



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-2-76-82>  
УДК 621.315

Поступила 13.02.2026  
Received 13.02.2026

## ВОДООХЛАЖДАЕМЫЕ КАБЕЛИ. УВЕЛИЧЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ

С. И. ПОДГАЙСКИЙ, А. В. ГОЛОМУЗДОВ, ООО «ПО «Энергокомплект»,  
г. Витебск, Беларусь, пр. Московский, 94Б. E-mail: [info@vikab.by](mailto:info@vikab.by)

*В статье рассмотрены основные причины отказов водоохлаждаемых кабелей больших сечений от 1600 до 6000 мм<sup>2</sup> для дуговых сталеплавильных электропечей. Короткий срок службы крупногабаритных водоохлаждаемых силовых кабелей в электродуговых печах создает эксплуатационные трудности. Простои и мероприятия, связанные с заменой кабелей, приводят к большим экономическим потерям. Частое техническое обслуживание кабелей короткой сети подвергает персонал и оборудование предприятия рискам, связанным с безопасностью. Инженеры, оперативный и обслуживающий персонал должны изучить причины выхода из строя водоохлаждаемых кабелей и то, как современные инженерные решения направлены на продление срока их службы.*

**Ключевые слова.** Водоохлаждаемые кабели, индукционные печи, дуговые электрические печи, энергоснабжение, плавка металла.

**Для цитирования.** Подгайский, С. И. Водоохлаждаемые кабели. Увеличение срока службы / С. И. Подгайский, А. В. Голомуздов // Литье и металлургия. 2026. № 2. С. 76–82. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-2-76-82>.

## WATER-COOLED CABLES. EXTENDED SERVICE LIFE

S. I. PODGAJSKIJ, A. V. GOLOMUZDOV, LLC "Production Association "Energocomplekt",  
Vitebsk, Belarus, 94B, Moskovsky ave. E-mail: [info@vikab.by](mailto:info@vikab.by)

*This article examines the main causes of failure of large-section water-cooled cables (1600 to 6000 mm<sup>2</sup>) for electric arc furnaces. The short service life of large water-cooled power cables in electric arc furnaces creates operational challenges. Downtime and cable replacement procedures result in significant economic losses. Frequent maintenance of short-range cables exposes personnel and plant equipment to safety risks. Engineers, operations, and maintenance personnel must study the causes of water-cooled cable failure and how modern engineering solutions are designed to extend their service life.*

**Keywords.** Water-cooled cables, induction furnaces, electric arc furnaces, power supply, metal smelting.

**For citation.** Podgajskij S. I., Golomuzdov A. V. Water-cooled cables. Extended service life. Foundry production and metallurgy, 2026, no. 2, pp. 76–82. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-2-76-82>.

Производство стали в электродуговых печах является вторым по производительности способом производства стали и важнейшим способом переработки лома во всем мире [1, 2]. Дуговая сталеплавильная печь (ДСП) – электрическая плавильная печь, в которой используется тепловой эффект электрической дуги для плавки металлов и других материалов. К конструкции дуговой печи, ее вспомогательным элементам, схеме электроснабжения предъявляют следующие весьма жесткие требования:

- потенциальная возможность гибкого регулирования мощностью;
- возможность поддержания в печи восстановительной атмосферы;
- оперативная защита электрооборудования печи от возникающих коротких замыканий и частых обрывов дуги в течение всего периода плавки;
- возможность ограничивать токи короткого замыкания и выдерживать все электрические режимы технологического процесса.

Плавка металла требует передачи энергии в десятки тысяч ампер на сравнительно небольшом участке сети (от понижающих трансформаторов, установленных возле печи), что накладывает определенные особенности технических решений при ее транзите – применение водяного охлаждения [3].

Гибкие водоохлаждаемые кабели передают электроэнергию от трансформатора к электродам, при установке образуют гибкую часть, которая компенсирует перемещение электродов при их движении и наклоне печи. Водоохлаждаемый кабель рассчитан на напряжение вплоть до 1500 В. Основные элементы конструкции одного из типов такого кабеля показаны на рис. 1.

