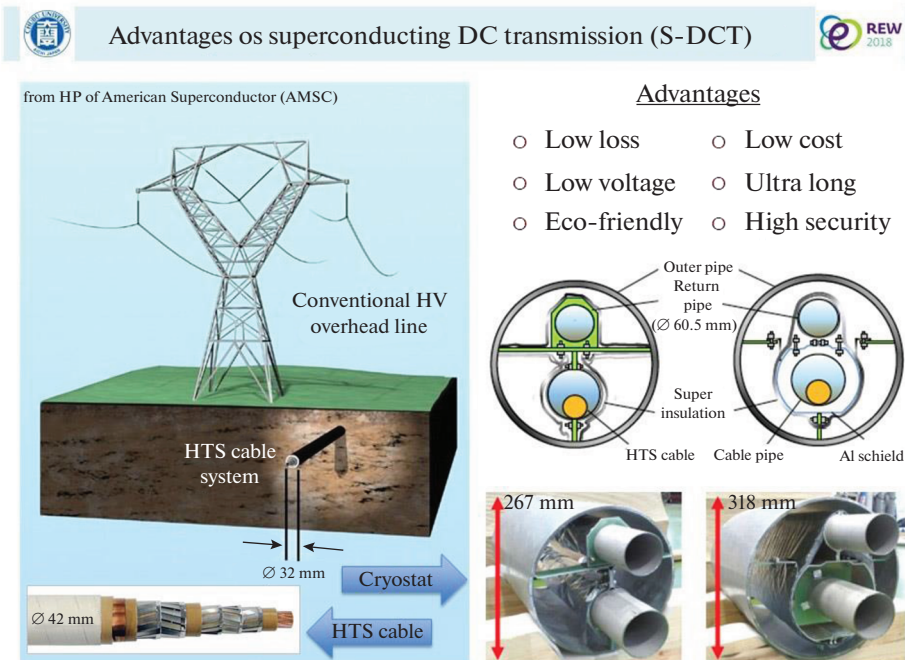


Рис. 2. Общая схема передачи электроэнергии с помощью сверхпроводимости.

Achieved:

- In 2013, the Ishikari project started in Hokkaido and promoted the R&D of S-DCT systems and related technologies to establish a process for energy transport
- We conducted a 1.5 (1.0 + 0.5) km S-DCT power transmission experiment and confirmed experimentally that the power loss is reduced to about 0.4%, one-tenth of about 4% of conventional AC transmission system. This value is less than 1/5 of other existing S-DCT in the world
- The characteristics of the S-DCT confirmed as a main component of a smart grid and to identify future development issues (feasibility study)
- The results of our R&D globally in an effort shared and disseminated to realize a more sustainable society

Photographs of Ishikari project



Рис. 3. Итоги проекта “Ишикари” (2013–2017 гг.).

– общую стоимость, включая расходы на техническое обслуживание и т.д., можно сохранить на том же уровне, что и для существующих линий электропередачи, или даже ниже;

– за счет повышения энергоэффективности и экологичности значителен эффект снижения выбросов углекислого газа;

– система легко масштабируется;

– множество приложений для “умных сетей” и т.д., можно построить глобальную электросеть.

Для того чтобы воспользоваться этими преимуществами необходимо аккумулировать результаты разработок посредством сотрудничества между промышленностью и научными кругами и разработать бизнес-план с минимальным риском.

Основными направлениями стратегических исследований и разработок электроэнергетической инфраструктуры с использованием SCDC являются технико-экономическое обоснование и укрупнение SCDC (передача мощности в 10 ГВт), разработка силового электрооборудования, такого как преобразователи, ограничители тока, размыкатели цепи, разработка элементарных технологий, таких как ведущих к снижению стоимости сверхпроводящих линий электропередачи, строительство новых гидроаккумулирующих электростанций в малонаселенных районах, таких как северный и восточный Хоккайдо, использование уже существующих гидроаккумулирующих электростанций, повышение эффективности благодаря использованию сверхпроводящих генераторов и сверхпроводящих насосов.

