

ПЕРСПЕКТИВЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА КАБЕЛЕЙ И ПРОВОДОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ



Г.И. Мещанов, канд. техн. наук,
генеральный директор ОАО «ВНИИКП»

К кабелям энергетического назначения следует в первую очередь отнести кабели и провода для передачи и распределения электроэнергии, то есть силовые кабели низкого, среднего и высокого напряжения, а также неизолированные провода для линий электропередачи (ЛЭП). Развитие этой группы кабелей и проводов непосредственно зависит от энергооборуженности страны и перспектив роста потребления электроэнергии. В связи с этим, безусловно, важно знать, что происходит и каковы прогнозы развития электроэнергетики в мире и в России. Мировое потребление электроэнергии составляет ориентировочно 16 тыс. млрд кВт·ч., а в России – 955 млрд кВт·ч. Мировая установленная мощность электроэнергии на сегодня – около 3700 ГВт, в России – 220 ГВт.

На рис. 1 и 2 показано, за счет каких источников в мире обеспечиваются производство и потребление электроэнергии, хотя эти показатели сильно отличаются в разных регионах мира и странах с учетом специфики природных ресурсов и многих других

факторов. Общие показатели энергооборуженности и энергопотребления в России в сравнении с мировыми – неплохие. Однако в сравнении с показателями развитых стран картина оказывается не такой уж радужной. Рис. 3 иллюстрирует удельное потребление электроэнергии на душу населения в разных регионах мира. Мировые аналитики обращают внимание на очень большое различие в значении этого показателя, что свидетельствует о степени развития региона, страны и уровне жизни в них.

Менее оптимистично выглядит ситуация в России и странах СНГ при анализе мирового развития электроэнергетики за десятилетний период. В табл. 1 показана динамика производства электроэнергии в мире за период 1995–2004 годов. Данные табл. 1 представляют интерес для понимания ситуации в различных регионах мира, оценки места стран СНГ и анализа прогнозов на будущее. Видно, что развитие электроэнергетики в странах СНГ, в том числе и в России, значительно отставало в последние годы

**Мировое потребление электроэнергии
(16 000 млрд кВт·ч)**



Рис. 1

**Мировая установленная мощность
электроэнергии (~ 3700 ГВт)**

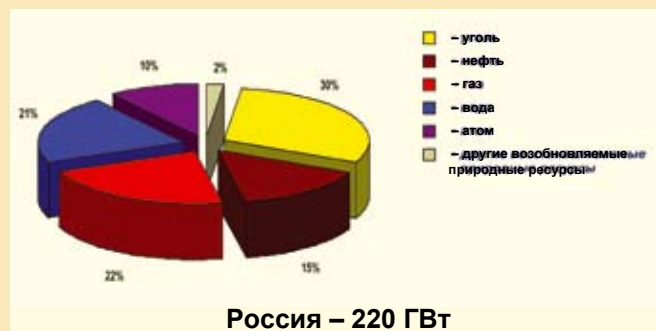


Рис. 2

Таблица 1

Ситуация в мире в 1995–2004 годах

	Народонаселение, млн				Первичная энергия, млн т в нефтяном эквиваленте*				Производство электроэнергии, ТВт·ч			
	1995	2004	Δ %	%	1995	2004	Δ %	%	1995	2004	Δ %	%
Европа	575	592	2,9	9,3	1803	1999	10,9	18,2	3068	3691	20,3	21,1
Страны СНГ	284	279	-1,7	4,4	959	966	0,7	8,8	1267	1345	6,1	7,7
Северная Америка	296	326	10,1	5,1	2320	2585	11,4	23,5	4142	4742	14,5	27,1
Южная Америка	474	541	14,1	8,5	524	651	24,2	5,9	770	1124	46,0	6,4
Восточная и Юго-Восточная Азия	1926	2103	9,2	33,2	2151	2936	36,5	26,7	2611	4356	66,8	24,9
Южная Азия	1213	1420	17,0	22,4	525	689	31,2	6,3	493	787	59,6	4,5
Средний Восток	149	181	21,4	2,8	319	475	48,9	4,3	339	583	71,9	3,3
Африка	707	869	22,9	13,8	438	557	27,2	5,1	364	535	46,9	3,0
Австралия	28	32	14,2	0,5	113	138	22,1	1,2	211	285	35,1	1,6
Мир	5652	6343	12,1	100	9152	10906	20,1	100	13,265	17,448	31,5	100
ОЕСД	1088	1159	6,5	18,3	4891	5495	12,3	49,3	8521	10,145	19,0	58,1
Европейский союз (25 стран)	447	456	2,0	7,2	1594	1757	10,2	15,7	2632	3182	20,6	18,2

