

УДК 621.315

*Н. Г. Репкина, В. И. Лебедев, М. А. Хворов*

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ГРОЗОЗАЩИТНЫХ ТРОСОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Представлены результаты исследования механических и эксплуатационных характеристик традиционно используемых и перспективных видов грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи. Расчеты выполнены для линии электропередачи напряжением 110 кВ, проектируемой для интенсивно развивающегося района РФ. Линия проходит по местности со сложными климатическими условиями: резкий контраст зимних и летних температур, второй район по гололеду. Расчеты механической прочности выполнены методом допустимых напряжений, участок трассы расстановки опор соответствует фактической местности прокладки линии электропередачи. Представлены результаты расчетов удельных нагрузок, механических напряжений в тросах в различных эксплуатационных режимах и стрел провеса. Представлены монтажные графики грозотросов типов ТК-50, ГТК-20, ОКГТ-ц-24 и ОКГТ-ц-28 для исследуемого диапазона температур. Приведены результаты сравнительного анализа характеристик грозозащитных тросов.

*Ключевые слова:* воздушная линия электропередачи, грозозащитный трос, механическая прочность, стрела провеса.

Грозозащитный трос (грозотрос) это элемент воздушной линии электропередачи, предназначенный для защиты линии от прямых ударов молнии. Трос располагается на опоре над проводами фаз и заземляется или изолируется от тела опоры (земли). Конструктивно трос представляет собой из скрученных определенным образом проволок. Традиционно на воздушных линиях электропередачи применялись грозотросы марки ТК, свитые из оцинкованных стальных проволок. Но отраслевыми регламентами [1, 2, 3] для вновь строящихся воздушных линий электропередачи установлена необходимость применения

грозотросов новых конструкций, маркируемых ГТК или СГТ (из стальных проволок либо оцинкованных либо плакированных алюминием), АСГТ и АЖ (из стальных и алюминиевых проволок), а также грозотросов со встроенным волоконно-оптическим кабелем – ОКГТ. Использование ОКГТ является приоритетным.

Задачей исследования явилось проведение расчетов, позволяющих выполнить сравнительный анализ механических и эксплуатационных характеристик грозотросов различных типов с целью выработки рекомендаций по их использованию при курсовом и дипломном проектировании линий электропередачи. Расчеты выполнены в соответствии с методикой [4], в основе которой лежит метод допустимых напряжений. Исходными данными явились следующие условия: линия электропередачи напряжением 110 кВ, выполненная проводом АС-120/19, подвешенным на многогранных металлических опорах типа ПМ110-1ф [4], проложенная в ненаселенной местности. Климатические условия расположения линии: район по гололеду – II, по ветру – I, максимальная температура – +34,9, минимальная – -54,7, среднегодовая – 0.

В качестве исследуемых моделей грозозащитного троса рассматривались три рекомендуемые [1] к исполнению возможных типа. Это многопроволочные канаты со встроенным оптическим волокном марок ОКГТ-ц-28(G/652)-12,5/55 и ОКГТ-ц-24(G/652)-9,2/53. Внешний повив этих типов тросов выполнен из стальных проволок, плакированных алюминием [5, 6]. Принципиального различия между двумя типами ОКГТ нет, конструктивно они различаются размерами и различным количеством оптических волокон во встроенном в трос кабеле, используемом для организации связи между объектами электроэнергетики. Третьим исследуемым вариантом грозотроса был принят трос ГТК-20 [7]. В качестве варианта для сравнения характеристик тросов новых типов приняты соответствующие расчетные характеристики троса ТК-50.

Для расчета механической прочности троса необходимо знать предельные значения напряжений в тросе в самых тяжелых условиях эксплуатации. В

описаниях изделий заводов-изготовителей тросов отсутствуют необходимые сведения о напряжениях. Их значения, определяемые по допустимому пределу прочности конструкций по растяжению – разрывному усилию, были рассчитаны в соответствии с требованиями [3]. В режимах минимальной температуры и максимальной нагрузки предельно допустимое значение напряжения принималось как 45% от предела прочности, а для режима среднегодовой температуры – 30% от предела прочности. Количественные значения приведены в таблице 1.