Очень привлекательной является модель разработки технологии прокладки SCDC вдоль автомагистралей с использованием незанятых земель, таких как склоны дорог,

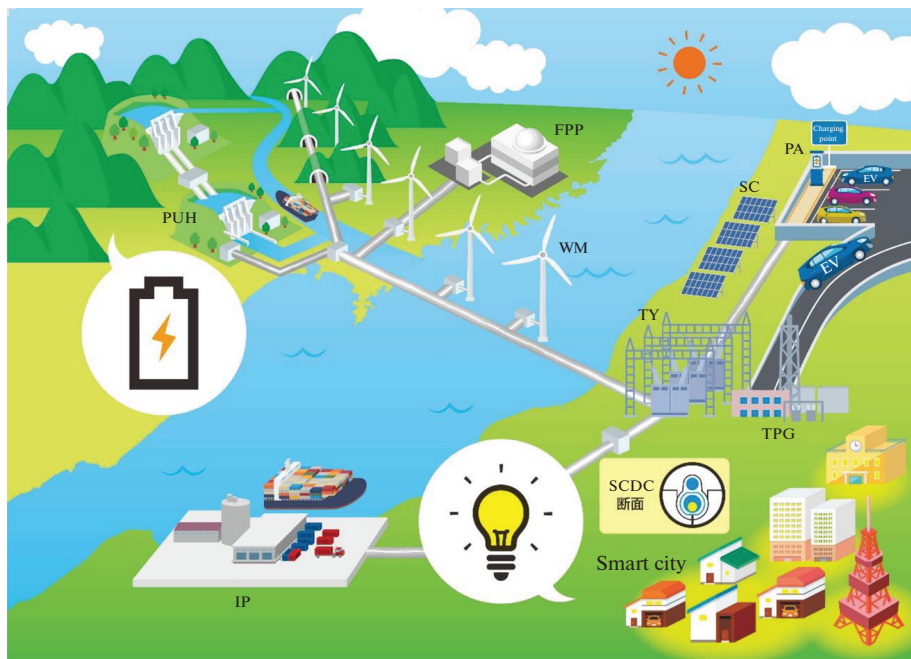


Рис. 4. Новый “умный город” с SCDC в качестве базовой инфраструктуры. (Smart City – “умный город”; EV – электромобиль; PA – место парковки машин; IP – международный порт; PУH – гидроаккумулирующая электростанция; TPG – электростанция; TY – трансформаторная площадка; FPP – термоядерная электростанция; WM – ветроэлектростанция; SC – солнечная электростанция).

для подачи большого количества электроэнергии для множества электромобилей в зонах парковки (PA). Что касается силовой электроники, которую мы планируем разработать в этот раз, то на электромобили будет устанавливаться компактное оборудование, а крупное оборудование будет использоваться для массового электроснабжения электромобилей в зонах парковки.

Путем подключения посредством SCDC существующих или новых гидроаккумулирующих электростанций можно создать систему, которая позволит взаимно обмениваться электроэнергией и одновременно будет выполнять преобразование частоты.

Причиной проведения совместных международных исследований является то, что строительство энергетической инфраструктуры – это первостепенная по своему значению концепция, которая решает экологические проблемы и выходит за рамки национальных границ. Исследования и разработки смогут эффективно продвигаться благодаря сотрудничеству с зарубежными организациями.

На рисунке 4 показана конечная цель, образ будущего нового “умного города” с SCDC в качестве базовой инфраструктуры.

От Хоккайдо до Сахалина есть много неиспользуемых районов, и если там будет проложена крупная SCDC длиной 1000 км и мощностью 10 ГВт, а вдоль нее будет построен парк ветрогенераторов, то это может создать огромную энергетическую инфраструктуру. Целью данного научно-технического проекта является снижение стоимости одного километра SCDC до 0.4–1 миллиарда иен. Ветряные электростанции класса 10 МВт уже разработаны, и если они будут построены через каждые 500 м, то