* Включая дерево и биомассы, которые составляют 10 % в мире (более 80 % в Азии и Африке).

Потребление электроэнергии на душу населения



Рис. 3

Перспектива мирового потребления электроэнергии в 2003–2030 годах

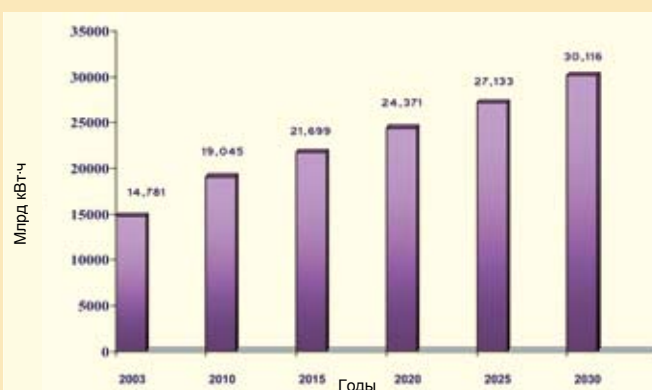


Рис. 4

от мировых темпов развития, не говоря уже о таких развивающихся регионах, как Южная Америка, Юго-Восточная Азия, Китай и др.

Следует подчеркнуть, что статистические показатели производства силовых кабелей на напряжение свыше 1 кВ и неизолированных проводов для ЛЭП в странах СНГ подтверждают выводы, которые могут быть сделаны из данных табл. 1. Так, например, объем производства силовых кабелей на напряжение свыше 1 кВ в 2006 году составил только 85 % от уровня 1990 года, а неизолированных проводов для ЛЭП – всего 21 %. В то же время за аналогичный период объем производства силовых кабелей на напряжение до 1 кВ вырос в 3,6 раза, что свидетельствует о мощном развитии общегражданского и промышленного строительства, а значит, и о будущем дефиците энергопомощностей.

На рис. 4 проиллюстрирована перспектива мирового потребления электроэнергии до 2030 года [1]. Предполагается, что мировое потребление электроэнергии будет возрастать в среднем на 2,7 % в год. В этом случае в ближайшие 25 лет потребление электроэнергии в мире увеличится вдвое, что потребует более чем в 2 раза увеличить установленную мощность. Интересно отметить, что и в России в настоящее время разрабатывается прогноз развития электроэнергетики (потребление и создание необходимых мощностей) до 2030 года, то есть также на период около 25 лет. Это правильный подход с учетом длительности строительства крупных атомных, гидро-, теплоэлектростанций, начиная с принятия решений и до ввода в эксплуатацию. На рис. 5 представлен один из прогнозов, подготовленный рабочей группой РАО ЕЭС [2].

Если принять во внимание мировые тенденции развития электроэнергетики за последние 10 лет,