Значение допустимой стрелы провеса троса зависит от конструкции опоры, напряжения линии, типа местности и величины расчетного пролета, поэтому для любой марки троса его величина одна и та же и по расчетам составила 12,455 м.

Таблица 1

### Значения допустимого напряжения в тросе $[\sigma]$ , Н/мм<sup>2</sup>

Условия	ОКГТ-ц-24	ОКГТ-ц-28	ГТК-20
Минимальная температура $t_{\min}$	616.3	288.4	405.2
Наибольшая нагрузка $\gamma_{\max}$	616.3	288.4	405.2
Среднегодовая температура $t_{cp}$	298.2	192.3	283.7

Одной из основных механических характеристик является значение удельной нагрузки на трос, поскольку эта величина определяет силу, действующую на конструкцию троса в различных климатических условиях. Действие сил собственного веса, ветровых и гололедных нагрузок направлено на изменение механической прочности конструкции троса, а также к его растяжению, что приводит к изменению стрелы провеса троса и сближению с фазными проводниками. Величина удельной нагрузки для каждого типа троса различна, поскольку зависит от его конструктивных размеров. Рассчитанные в соответствии с [4] значения удельных нагрузок приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Значения удельных нагрузок троса  $\gamma$  x 10<sup>-3</sup>, Н/(м мм<sup>2</sup>)**

Нагрузки, действующие на трос	ОКГТ-ц-24	ОКГТ-ц-28	ГТК-20	ТК-50
Собственный вес	67.7	44.21	66.34	84.29
Собственный вес в условиях гололеда	194.77	130.78	168.06	199.96
Собственный вес в условиях ветра	163.35	87.77	100.6	158.66
Собственный вес в условиях ветра и гололеда	305.47	183.13	227.6	293.27

Различие величин удельных нагрузок рассматриваемых типов оптических грозотросов объясняется тем, что сечение троса ОКГТ-ц-24 практически в два раза меньше сечения троса ОКГТ-ц-28. И, хотя наружные диаметры грозотросов отличаются незначительно, влияние ветровых и гололедных воздействий оказывается различным. Расчет тросов на механическую прочность заключается в определении напряжений в материале тросовой конструкции при различных условиях работы. Изменение климатических условий не только способствует изменению удельных нагрузок, но и напряжению в его материале. Расчет напряжений проводился по уравнению состояния троса при исходном грозовом режиме [4]. Значения параметров грозового режима для всех рассматриваемых типов тросов определены по характеристикам провода, рассчитанным для условий грозы. При этом исходным режимом расчета провода определен режим наибольшей нагрузки (гололед с ветром). Рассчитанные значения напряжений в тросах и стрелы их провеса в наиболее тяжелых климатических условиях приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Значения напряжений и стрел провеса тросов в наиболее тяжелых климатических условиях**

Расчетные режимы	Напряжения в материале тросов, Н/м мм <sup>2</sup>			
	ОКГТ-ц-24	ОКГТ-ц-28	ГТК-20	ТК-50
Наибольшая нагрузка $\gamma_{\max}$	273.44	189.60	232.5	281.35
Минимальная температура $t_{\min}$	300.16	81.09	108.5	127.63
Среднегодовая температура $t_{cp}$	271.37	65.79	96.7	102.69
Расчетные режимы	Стрелы провеса тросов, м			
	ОКГТ-ц-24	ОКГТ-ц-28	ГТК-20	ТК-50
Наибольшая нагрузка $\gamma_{\max}$	7.35	7.13	7.23	6.86
Максимальная температура $t_{\max}$	6.05	5.92	5.80	6.03
Гололед без ветра	6.31	6.10	6.35	5.97

Проверка рассчитанных значений напряжений для всех типов тросов показывает, что при любых климатических условиях в рассматриваемом районе эти значения не превышают допустимых, следовательно, механическая прочность любого типа исследуемых тросов достаточна. При этом наибольший запас по прочности у тросов типа ОКГТ-ц-28 и ГТК-20. Значения стрел провеса также не превышают допустимых значений, что подтверждает отсутствие вероятности их недопустимого сближения с фазными проводами.

На рисунках 1–3 представлены монтажные графики для заданного участка трассы воздушной линии, рассчитанные для всех четырех типов тросов.