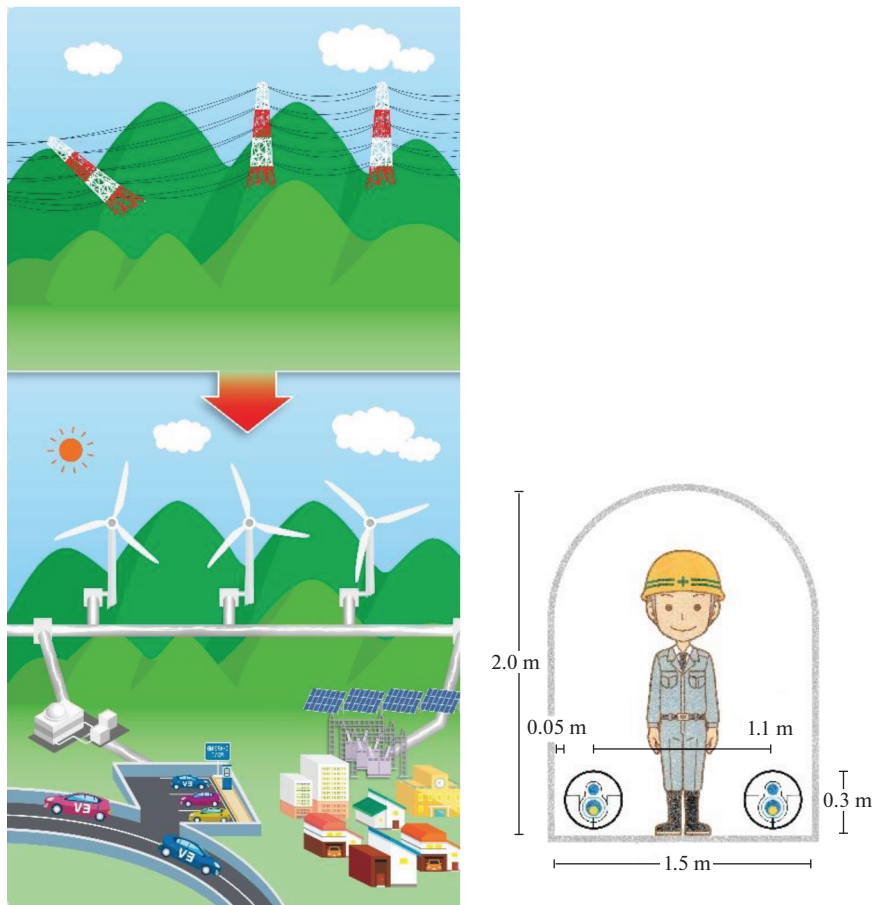


Рис. 5.1. Прокладка SCDC в туннеле небольшого поперечного сечения.

Рис. 5.2. Разрез туннеля небольшого поперечного сечения.

смогут генерировать пиковую мощность в 20 ГВт. Следующий открытый вопрос – как разработать недорогую ветряную электростанцию большой мощности.

На северном и восточном Хоккайдо все еще существуют обширные неиспользуемые районы, а исследования по технологическому развитию в рамках подготовки к улучшению геополитической ситуации в будущем являются достаточно значимыми для национальных интересов Японии.

Внедрение технологии SCDC передачи электроэнергии на большие расстояния без потери мощности устраняет ограничение на условия выбора местоположения энергетической инфраструктуры, значительно увеличивая степень свободы при планировании. В связи с этим, в результате создания дальней оптоволоконной связи большой пропускной способности, обнадеживающим примером стал крупный центр обработки данных, построенный фирмой Sakura Internet в Ишикари на Хоккайдо, где можно сократить расходы на охлаждение большого количества оборудования.

Для того чтобы соединить электростанции разных типов и фермы источников возобновляемой энергии необходимо проложить SCDC, но, чтобы минимизировать

ограничения на использование земли, наиболее предпочтительно построить подземный туннель небольшого поперечного сечения. Это показано на рис. 5(1, 2).

Стоимость строительства этого туннеля можно оценить, исходя из затрат на линию поезда на магнитной подвеске. Она оценивается более чем в 600 млн иен/км. Важно также учитывать, насколько может быть снижена стоимость этого строительства. В конечном счете, благодаря прокладке SCDC под землей, вместо устаревших опор линий электропередачи, будет устранен риск разрушения опор из-за сильных ветров, таких как тайфуны, а риск масштабных отключений может быть уменьшен, что является большим преимуществом для плана укрепления страны.