Прогноз электропотребления в России

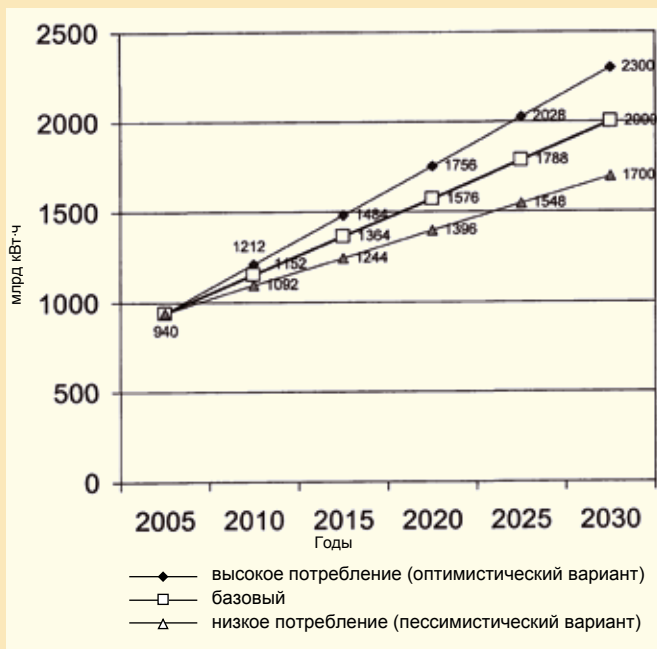


Рис. 5

застой в этой отрасли в России в последние 15 лет, а также стремление политических сил и всего общества вывести Россию в ближайшие десятилетия в разряд развитых держав мира, то темпы развития электроэнергетики России должны быть не ниже средних мировых. Это хороший ориентир для предприятий кабельной промышленности, которые должны быть готовы удовлетворить потребность электроэнергетики в современных кабельных изделиях.

Что происходило в кабельном мире в последние десятилетия и как это было связано с мировым развитием электроэнергетики? В табл. 2 представлены данные об использовании маслонаполненных кабе-

Объем применения в мире маслонаполненных кабелей (напряжение не менее 66 кВ)



Рис. 6

лей в мире и СССР в зависимости от рабочих напряжений. Из таблицы видно, что на протяжении длительного времени отечественная промышленность как минимум не уступала, а скорее опережала другие страны и первой в промышленном масштабе применила кабели на напряжение 500 кВ на Усть-Илимской и Токтогульской ГЭС, которые успешно эксплуатируются до настоящего времени. Рост объемов применения в мире маслонаполненных кабелей на напряжение не менее 66 кВ представлен на рис. 6. Видно, что и по объему проложенных кабелей страна занимала лидирующее положение в мире с учетом народонаселения.

Однако с конца 80-х годов прошлого века началось отставание отечественной кабельной промышленности, на которой отразился, конечно, застой отечественной электроэнергетики в 90-х годах. В эти годы многие передовые фирмы мира работали над освоением производства высоковольтных

Таблица 2

Использование маслонаполненных кабелей по уровню напряжения (первые линии)

Мир		СССР	
154 кВ	1958 год	110 кВ	1938 год
275 кВ	1959 год	220 кВ	1957 год
500 кВ	1973 год	380 кВ	1965 год
Постоянный ток	1977 год	500 кВ	1965 год
		1974–1975 годы – Усть-Илимская ГЭС, Токтогульская ГЭС	

Таблица 3

Использование высоковольтных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена по уровню напряжения (первые линии)

Мир		СССР – Россия	
66 кВ	1964 год	110 кВ	1983 год
132 кВ	1972 год	220 кВ	1986 год
154 кВ	1977 год	Промышленное применение кабелей на 220 кВ начато в 1998 году в системе Мосэнерго (импорт), на 500 кВ – в 2005 году на Бурейской ГЭС (импорт)	
275 кВ	1981 год		
500 кВ	1992 год		

Объемы применения в мире кабелей со сшитым полиэтиленом (напряжение не менее 66 кВ)



Рис. 7

кабелей нового поколения с изоляцией из сшитого полиэтилена, которые к настоящему времени практически полностью заменили на рынке маслонаполненные кабели. В табл. 3 приведены данные об использовании таких кабелей по уровню напряжения в мире и СССР – России. На рис. 7 представлены объемы применения в мире высоковольтных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. Видно, что за последние годы развитие их производства и применения осуществлялось высокими темпами. Промышленное использование таких кабелей на напряжение свыше 110 кВ в России началось только с 1998 года, а первая линия на напряжение 500 кВ проложена в 2005 году. До последнего времени единственным изготовителем кабелей со сшитым полиэтиленом на напряжение 110 кВ в России являлась фирма «АББ-Москабель». Все проекты электроэнергетики на более высокое напряжение реализуются пока с применением импортного кабеля.