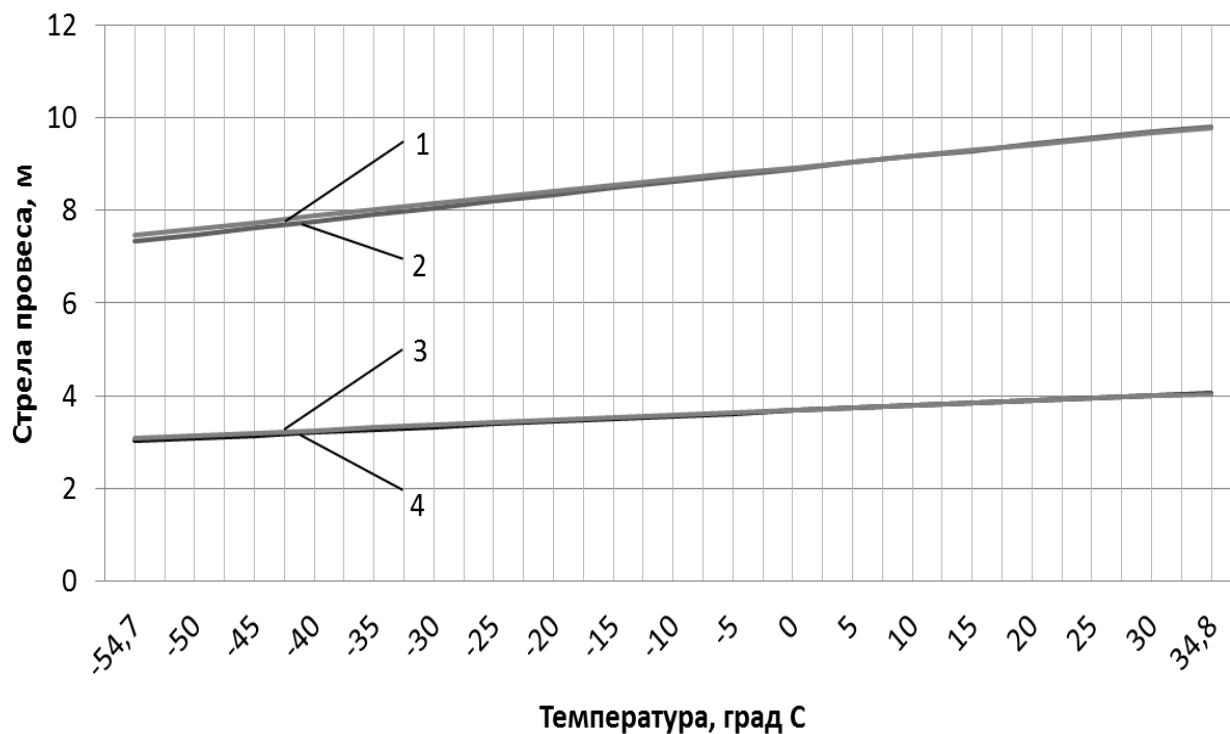


Рис. 1. Изменение стрел провеса грозотросов в заданном температурном диапазоне. Зависимости 1 и 3 – соответственно стрелы провеса троса ТК-50 для максимального и минимального пролетов, 2 и 4 – стрелы провеса троса ОКГТ-ц-24 для максимального и минимального пролетов

Числовые расчетные значения стрел провеса для всех типов тросов оказались близки. Так, наибольшее отклонение при минимальной температуре для пролета наибольшей длины составляет приблизительно 13%, для пролета наименьшей длины – 3%, соответственно при максимальной температуре – 1,5 % и 0,5%. Наибольшие значения стрел провеса в режимах низких температур имеют тросы ОКГТ-ц-24 и ТК-50 (рис. 1). В диапазоне положительных температур значения стрел провеса тросов всех рассматриваемых типов практически не отличаются, несмотря на весовые различия. Следовательно, в любых эксплуатационных режимах монтажные параметры тросов идентичны.

