

И.Б. Пешков, д-р техн. наук, профессор,
президент Ассоциации «Электрокабель»

КАБЕЛИ ДЛЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Мировой спрос на электроэнергию продолжает расти и, по данным CRU [1], к 2030 году по сравнению с 2004 годом ее производство может удвоиться (рис. 1). В то же время запасы невозобновляемого топлива ограничены. Ряд аналитиков считают, что обеспеченность человечества органическими видами топлива составляет: углем – 300 лет; нефтью – 55 лет; газом – 66 лет [2]. Поэтому реально возникает перспектива истощения разведанных запасов топлива в течение нескольких поколений. Известно также, что использование угля в качестве топлива наносит невосполнимый вред экологии планеты, а переработка угля на другие виды топлива экономически неэффективна. Сейчас человечество начинает осознавать, что необходимы разработки новых возобновляемых источников энергии, не наносящих ущерба окружающей среде и обеспечивающих будущее развитие нашего мира.

К возобновляемым источникам электроэнергии относятся:

- ♦ гидроэнергия;

- ♦ геотермальная энергия;
- ♦ энергия ветра;
- ♦ энергия биомассы;
- ♦ солнечная энергия;
- ♦ энергия приливных волн.

Объемы производства электроэнергии, вырабатываемой в настоящее время различными источниками энергии, показаны на рис. 2 [1]. Если не учитывать гидроэнергетику, также относящуюся к возобновляемым источникам энергии, то видно, что доля остальных возобновляемых источников энергии невелика (около 2%). Эти возобновляемые источники энергии часто называют нетрадиционными. Основной объем роста мощностей таких источников придется на ветроэнергетику. Прогноз роста количества электроэнергии, вырабатываемой возобновляемыми источниками, на период до 2030 года, по данным CRU, показан на рис. 3. Следует отметить, что в энергетической стратегии России на период до 2030 года [3] также предусмотрено наращивание этих мощностей. Представляется целесообразным оценить, какие задачи с точки зрения использования возоб-



Рис. 1. Прогноз увеличения мирового производства электроэнергии



Рис. 2. Объемы производства электроэнергии, вырабатываемой различными источниками энергии

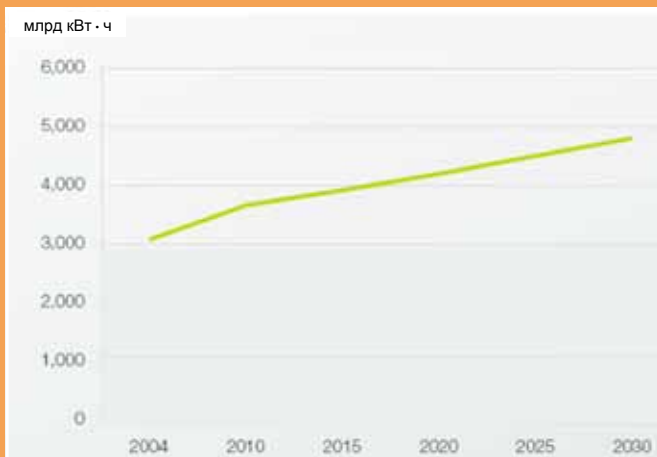


Рис. 3. Прогноз мировой выработки электроэнергии с использованием возобновляемых источников

новляемых источников энергии, в том числе нетрадиционных, возникают перед производителями кабелей.

Несколько слов о гидроэнергетике, существующей на протяжении длительного времени и характеризующейся огромными установленными мощностями. Безусловно, это направление будет развиваться и в будущем, хотя все в большей степени выражается озабоченность проблемами экологической безопасности из-за необходимости затопления огромных территорий в связи со строительством гидроэлектростанций. Применяемая в гидроэнергетике кабельная продукция давно широко известна. Это прежде всего кабели и провода всех типов, включая силовые высоковольтные и сверхвысоковольтные кабели на напряжение до 500 кВ (в настоящее время эти кабели имеют изоляцию из сшитого полиэтилена).