В настоящее время ситуация начинает меняться к лучшему. В ближайшие 2–3 года будет освоено производство кабелей на напряжение 110–220 кВ на ряде предприятий. В проработке находится проект производства кабелей на напряжение до 500 кВ, реализация которого возможна к 2010 году. Новые производства должны использовать самые последние (передовые) достижения науки и техники в данной области. Например, в современных конструкциях кабелей предусматривается волоконно-оптический модуль для контроля состояния и параметров передачи мощности по кабельной линии.

Следует подчеркнуть, что бурное развитие производства и применения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена сопровождалось и сопровождается глубокими исследованиями в области обеспечения высокого качества и надежности кабелей, прогнозирования их срока службы и др. На это нужно обратить особое внимание отечественным производителям. К настоящему времени твердо установлено, что



Дефекты в изоляции:
 1 – частица термически разрушенного полиэтилена;
 2 – выступ электропроводящего экрана;
 3 – волокно хлопка;
 4 – крупная (1 мм) газовая полость

Рис. 8

главным фактором, определяющим качество кабеля, является наличие тех или иных микроскопических дефектов. Пример таких дефектов показан на микрофотографиях (рис. 8). Поэтому необходимо обладать методами поиска и распознавания таких дефектов, оценки их характеристик вплоть до определения электрической прочности изоляции в местах локализации индивидуальных дефектов. Такая работа исключительно важна при освоении производства, так как позволяет выявить и устранить недостатки производственного процесса (а в ряде случаев и недостатки поставщиков материалов) и при этом резко повысить культуру производства. Приведенные, например в [3], данные показывают, что электрическая прочность значительно снижается в зависимости от размера включений и для обеспечения расчетной напряженности электрического поля 40 кВ/мм величина таких включений не должна превышать 50 мкм.

В ОАО «ВНИИКП» на протяжении последних лет разработаны и широко используются оригинальные методики обнаружения не только дефектов в изоляционной системе высоковольтных кабелей, но и водных триингов, а также оценки степени разложения полимера внутри триинга, прогнозирования срока службы кабеля. Развитые методические подходы и созданные экспериментальные установки позволяют оценивать качество изготовления кабеля, изучать механизмы старения изоляции, решать задачи по прогнозированию остаточного ресурса. Отсутствие достигнутого к настоящему времени уровня знаний в данной области не позволило на ранней стадии освоения производства кабелей со сшитым полиэтиленом на напряжение 110 кВ на заводе «Экспокабель» обеспечить их высокое качество. Это стало очевидным в настоящее время, когда после 15–18 лет эксплуатации такие кабели начали пробижаться. Многочисленные исследования этих кабелей в местах пробоя, выполненные ОАО «ВНИИКП» по заданию Мосэнерго, показали, что хотя кабели

изготавливались по лицензии и на оборудовании фирмы General Cable (США), их качество не соответствует уровню требований, предъявляемых сегодня к таким кабелям в исходном состоянии, и тем самым не обеспечивается закладываемый в документации срок службы не менее 30 лет,

Отечественная кабельная промышленность в период 2003–2006 годов освоила и производит на шести предприятиях кабели на среднее напряжение 10, 20 и 35 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ-кабели). Особенности вновь созданных в России производств СПЭ-кабелей являются следующие важные факторы:

- применение нового технологического оборудования с учетом последних достижений мировых производителей в этой области (оборудование second-hand не использовано);
- изготовление герметизированных конструкций кабелей с использованием изоляционных и электропроводящих композиций последнего поколения, рассчитанных на высокие сроки службы кабелей;
- производство кабелей в соответствии с требованиями последних стандартов IEC и CENELEC с подтверждением надежности кабелей при 2-годичных испытаниях во влажной среде при повышенном напряжении.