## Технические науки

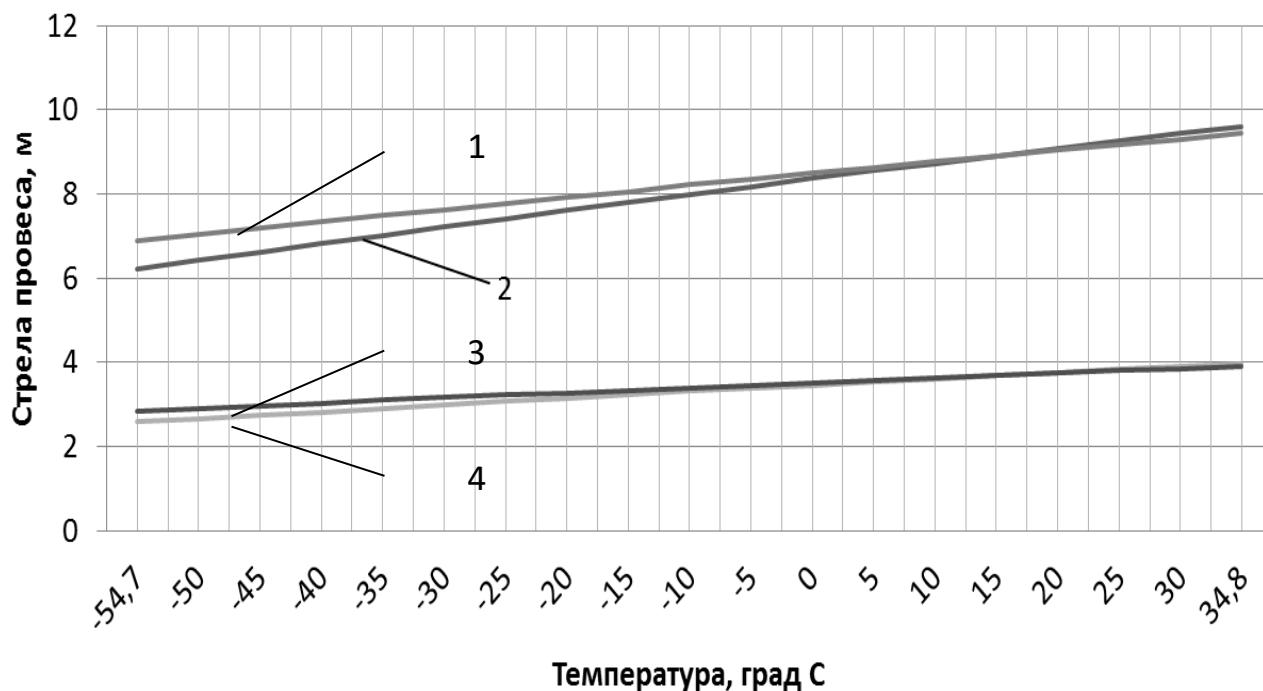


Рис. 2. Изменение стрел провеса грозотросов в заданном температурном диапазоне.

Зависимости 1 и 3 – соответственно стрелы провеса троса ГТК-20

для максимального и минимального пролетов, 2 и 4 – стрелы провеса троса ОКГТ-ц-28

для максимального и минимального пролетов.