Из остальных нетрадиционных источников электроэнергии наибольший интерес для кабельщиков представляют источники ветроэнергии и солнечной энергии.

В последние годы рынок ветроэнергетики значительно вырос. Наибольшими темпами роста характеризуется Германия. Крупнейшим потребителем ветроэнергии являются США. Конфигурация ветровых электростанций показана на рис. 4 [1]. Из рис. 4 очевидно использование кабельной продукции при строительстве и эксплуатации ветроэнергетических установок. Ветроэнергетическая установка представляет собой башню, в верхней части которой расположены турбина и генератор электростанции. Высота башни составляет обычно не более 85 м, однако самая высокая башня имеет высоту 120 м. Трансформатор находится либо в верхней части башни (в этом случае вниз идут силовые кабели на напряжение до 35 кВ), либо в нижней части (в этом случае используются низковольтные силовые кабели

на напряжение до 2 кВ). В корзине ветроэнергетической установки применяются кабели и провода для внутренних соединений, контрольные кабели и кабели управления с числом жил от 2 до 23, кабели для структурированных систем (LAN-кабели), реже оптические кабели.

Наибольшую сложность с позиции разработчиков кабелей представляет вывод электроэнергии вдоль башни. Дело в том, что в зависимости от направления ветра корзина ветроэнергетической установки может поворачиваться вокруг своей оси, поэтому кабель подвергается кручению, в том числе при отрицательных температурах окружающей среды (до -40°C). В настоящее время приняты следующие решения. Если трансформатор расположен в нижней части башни, то используются кабели низкого напряжения традиционных конструкций (изоляция и оболочка из поливинилхлоридного пластиката; из сшитого полиэтилена; из материалов, не содержащих галогенов; из этиленпропиленовой резины и резины на основе хлорсульфированного полиэтилена или хлорполиэтилена). Если трансформатор располагается в верхней части башни, то вывод электроэнергии осуществляется вдоль башни кабелями на напряжение до 35 кВ с изоляцией из этиленпропиленовой резины. Кабель может иметь 3-жильную конструкцию; могут использоваться также три одножильных кабеля такого типа. Поверх полупроводящего экрана в ряде случаев накладывается металлический экран. При этом кабель должен иметь высокую стойкость к напряжениям кручения. Очевидно, что кабели известных конструкций не удовлетворяют требованиям, предъявляемым условиями их эксплуатации на ветроэнергетических установках в течение всего срока службы (25 лет), и их неизбежная замена в то или иное время является дорогостоящим мероприятием. Эксплуатируемые на действующих ветроэнергетических установках кабели не являются пожаробезопасными, что в условиях пробоя изоляции и возникновения пожара может привести к катастрофическим последствиям. Поэтому в настоящее время могут быть сформулированы следующие требования к кабелям, используемым в башне ветроэнергетической установки [4, 5]:

- ♦ стойкость к закручиванию в диапазоне температур от -40 до $+70^{\circ}\text{C}$;
- ♦ маслостойкость;
- ♦ пожаробезопасность (соответствие стандарту МЭК 60332-1 или выше);
- ♦ стойкость к действию коррозионно-активных газов;
- ♦ обеспечение в условиях возгорания плотности дыма, не превышающей заданной;
- ♦ повышение нагревостойкости кабелей до $+90^{\circ}\text{C}$.