Повышение эффективности работы гидроаккумулирующих электростанций за счет использования сверхпроводящей технологии и соединения их посредством SCDC для повышения гибкости энергоснабжения разом устранит препятствие, которое из-за уникальной для Японии проблемы преобразования 50/60 Гц не позволяет соединить страну с запада на восток, что даст возможность значительно увеличить пропускную способность передачи электроэнергии во время отключений и т.д., и это, вероятно, будет удачной политикой для повышения устойчивости страны. Это тоже впервые стало возможным благодаря использованию SCDC для передачи большой мощности без потерь на большие расстояния. Автомобильные виды топлива составляют 16% первичной энергии, но электроэнергию, в отличие от бензина, трудно хранить в больших количествах, поэтому, чтобы минимизировать риск отключений, очень важно построить инфраструктуру SCDC.

Недостатком ветроэнергетики являются большие колебания выходной мощности, однако, подключение группы гидроаккумулирующих электростанций к SCDC может стабилизировать энергоснабжение. В случае фотоэлектрической генерации выработка электроэнергии ночью невозможна, поэтому, следуя той же логике, дневная избыточная энергия сохраняется для выдачи ее ночью городам и заводам.

Инвестиционные и экономические выгоды за счет сочетания возобновляемых источников энергии, SCDC и гидроаккумулирующих электростанций при строительстве энергетической инфраструктуры, как ожидается, составят значительную часть ВВП в ближайшие 10 лет, но потребуются разработка и исследование стратегических технологий, в том числе разработка компонентных технологий, исследование рынка, первые исследования и строительство испытательных установок.

Эти инвестиции в инфраструктуру могут достигать нескольких триллионов иен в одном проекте, и, следовательно, являются достаточной и достижимой целью для бизнеса. Чтобы реализовать этот гигантский бизнес-проект, необходимо собрать и интегрировать специалистов по компонентным исследованиям и действовать системно, план этой работы разрабатывается в Университете Чубу. Кроме того, необходимо привлечь частный сектор, чтобы укрепить являющееся ключевым фактором сотрудничество между промышленностью и научными кругами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Toward realization of the new economy and society. S.l.: Keidanren (Japan Business Federation), 2016, 25 p. (Available online at: https://www.keidanren.or.jp/en/policy/2016/029_outline.pdf)
2. Yamaguchi S. et al. Concept and design of 500-meter and 1000-meter DC superconducting power cables in Ishikari, Japan // IEEE Trans. Appl. Supercond. 2015. V. 25. № 3. 5402504.
3. Yamaguchi S. et al. Construction and 1st experiment of the 500-meter and 1000-meter DC superconducting power cable in Ishikari // Phys. Procedia. 2016. V. 81. P. 182–186.
4. Chikumoto N. et al. Second cooling test of 1000-m superconducting DC cable system in Ishikari // IEEE Trans. Appl. Supercond. 2018. V. 28. № 4. 5401005.

Specific Proposals for the Implementation of a Society Based on the DC Transmission Technology Employing High Temperature Superconducting Cables

O. Motojima^a, A. Iiyoshi^a, M. Tendler^{a,*}, and Yu. Ivanov^a

^a*Chubu University, Kasugai, Japan*

^{*}*e-mail: mtendler@kth.se*

The vision for the future society based on the novel technology of the advanced DC current networks employing the High Temperature Superconducting Technology is brought to light. The aim of the concept is to provide technological means to achieve the carbon free stable development capable to sustain permanent progress within the framework of the UN Sustainable Development Goals endorsed by Japanese government as outlined in the “Society 5.0” document. The roadmap for the project is described in detail. Both technological and financial requirements appear to be stringent, yet surmountable given the urgent need to overcome these. The bottom line of the project stems from the cutting edge pilot construction of the High Temperature Superconducting (NTS) Cable facility by Chubu University team at the Ishikari location on the island of Hokkaido thereby validating the concept. The experience gained from the project offers the option to build an energy highway from the close Sakhalin island provided political solutions can be found. In case of success, the project is bound to open enormous prospects for mutual benefits in terms of the economic exchanges. Finally, the long-term benefits for urban development are emphasized using both graphic and holistic means

Keywords: high-temperature superconductivity, DC networks, Society 5.0, smart city