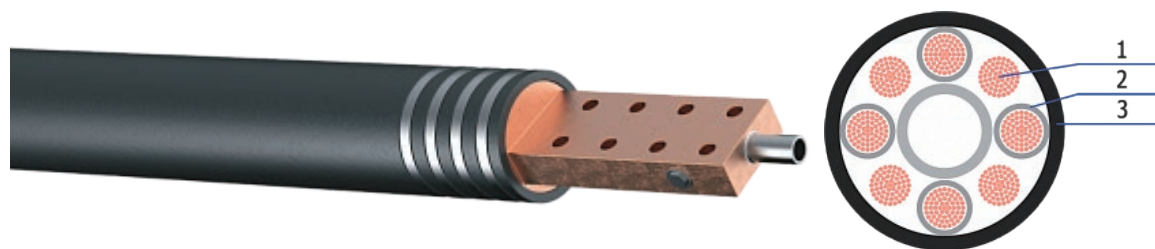


Рис. 1. Водоохлаждаемый кабель и его конструкция: 1 – токоведущая жила; 2 – перфорированная трубка; 3 – наружный рукав

1. В процессе плавки металла из-за обвала шихты возникают КЗ между электродами и металлом, чаще всего происходят однофазные замыкания. Несмотря на то что токи КЗ ограничиваются аппаратной частью (печным трансформатором и дополнительным реактором), они превышают величины номинального тока более чем в 2,5–3,5 раза [3].

Короткие замыкания, а также высокое значение плотности тока вызывают сильные динамические нагрузки, приводящие к колебаниям кабеля в поперечном направлении, которые вызывают истирание и повреждение наружного рукава, а также внутренней структуры кабеля (рис. 2–4).



Рис. 2. Истирание наружного рукава

К техническим мероприятиям по снижению данных повреждений относится использование накладных бандажей и специальных конструкций рукавов с наружными ребрами. Также возможно использование рукавов с усилением отдельных участков с требованиями необходимой стойкости к температуре, истиранию или от брызг раскаленного металла.



Рис. 3. Рукава с защитными элементами



Рис. 4. Повреждение и разрыв внутренних жил кабеля

2. Значительное влияние оказывают тепловой режим работы кабеля, качество и температура охлаждающей воды. Вследствие недостаточного охлаждения или превышения допустимых токов при недостатке кислорода, как правило при температуре около 200 °С, происходит образование оксидов меди на поверхности проволок фиолетового цвета (рис. 5).



Рис. 5. Появление фиолетового цвета на меди

3. Наличие посторонних включений вызывает нарушение режимов охлаждения кабеля вследствие закупорки отверстий для протока охлаждающей воды с последующим перегревом кабеля и обрывом токоведущих жил (рис. 6).

4. Высокое содержание в воде кислот или щелочей приводит к образованию оксидов меди на поверхности проволок, их утоньшению и излому (рис. 7).

Одним из методов решения вопросов, связанных с качеством охлаждающей воды – наличие на предприятии систем водоподготовки и постоянный мониторинг работы систем по контролю температуры жидкости на входе и выходе из кабеля. При невозможности создания системы водоподготовки хорошим техническим решением является использование водоохлаждаемого кабеля с лужеными проволоками в токопроводящей жиле (рис. 8).

5. Причиной преждевременного выхода кабеля из строя также могут быть недостатки в конструкции: неплотная скрутка жил может привести к распушиванию и разрушению проволок токопроводящих жил, например при использовании опорного шланга меньшего размера, увеличивается внутреннее перемещение проводников во время электрического цикла плавки, что может вызвать чрезмерный износ как опорного шланга, так и токопроводящих жил (рис. 9) [4].

