

УДК 678.7

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЕЙ**

Тришкин Ф.А., студент гр. ЭРб-211, IV курс

Попова О.В., к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Производство силовых кабелей, играющее ключевую роль в энергетической отрасли, постоянно эволюционирует благодаря внедрению инновационных технологий. Желание повышения стандартов качества и эффективности производства требует постоянного внедрения новых и усовершенствованных элементов. Одним из важных направлений этого развития является использование новых материалов, дополняющих традиционные, такие как медь или алюминий. Сплавы и композиты предоставляют уникальные возможности для улучшения проводимости и прочности кабелей, снижения потерь энергии и повышения устойчивости к внешним воздействиям. Технологии обработки этих материалов также продолжают развиваться, способствуя созданию более гибких и компактных кабелей.

Современное производство силовых кабелей подвергается постоянной потребности в инновациях, обусловленной быстрым развитием технологий и динамикой энергетической отрасли. Применение инновационных материалов, таких как прочные полимеры или нанотехнологии, способствует улучшению проводимости, износостойкости и снижению веса кабелей. Новые технологии, такие как использование роботизированных систем или 3D-печать для создания сложных конструкций, также увеличивают производительность и точность в процессе производства.

Современные инновации в производстве силовых кабелей предлагают новые материалы, обеспечивающие более надежную и эффективную передачу энергии. Графен, ультратонкий слой углерода с высокой проводимостью, значительно улучшает электрическую пропускную способность кабеля, позволяя достичь большей мощности при более компактных размерах. Полимерные материалы нового поколения, такие как суперсильный полиэтилен (UHMWPE) с высокой прочностью и стойкостью к агрессивным условиям эксплуатации, также способствуют созданию кабелей с повышенной долговечностью и безопасностью[1].

**Высокотемпературные сверхпроводники**

Отдельно хочется рассмотреть такое направление как высокотемпературные сверхпроводники. Они представляют собой новаторскую технологию в производстве силовых кабелей. Эти материалы обладают уникальными свойствами, позволяющими передавать электрический ток без потерь. В отличие от традиционных проводников, высокотемпературные сверхпроводники способны

работать при экстремально низких температурах, что существенно снижает необходимость в охлаждении системы. Использование таких материалов может значительно повысить эффективность и надежность силовых кабелей, а также сократить энергопотребление в процессе передачи. Это делает высокотемпературные сверхпроводники перспективным направлением развития в инновационной промышленности.

Группа "Россети" ведет работу по реализации инновационных разработок НТЦ "Россети ФСК ЕЭС", строя самую протяженную в мире высокотемпературную сверхпроводящую кабельную линию (ВТСП КЛ) в Санкт-Петербурге. Протяженность линии составит 2,5 км и соединит подстанции ПС 330 кВ "Центральная" и ПС 220 кВ "РП-9" Московского и Фрунзенского районов города. Эта линия постоянного тока способна передавать до 50 МВт на среднем напряжении 20 кВ, используя высокотемпературные сверхпроводники, что обеспечивает высокую эффективность передачи энергии без существенных потерь. Применение высокотемпературных сверхпроводников в конструкции кабеля позволяет осуществлять передачу значительных мощностей с минимальными энергетическими потерями при охлаждении кабеля до температуры ниже 77 К. Планируется создание монополярной передачи с обратным проводником, обладающей классом напряжения 20 кВ, расчетным током 2,5 кА и мощностью 50 МВт. Внешний диаметр криостата составит 110 мм, а криогенная система замкнутого типа будет иметь производительность 12 кВт при температуре охлаждения 67 К. Данный проект в Санкт-Петербурге станет первым в стране и послужит основой для создания сети сверхпроводящих линий электропередачи по всей России. Это выдвигается как приоритетное направление работы ПАО "ФСК ЕЭС" в области снижения потерь и повышения энергоэффективности. Применение инновационных технологий в производстве силовых кабелей, таких как высокотемпературные сверхпроводники, обещает принести множество преимуществ по сравнению с традиционными воздушными линиями электропередачи. Новые линии обеспечивают передачу энергии с минимальными потерями, обладают легкостью, долговечностью и отсутствием электромагнитных и тепловых полей рассеяния. Экологическая и пожаробезопасная природа этих систем дает возможность ограничить токи короткого замыкания, повысить устойчивость сети и предотвратить каскадные отключения, что является значительным прогрессом в области передачи электроэнергии. Эта технология также имеет преимущества в плотно застроенных городских условиях, где ВТСП КЛ способна сохранить городской ландшафт и сократить площадь отчуждаемой территории, снижая затраты на строительство до 20%. Кроме того, сверхпроводники могут использоваться при строительстве кольцевых схем и энергомо-стов, а также для вывода мощности с крупных объектов генерации, таких как гидроэлектростанции и атомные электростанции. Это подчеркивает значительный потенциал применения инновационных технологий в области энергетики и силовых кабелей[2].