Кабели со сшитым полиэтиленом превосходят кабели с бумажной изоляцией по ряду эксплуатационных показателей: длительно допустимой рабочей температуре, температуре при перегрузках, стойкости к токам короткого замыкания. Нагрузочная способность их выше на 20 %, значительно ниже трудоемкость при монтаже и ремонтах. Однако, несмотря на очевидные преимущества кабелей со сшитым полиэтиленом, объем их применения в России явно недостаточен. Анализ результатов работы в 2006 году показал, что только 36 % кабелей на напряжения 6–10 кВ было изготовлено с изоляцией из сшитого полиэтилена. В то же время большинство стран мира уже полностью перешли на использование кабелей со сшитым полиэтиленом в распределительных сетях на напряжения 10–35 кВ. В связи с этим в ближайшие 5–7 лет в отечественной практике тоже придется перейти на производство современных кабелей, полностью отказавшись от применения кабелей с пропитанной бумажной изоляцией. Кабельная промышленность России имеет инвестиционные и другие условия для расширения производства кабелей нового поколения и удовлетворения потребностей электроэнергетики.

При осуществлении электроэнергетической программы на период до 2030 года, очевидно, потребуются сооружение высоковольтных ЛЭП на постоянном токе с учетом их преимуществ по сравнению с линиями на переменном токе (пример: сооружение четырех магистральных двухполосных ЛЭП постоянного тока на напряжение ± 500 кВ для передачи суммарной мощности около 12 ГВт в Китае). При сооружении подопных линий могут потребоваться кабели постоянно-

го тока в качестве кабельных вставок по труднопроходимым участкам трассы для воздушных ЛЭП, а также для осуществления кабельных вводов в инверторные и преобразовательные подстанции. Кроме того, применение кабелей постоянного тока является единственным вариантом при сооружении подводных кабельных линий при их длине свыше 50 км.

Кабели постоянного тока в настоящее время в России не производятся и не заложены в проекты ЛЭП. В то же время за рубежом (фирма АВВ, японские фирмы) эти кабели в последнее десятилетие разработаны на основе полимерной экструдированной изоляции с исключением в ней объемных зарядов, что обеспечивает высокую электрическую прочность и надежность кабеля. Кабели применены при сооружении протяженных подземных и подводных линий (длина до 170 км). Создание таких кабелей представляет сложную научно-техническую задачу, связанную в первую очередь с разработкой специальных материалов. Потребность в кабелях постоянного тока может оказаться достаточно высокой, поэтому представляется целесообразным уже сегодня приступить к исследованиям, разработке и организации производства таких кабелей с экструдированной полимерной изоляцией на базе производства высоковольтных кабелей переменного тока.

В заключение – о неизолированных проводах для магистральных воздушных ЛЭП. Увеличение генерирующей мощностей и потребления электроэнергии более чем в 2 раза потребует соответствующего увеличения пропускной способности воздушных ЛЭП. Возникает дилемма: или строить новые воздушные ЛЭП протяженностью, равной имеющейся, или искать альтернативные решения. В качестве такой альтернативы в последние годы ряд фирм Японии, Южной Кореи, Италии и США разработали высокотемпературные провода для ЛЭП на длительно допустимую рабочую температуру до 210 °С взамен стандартно применяемых алюминиевых и сталеалюминиевых проводов, рассчитанных на рабочую температуру не более 100 °С. Повышение рабочей температуры и пропускной мощности ЛЭП более чем в 2 раза привело к необходимости решения таких сопутствующих проблем, как:

- снижение стрелы провиса провода за счет применения в его конструкции материалов с пониженным (как минимум вдвое) коэффициентом линейного расширения;
- повышение разрывных усилий и снижение массы проводов на единицу длины с сохранением высокой электропроводности.