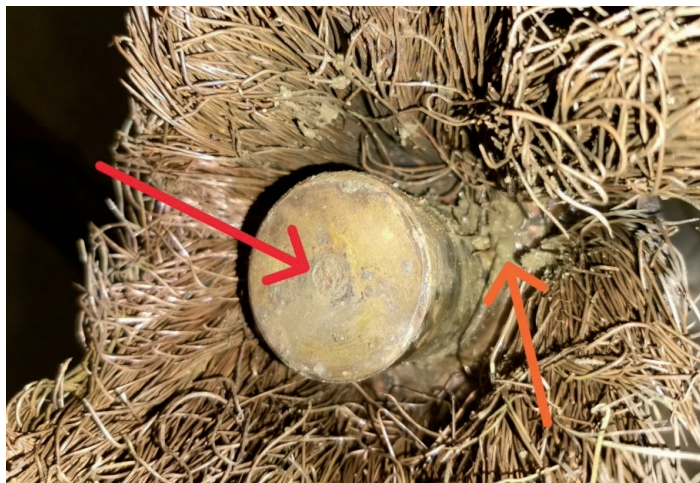


Рис. 6. Наличие посторонних включений в воде (оранжевая стрелка) привело к полной закупорке отверстия для протока охлаждающей воды в опорном шланге (красная стрелка), впоследствии произошел перегрев и обрыв токоведущих жил



Рис. 7. Излом проволок

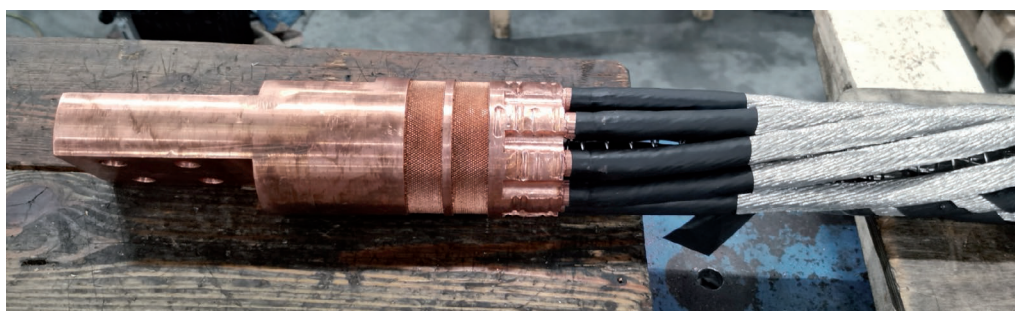


Рис. 8. Луженая проволока в токопроводящей жиле



Рис. 9. Пример скрутки кабеля с опорным шлангом меньшего размера

6. Возможен износ и разрыв проволок элементарных прядей токоведущих жил из-за низкой стойкости проволок к перегибам ввиду плохого качества использованной меди или недостаточной степени ее отжига, поэтому токопроводящие жилы должны соответствовать ГОСТ 22483-2021 [5] (рис. 10).



Рис. 10. Износ и разрыв проволок элементарных прядей (стренг) из-за низкой стойкости проволок к перегибам ввиду плохого качества использованной меди и недостаточного ее отжига

7. При работе кабеля возникает естественный износ за счет трения между проволоками, поэтому важно использование качественных материалов, соблюдения технологии скрутки токопроводящих жил, а также применения технических решений для уменьшения трения и улучшения охлаждения, например, защита токопроводящих жил от трения перфорированной трубкой (рис. 11, 12).