Рис. 1 Схема ВТСП силового кабеля

### Высокотемпературный провод

В 2008 году ОАО "Кирскабель" совместно с Национальным исследовательским технологическим университетом "МИСиС" начало разработку первого в России высокотемпературного провода.

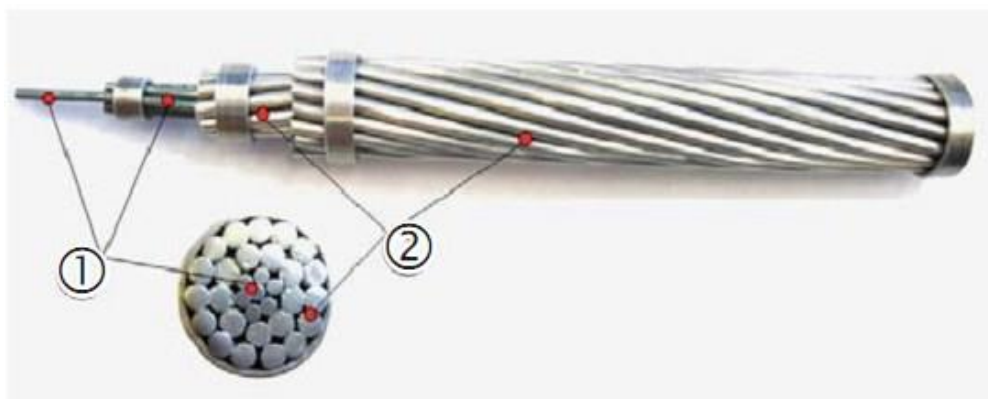


Рис. 2. Высокотемпературный провод АСТ производства ОАО «Кирскабель».

- 1 — стальной сердечник;  
2 — алюминиевый термостойкий сплав.

Если сравнить конструкцию этого провода, получившего обозначение АСТ, с обычными проводами переменного тока, используемыми в линиях электропередачи (см.табл.1), то заметных отличий не обнаружится. Однако главной особенностью нового провода является использование сплава Al-Zr в качестве материала токопроводящего слоя. Этот материал позволяет ЛЭП эффективно работать при температурах до 210°C, передавать большую мощность и повышать надежность в таких условиях, как пиковые нагрузки, аварии и послеаварийная эксплуатация ЛЭП. Использование таких проводов также решает проблему обледенения из-за высокой температуры проводов, вызванной высокими токовыми нагрузками. В результате можно избежать или сократить время, за-

трачиваемое на остановку ЛЭП для проведения специальных процедур по борьбе с обледенением.

Таблица 1  
 Основные отличия провода АСТ от провода АС.

Характеристика	АС	АСТ
Рабочая температура, °С	80	210
Краткосрочный нагрев, до 30 мин, °С	90	240
Допустимая температура при КЗ < 1с, °С	220	300
Токосекущая способность, А	$I_{раб}$	$I_{раб} + 50\%$
Передаваемая мощность, Вт	$W_{раб}$	$1,5 \cdot W_{раб}$

Провод АСТ прошел все необходимые испытания и был одобрен совместной аттестационной комиссией ОАО "ФСК ЕЭС" и ОАО "Холдинг МРСК" как соответствующий техническим требованиям, рекомендованным для применения на объектах ФСК и Холдинга МРСК. Осенью 2011 года МЭС Волги реконструировали высоковольтную линию 220 кВ "ВАЗ-3", что позволило увеличить пропускную способность и повысить надежность. При выполнении работ использовались провода АСТ 300/66 производства ОАО "Кирскабель". Проект стал первым в России, где для высоковольтных линий использовались термостойкие провода отечественного производителя. [3].