Особенно интересно, как эти проблемы решены в конструкции высокотемпературного провода типа ACCR (Aluminium Conductor Composite Reinforced) – алюминиевого композитного усиленного провода, разработанного компанией 3М (США). Сердечник провода с высоким разрывным усилием, низким коэффициентом линейного расширения и высо-

Таблица 4

Свойства высокотемпературных проводов для ЛЭП

Свойства композитного сердечника		Свойства проводников из сплава алюминий–цирконий	
Предел прочности на разрыв	1380 МПа	Предел прочности на разрыв (при диаметре < 4 мм) (при диаметре > 4 мм)	162 МПа 159 МПа
Плотность	3,33 г/см ²	Предельное удлинение	> 2%
Жесткость	215 ГПа	Сохранение прочности на разрыв при нагревании свыше 280 °С/1 час	> 90%
Электропроводность	Соответствует Al	Плотность	2,7 г/см ³
Температурный коэффициент линейного расширения	6×10 ⁻⁶ /°С	Удельное сопротивление при 20 °С	< 28,73×10 ⁻⁹ Ом·м
Сопротивление усталости (усталость прочная)	> 10 млн циклов при 690 МПа	Рабочая температура	210 °С
Максимальная температура при кратковременных пиках нагрузки	> 300 °С	Максимальная температура при кратковременных пиках нагрузки	240 °С

Высокотемпературные провода для ЛЭП с композитным сердечником на основе нанотехнологий

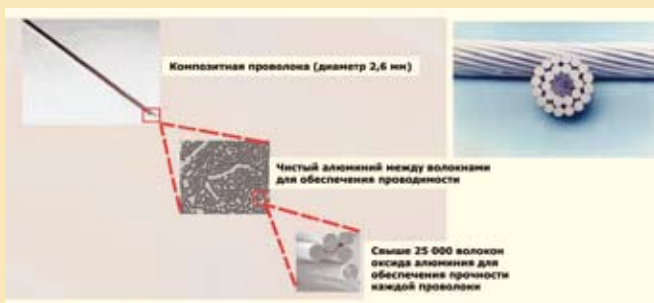


Рис. 9

кой электропроводностью выполнен из проволок на основе алюминия высокой чистоты, в которые внедрены более 25 тысяч микронных непрерывных продольных волокон оксида алюминия (Al₂O₃), – типичный пример эффективного применения нанотехнологий. Вокруг сердечника накладываются повивы проволок из сплава алюминий–цирконий. Конструкция провода показана на рис. 9, а его основные характеристики приведены в табл. 4.

Российской наукой решены подобные проблемы при создании высокопрочных медных проводников, работающих в сверхпроводящих обмотках магнитов. Не менее важной задачей является создание аналога провода ACCR для массового применения в ЛЭП с повышенной пропускной способностью. В связи с этим предлагается в рамках программы развития электроэнергетики предусмотреть следующие этапы работ:

- 2007–2009 годы – проведение необходимых НИОКР с широкой проработкой технико-экономического анализа;
- 2010–2020 годы – разработка программы перехода на новые провода, строительство первых эк-

спериментальных участков с проведением опытной эксплуатации (при положительном опыте – дальнейшее расширение использования новых проводов).

Литература



1. Материалы конгресса ICF. Чикаго, октябрь 2006 г.
2. Перспективы развития электроэнергетики России на период до 2030 г.: Доклад на заседании Академии электротехнических наук / Волков Э.П., Баринов В.А. М., февраль 2007 г.
3. Образцов Ю.В., Фрик А.А., Слизов А.А. Силовые кабели среднего напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена. Факторы качества // Кабели и провода. 2005. № 1 (290). С 9–13.

СТОИМОСТЬ ПОДПИСКИ ЧЕРЕЗ РЕДАКЦИЮ

(без учета НДС – 18%) на II полугодие 2007 года (3 номера):

- для членов Ассоциации «Электрокабель» – 450 руб.,
- для учебных заведений и студентов – 300 руб.,
- для остальных подписчиков России и стран СНГ – 600 руб.,
- для подписчиков других зарубежных стран – € 30.

По вопросам подписки обращайтесь к Алле Евгеньевне Тимофеевой. Тел./факс: (495) 918-1627.

Подписаться на II полугодие 2007 года можно через почтовое отделение по каталогу «Газеты. Журналы» агентства «Роспечать» (подписной индекс – 79943), по «Объединенному каталогу. Пресса России. Газеты и журналы» (подписной индекс – 41915).

Подписная цена включает стоимость доставки.