Рис. 11. Естественный износ кабеля при эксплуатации

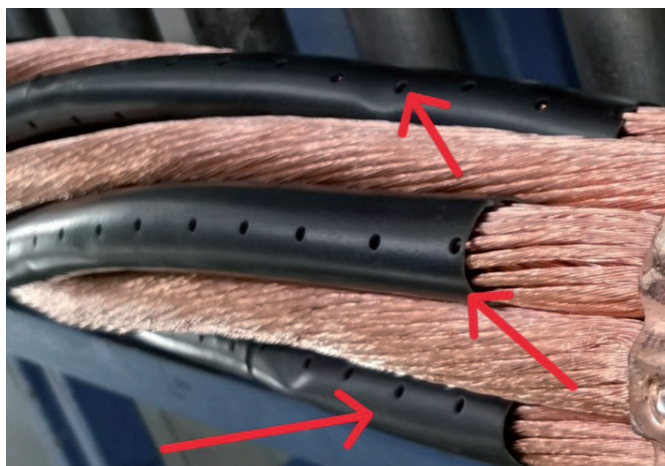


Рис. 12. Защита токопроводящих жил от трения перфорированной трубкой, перфорация обеспечивает охлаждение во время работы

8. Высокие динамические нагрузки, вызываемые скачками тока во время плавки, поворот свода печи с электродержателями электродов, вертикальные перемещения приводят к деформации внутренней структуры кабеля (рис. 13), раскручиванию сердечника и изменению шагов скрутки токопроводящих жил. Несоблюдение установленных радиусов изгиба кабеля при его монтаже приводит к переламыванию токопроводящих жил возле наконечника кабеля (рис. 14). Необходимо следовать рекомендациям по эксплуатации завода-изготовителя, применять специальные меры в конструкции кабеля и наружного рукава [6].



Рис. 13. Изменение шагов скрутки токопроводящих жил кабеля



Рис. 14. Обрыв жил возле наконечника

Одним из технических решений по увеличению стойкости кабеля к динамическим нагрузкам и крутящим усилиям является использование в конструкции кабеля вращающегося фланца. Устанавливается с одной стороны кабеля и крепится на неподвижную часть питающей сети (рис. 15).

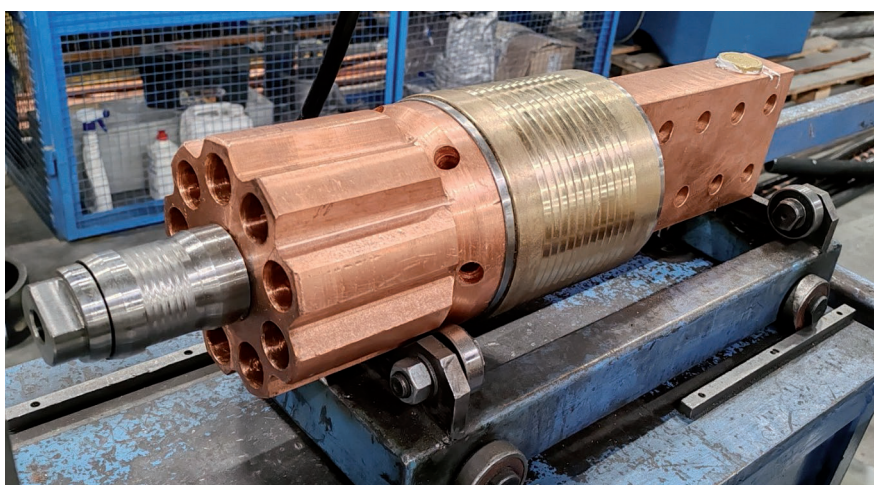


Рис. 15. Вращающийся фланец

9. Проектирование наконечника кабеля с тонкими стенками приводит к его деформации во время сборки, недостаточным контактным пятну (рис. 16) и повреждению проволок токопроводящих жил, в конструкции кабеля должны быть учтены деформация жил и наконечника, в технологии сборки предусмотрены меры для улучшения контактного соединения жил и наконечника [7].