Обычно башни с ветроэнергетическими установками образуют парк установок, соединенных между собой и основной энергетической системой. Для соединительных систем используются силовые кабели среднего напряжения традиционной конструкции, прокладываемые в земле (рис. 5). Если ветроэнергетические установки расположены в море (оффшорная ветроэнергетика), то необходимо учитывать малую гибкость кабелей, имеющих тяжелую броню. Рынок кабелей, прокладываемых в башнях ветроэнергетических установок, оценивается до 2015 года в количестве 67 тыс. км. Новый рынок кабелей открылся в связи с установкой башен в открытом море. В этом случае башни ветроэнергетических установок расположены на расстоянии не менее 500 м друг от друга. В настоящее время ветроэнергетические установки (их уже около 200) находятся в нескольких десятках километров от берега. Однако в будущем мощные ветроэнергетические установки могут располагаться на расстоянии до 200 км от берега. Это означает значитель-



Рис 4. Конфигурация ветровых электростанций

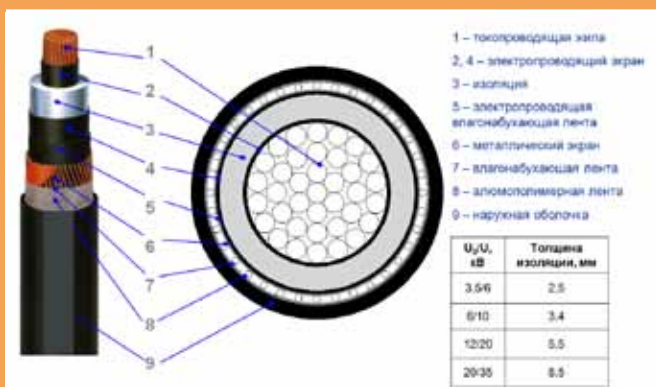
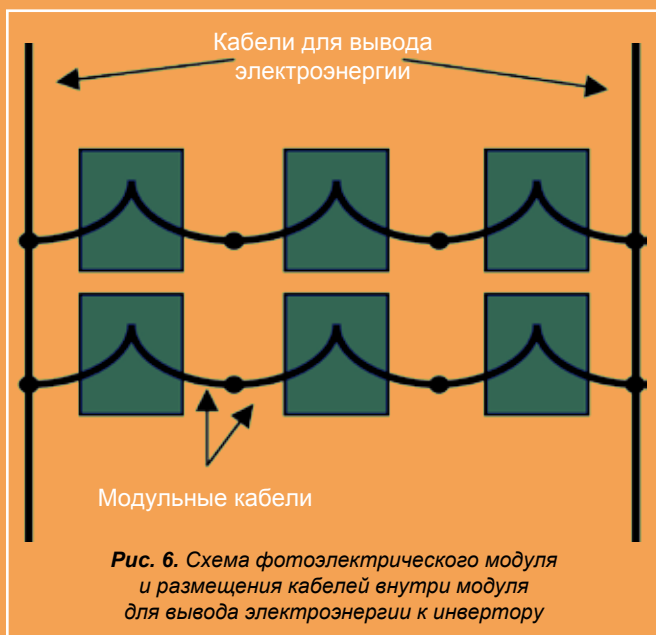


Рис. 5. Силовой кабель на напряжении 6–35 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена для подземной прокладки.
 U_{ϕ}/U – отношение фазного напряжения к линейному

ное повышение спроса на кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена или бумажной изоляцией с вязкой пропиткой, называемые за рубежом «экспортируемыми».

Каковы же перспективы применения кабельной продукции в фотоэлектрических установках? Как известно, солнечные батареи генерируют напряжение постоянного тока, которое с помощью конверторов преобразуется в напряжение переменного тока. Сами солнечные батареи состоят из отдельных модулей, число которых может достигать нескольких тысяч. Все эти модули необходимо соединять между собой и обеспечивать вывод электроэнергии от солнечной батареи к инвертору (рис. 6). Схема фотоэлектрического модуля и принципа размещения кабелей для самого модуля и вывода электроэнергии от модуля показана на рис. 6 [6].

Основную массу кабелей, используемых непосредственно в солнечных батареях, составляют одножильные медные кабели сечением 4,0–6,0 мм². Жилы кабелей гибкие, многопроволочные, луженые (класс 5 по стандарту МЭК 60228). Кабели имеют изоляцию и оболочку, легко отделяемые друг от друга для удобства монтажа. Изоляция обычно из сшитого полиэтилена. Одновременно эти кабели должны быть пожаробезопасными и не содержать галогенов. Поэтому



для изоляции (иногда) и оболочки (всегда) применяются как правило сополимеры полиолефинов, не распространяющие пламя и не содержащие галогенов. Толщина каждого слоя (изоляции и оболочки) составляет 0,5 мм.