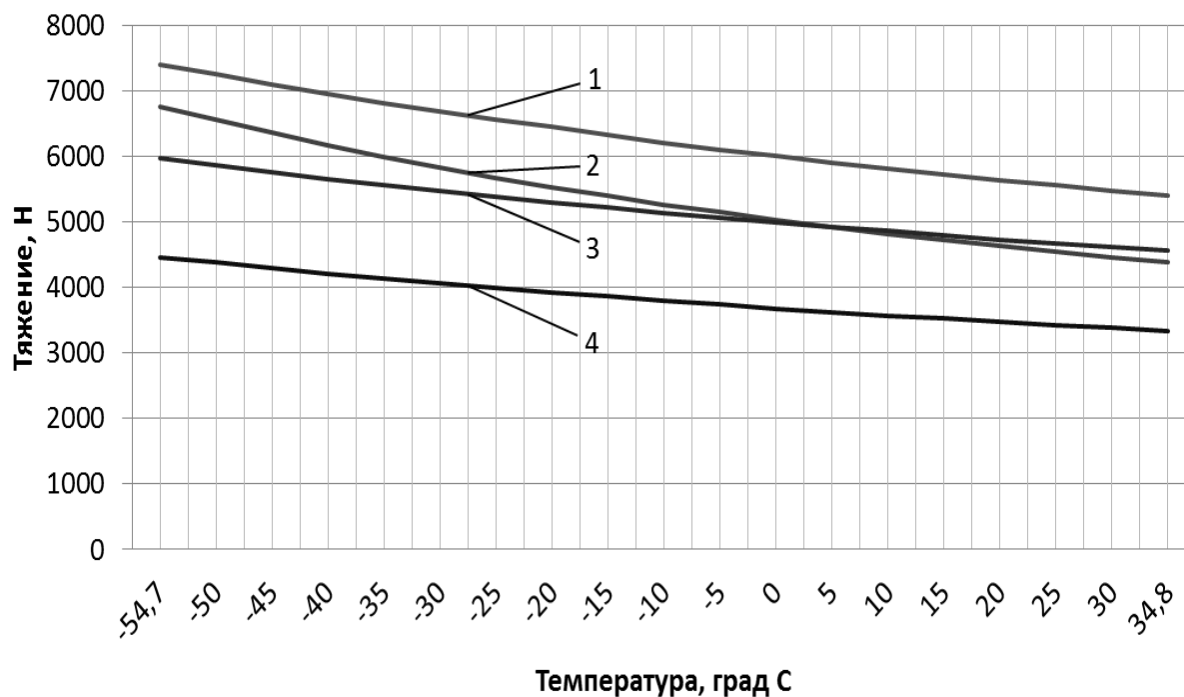


Рис. 3. Изменение тяжения в заданном температурном диапазоне: 1 – для троса ГТК-20,

2 – для троса ОКГТ-ц-28, 3 – для троса ТК-50, 4 – для троса ОКГТ-ц-24

При монтаже наибольшее усилие для обеспечения требуемых габаритов линии требует трос ТК-50 (рис.3), меньшее – трос ОКГТ-ц-24. Это объясняется тем, что трос ОКГТ-ц-24 имеет меньшие размеры по сравнению с другими типами грозотросов.

Анализируя полученные значения эксплуатационных параметров и монтажные графики, можно заключить, что использование как оптических, так и стальных многопроволочных грозозащитных тросов обеспечивает необходимые условия надежного и безопасного функционирования воздушных линий электропередачи высокого напряжения. Стальные тросы имеют меньшую стоимость и эксплуатационные издержки, однако, возможность организации устойчивой и надежной связи между объектами как энергетики, так и социальной инфраструктуры, определяет несомненные преимущества и перспективное применение грозозащитных тросов со встроенным волоконно-оптическим кабелем.

### Список литературы

1. Грозозащитные тросы для воздушных линий электропередачи 35-750кВ. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС». СТО 56947007-29.060.50.015-2008. Дата введения 15.07.2008.
2. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей СО 153-34.20.501-2003. М.: СПО ОРГРЭС, 2003.
3. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд. М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2003.
4. Крюков К. П., Новгородцев Б. П. Конструкции и механический расчет линий электропередачи. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергия, 1979. 312 с.: ил.
5. Промежуточная опора ПМ110-1ф. URL: <http://elektropostavka.ru/stal-mnogogranorog/promezhutochnaya-opora-pm110-1f> (дата обращения: 04.02.17).
6. Характеристики грозозащитных тросов ОКГТ-ц-1-24 и ОКГТ-ц-1-28. URL: <http://sarko.ru/ojkg-t-c.html> (дата обращения: 04.02.17).
7. Характеристики грозозащитного троса ГТК-20. URL: [http://c-av.ru/images/inkab/spec\\_gtk\\_20.pdf](http://c-av.ru/images/inkab/spec_gtk_20.pdf) (дата обращения: 04.02.17).



**РЕПКИНА Наталия Геннадьевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетических систем, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: [usr00353@vyatsu.ru](mailto:usr00353@vyatsu.ru)

**ХВОРОВ Максим Алексеевич** – студент группы Э и Эб-4202-02-00 направление подготовки «Электроэнергетика и электротехника», Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: [maximhvorov@mail.ru](mailto:maximhvorov@mail.ru)

**ЛЕБЕДЕВ Вячеслав Игоревич** – студент группы Э и Эб-4202-02-00 направление подготовки «Электроэнергетика и электротехника», Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: [L\\_V1995@list.ru](mailto:L_V1995@list.ru)