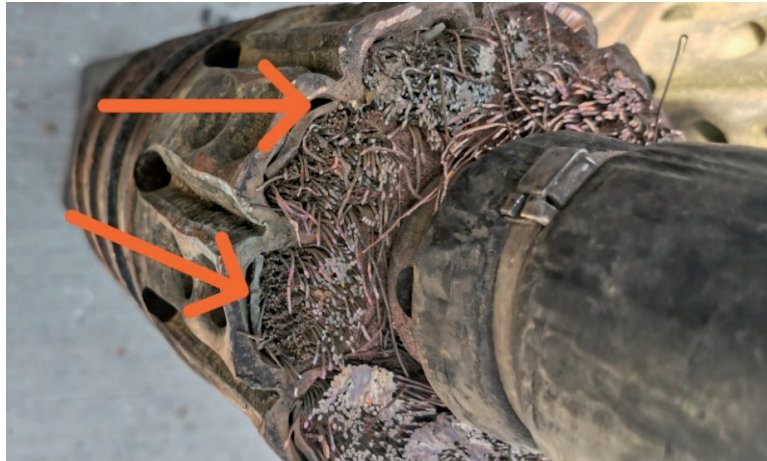


Рис. 16. Зазоры в месте обсадки наконечника

### Выводы

Устойчивость электроснабжения при работе дуговой печи зависит не только от режимов эксплуатации, технического обслуживания, но и от конструктивных решений, принятых при изготовлении кабеля, а также применения качественных материалов при их изготовлении. Выход из строя водоохлаждаемого кабеля приводит к аварийной остановке плавки и, как следствие, к простоям и большим убыткам для металлургических предприятий, поэтому комплексные решения для повышения надежности электроснабжения печей кабелями с водяным охлаждением как наиболее слабого звена системы являются актуальной задачей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Madias, J.** Treatise on Process Metallurgy / J. Madias. – Elsevier, 2024. – Chapter 1.6 – Electric Furnace Steelmaking.
2. World steel in figures 2018 [Electronic resource]. Access mode: <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/2018-World-Steel-in-Figures.pdf>.
3. Электрические промышленные печи. Дуговые печи и установки специального нагрева: учебник для вузов / А. Д. Свенчанский, И. Г. Жердев, А. М. Кручинин [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – С. 51–93.
4. **Pinney, M. G.** Adding Life to Water-Cooled Power Cables Through Innovation in Core Construction / M. G. Pinney. – Ohio, 2019.
5. ГОСТ 22483-2021 «Жилы токопроводящие для кабелей, проводов и шнуров».
6. Технические условия ТУ ВУ 300528652.067–2020 «Кабель силовой водоохлаждаемый».
7. Полезная модель ВУ (11) 13882 «Кабель силовой водоохлаждаемый» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://publish.ncip.by/index.php?bul=inv&pref=mod&page=2&year=2025&publ=2025-11-05T00:00:00Z&num=6>.

### REFERENCES

1. **Madias J.** Treatise on Process Metallurgy / J. Madias. – Elsevier, 2024. – Chapter 1.6 – Electric Furnace Steelmaking.
2. World steel in figures 2018 [Electronic resource]. Access mode: <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/2018-World-Steel-in-Figures.pdf>.
3. **Svenchansky A. D., Zherdev I. G., Kruchinin A. M.** [et al.] *Elektricheskie promyshlennye pechi. Dugovye pechi i ustanovki special'nogo nagreva: uchebnik dlya vuzov* [Electric industrial furnaces. Arc furnaces and special heating units: textbook for universities]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1981, pp. 51–93.
4. **Pinney M. G.** Adding Life to Water-Cooled Power Cables Through Innovation in Core Construction. Ohio, 2019.
5. *GOST 22483–2021 “Zhily tokoprovodyashchie dlya kabelej, provodov i shnurov”* [“Current-conducting cores for cables, wires, and cords”].
6. *Tekhnicheskie usloviya TU BY 300528652.067–2020 “Kabel’ silovoj vodoohlazhdaemyj”* [Technical conditions TU BY 300528652.067–2020 “Water-cooled power cable”].
7. *Poleznaya model’ BY (11) 13882 “Kabel’ silovoj vodoohlazhdaemyj”* [Utility model BY (11) 13882 “Water-cooled power cable”] [Electronic resource]. Access mode: <https://publish.ncip.by/index.php?bul=inv&pref=mod&page=2&year=2025&publ=2025-11-05T00:00:00Z&num=6>.