Рабочее напряжение кабелей – до 1000 В (испытательное напряжение постоянного тока 1800 В). Диапазон рабочих температур кабелей от –40 до +90 °С. По условиям эксплуатации кабели подвергаются длительному ультрафиолетовому облучению, а также различным погодным воздействиям. Немаловажное значение имеет химстойкость оболочки кабелей, так как поверхность кабелей солнечных батарей загрязняется и подлежит последующей мойке с помощью различных детергентов, которые могут воздействовать на оболочку кабелей. Кроме того, необходимо учитывать воздействие на кабели масел или других смазочных жидкостей, которые используются в модуле (модули поворачиваются, отслеживая изменение угла падения солнечных лучей, поэтому их подвижные части имеют смазку). Особое значение в связи с традиционной установкой солнечных батарей в южных странах имеет стойкость изоляции и оболочек кабелей к действию грызунов и термитов. Известно, что самым надежным способом защиты кабелей от грызунов и термитов является наложение поверх оболочки металлических покрытий, например, в виде оплетки. Регламентированный срок службы кабелей – 25 лет.

Так как при расчетах срока службы обычных кабелей наработка принимается равной 20 000 часов, то для кабелей, применяемых в фотоэлектрических установках, предназначенных для длительной эксплуатации, эта цифра должна возрасти до 160 000 часов, а это возможно только за счет повышения длительной нагревостойкости покрытий минимум до +120 °С. Одно из специфических испытаний кабелей для солнечных батарей – испытание на действие механической нагрузки при повышенной температуре (+140 °С) [7]. Таким образом, можно сформулировать следующие технические требования к кабелям для модулей солнечных батарей:

- ♦ рабочая температура от –40 до +90 °С и в перспективе до +120 °С;
- ♦ пожаробезопасность и отсутствие галогенов в покрытиях;
- ♦ высокие механические характеристики покрытий, в том числе на стойкость к истиранию и на стойкость к продавливанию при повышенных температурах;
- ♦ химстойкость, в том числе маслостойкость покрытий;
- ♦ стойкость к действию грызунов и термитов.

Кабели в распределительной сети на стороне напряжения переменного тока прокладываются непосредственно в грунте. Рабочее напряжение до 35 кВ. Конструкции кабелей традиционные (рис. 5), только необходимо учитывать возможное воздействие агрессивных агентов, содержащихся в грунте. Один из возможных вариантов обеспечения надежности – прокладка в шахтах или туннелях с засыпкой искусственным грунтом, имеющим стабильное тепловое сопротивление, способствующее поддержанию рабочей температуры кабеля на заданном уровне.

Как же обстоят дела с точки зрения возобновляемой энергии в России? По-прежнему широко распространено мнение о том, что установки и оборудование нетрадиционных источников энергии сложны и дороги, а стоимость вырабатываемой электроэнергии высока. Однако с ужесточением требований по экологии удельная стоимость традиционных станций непрерывно возрастает, в то время как удельная стоимость станций на основе нетрадиционных источников энергии постепенно снижается. В настоящее время стоимость вырабатываемой электроэнергии составляет:

- ♦ на АЭС – 4–8 $\frac{\text{Евроцентов}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$;
- ♦ на угольных ТЭС – 5–8 $\frac{\text{Евроцентов}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$;
- ♦ на наземных ветровых установках – 6–9 $\frac{\text{Евроцентов}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$.