### Композитный провод для высоковольтных воздушных линий

Корпорация 3М выпустила инновационный композитный провод для высоковольтных воздушных линий электропередачи. Провод способен передавать в два-три раза больше энергии, чем обычные сталеалюминиевые провода того же сечения. Продукт, получивший название АССР (алюминиевый композитный армированный провод), совершает революцию в воздушных линиях электропередачи и обладает значительными преимуществами в механических и прочностных свойствах. АССР решает проблему недостаточной пропускной способности линий электропередачи. Это решение проблемы недостаточной пропускной способности линий электропередач, особенно в условиях растущего спроса на увеличение пропускной способности. Помимо увеличения пропускной способности, этот композитный провод отличается легкостью, высокой прочностью, устойчивостью к высоким температурам и провисанию. Он также обладает повышенной коррозионной и усталостной стойкостью и является экологически чистым. АССР успешно эксплуатируется в коммерческих целях с 2005 года после всесторонних испытаний в лабораторных условиях и на линиях электропередачи. В настоящее время семь крупных сетей электропередачи в США используют проводники АССР или находятся в процессе их установки. Многожильный проводник состоит из композитной жилы и внешней токопроводящей жилы. Сердечник сформирован из проволок диаметром 1,9-2,9 мм, содержащих алюминий высокой чистоты и встроенные волокна оксида алюминия. Эти волокна придают материалу высокую прочность. Механические и физические свойства композитных сердечников значительно лучше, чем у

алюминиевых или стальных, что делает ACCR очень эффективным и перспективным вариантом для высоковольтных линий электропередачи. [4].



Рис.3. Структура композитного сердечника

Вывод: в заключение следует отметить, что область инновационных технологий стремительно развивается, предоставляя новые перспективы для энергетической отрасли. Упомянутые инновации, такие как высокотемпературный провод АСТ, композитный провод ACCR и высокотемпературные сверхпроводники, демонстрируют значительные преимущества в сравнении с традиционными материалами и технологиями.

Внедрение новых материалов, например, Al-Zr-сплава в составе провода АСТ, позволяет существенно повысить температурную стойкость, эффективность передачи энергии и надежность работы кабелей. Это особенно актуально в условиях высоких температур и пиковых нагрузок, способствуя улучшению функциональности энергетических систем.

Композитный провод ACCR, в свою очередь, представляет собой существенный прорыв, обеспечивая значительное увеличение пропускной способности линий электропередачи при снижении массы, улучшенной прочности и температуростойкости. Эти характеристики способствуют повышению эффективности и устойчивости сетей электропередачи, а также снижению воздействия на окружающую среду.

Высокотемпературные сверхпроводники, являясь важным элементом инновационных технологий, обеспечивают передачу электрического тока без потерь при экстремально низких температурах. Их внедрение может существенно увеличить эффективность и надежность силовых кабелей, а также сократить энергопотребление в процессе передачи, что делает их перспективным направлением развития в инновационной промышленности.

## Список литературы:

1. <https://www.electro-master.ru/info/articles/innovatsii-v-proizvodstve-silovykh-kabeley-novye-materialy-i-tehnologii/>
2. [https://dzen.ru/a/Y5KFhk7XfWzrPkH\\_](https://dzen.ru/a/Y5KFhk7XfWzrPkH_)
3. [https://www.ruscable.ru/article/Innovacionnye\\_konstrukcii\\_provodov\\_dlya](https://www.ruscable.ru/article/Innovacionnye_konstrukcii_provodov_dlya)
4. <https://www.elec.ru/publications/peredacha-raspredelenie-i-nakoplenie-elektroenergi/767/>

## Информация об авторах:

Тришкин Федор Александрович, студент гр. ЭРб-211, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, [212167@kuzstu.ru](mailto:212167@kuzstu.ru)

Попова Ольга Владимировна, к.т.н., доцент, КузГТУ, 650000, г. Кемерово ул. Весенняя, д. 28, [vip-ole@ya.ru](mailto:vip-ole@ya.ru)