К тому же не следует забывать о задачах по сохранению и улучшению экологии окружающей среды, которые для развитых стран, в том числе и России, должны являться приоритетными. Сейчас в России существуют программы развития электроэнергетики до 2020–2030 гг. При рассмотрении в Правительстве России энергетической программы до 2030 года Председатель Правительства В.В. Путин сообщил, что использованию возобновляемых источников энергии должно быть уделено серьезное внимание. Так как в России издавна мнение высших руководителей государства важнее позиции любых министерств и ведомств, то следует рассчитывать, наконец, на поступательное движение в этом направлении.

По оптимистической оценке Института энергетической стратегии Минэнерго РФ, доля возобновляемых нетрадиционных источников энергии на уровне 2020 года может составить около 7 % от суммарного электропотребления в стране. К 2030 году планируется достигнуть общую установленную мощность этих источников энергии ≈ 17 ГВт, том числе:

- ♦ малые и микро- ГЭС, приливные ЭС – 4 ГВт;
- ♦ геотермальные станции – 3 ГВт;
- ♦ ветростанции – 5 ГВт;
- ♦ тепловые станции на биомассе – 6 ГВт;
- ♦ солнечные электростанции – 0,2 ГВт.

В области ветроэнергетики, наиболее интересной для производителей используемых в ветроэнергетике кабелей, можно сформулировать в частности, следующие направления технической политики:

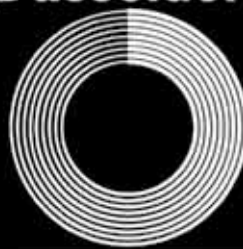
- ♦ создание специальной Комиссии или Экспертного Совета при Правительстве РФ по расширению применения возобновляемых нетрадиционных источников энергии с достаточно широкими полномочиями, включая разработку соответствующих законодательных актов;
- ♦ разработка и освоение производства систем электропитания на базе ветроустановок мощностью 10–100 кВт для автономной работы и в составе ветродизельных электростанций;
- ♦ создание систем аккумулирования электроэнергии;
- ♦ передача новейших технологий путем организации совместных или лицензионных производств ветроустановок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cables in Renewable Energy Systems (CRU). ICF News, Issue 61, Juli 2008. P. 3–11.
2. Голицын М.В., Баженова О.Н., Пронина Н.В., Архипов А.Я., Макарова Е.Ю. Энергия: экономика, техника, экология. – М.: Наука, 2005.
3. Проект энергетической стратегии России. М.: 2010.
4. Kemmler M.F. Requirements for Cables in Wind Power Application. Proceedings of the 58th IWCS/IICIT.
5. Проспекты фирмы WTEC SOLAR (США). 2009.
6. Kemmler M.F. Developments in Photovoltaic Cables. Proceedings of the 58th IWCS/IICIT. Charlotte, NC, USA, 08–11.11.2009. P. 146–150.
7. Borg J., Grunwald S., Hirtz I. Cables for Photovoltaic Application. Proceedings of the 58th IWCS/IICIT. Charlotte, NC, USA, 08–11.11.2009. P. 151–154.

wire®

Düsseldorf



join the best

12 – 16 апреля 2010

Дюссельдорф, Германия

Международная выставка
проволоки и кабеля

www.wire.de

Обеспечьте себе успех

Период освоения инноваций становится все короче. Новые технологии предлагают новые возможности. Тем, кто хочет идти в ногу со временем, требуется информация из первых рук.

На выставке wire 2010 встретятся эксперты всего мира в области производства проволоки и кабеля, чтобы испытать инновации на своем опыте. Присоединяйтесь и откройте для себя тенденции рынка будущего. Мастер-классы от ведущих производителей расширяют Ваши возможности. Ведущая международная выставка wire 2010, проходящая наряду с выставкой Tube, откроет Вам новые и выгодные перспективы.



Wire, Cable,
Fibre Optic,
Wire Products
and Machinery



Spring
Making



Fastener
Technology

010 «Messe Düsseldorf»
Носсау
121100 Носсау
Христиансбургская наб., 14
Тел.: +49 212 55 7725
Факс: +49 212 55 6789
P.Wire@dusd.de
www.messe-duesseldorf.de

M
Messe
Düsseldorf