

---

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ  
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»

---



**СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ  
ОАО «ФСК ЕЭС»**

**СТО 56947007-  
29.240.55.143-2013**

---

**Методика расчета предельных токовых нагрузок  
по условиям сохранения механической прочности проводов  
и допустимых габаритов воздушных линий**

Стандарт организации

Дата введения: 13.02.2013

ОАО «ФСК ЕЭС»  
2013

## **Предисловие**

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», объекты стандартизации и общие положения при разработке и применении стандартов организаций Российской Федерации - ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения», общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению межгосударственных стандартов, правил и рекомендаций по межгосударственной стандартизации и изменений к ним - ГОСТ 1.5-2001, правила построения, изложения, оформления и обозначения национальных стандартов Российской Федерации, общие требования к их содержанию, а также правила оформления и изложения изменений к национальным стандартам Российской Федерации - ГОСТ Р 1.5-2004.

## **Сведения о стандарте организации**

1. РАЗРАБОТАН: ООО «ТМК-Центр».
2. ВНЕСЁН: Службой электрических режимов, Департаментом технологического развития и инноваций.
3. УТВЕРЖДЁН И ВВЕДЁН В ДЕЙСТВИЕ:  
Приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 13.02.2013 № 97.
4. СОГЛАСОВАН с ОАО «СО ЕЭС» письмом от 08.02.2011  
№ Б11-IV-19-1418.
5. ВВЕДЁН: ВПЕРВЫЕ.

Замечания и предложения по стандарту организации следует направлять в Департамент технологического развития и инноваций ОАО «ФСК ЕЭС» по адресу: 117630, Москва, ул. Ак. Челомея, д. 5А, электронной почтой по адресу: [vaga-na@fsk-ees.ru](mailto:vaga-na@fsk-ees.ru).

Настоящий документ не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения ОАО «ФСК ЕЭС».

## Содержание

1. Область применения .....	4
2. Нормативные ссылки .....	4
3. Сокращения .....	4
4. Термины и определения.....	6
5. Расчет длительно и аварийно допустимого тока .....	6
6. Расчет допустимой температуры по условию сохранения допустимых габаритов ВЛ.....	7
6.1. Удельная нагрузка .....	7
6.2. Измерения габаритов ВЛ .....	8
6.3. Расчет допустимой температуры провода.....	9
7. Время существования допустимого и аварийного режима.....	10
8. Выбор расчетных климатических условий.....	12
Библиография .....	14
Приложение А. Механические и электрические характеристики сталеалюминевых проводов .....	15
Приложение Б. Физико-механические характеристики проводов и тросов ...	16
Приложение В. Расчет теплоотдачи с поверхности провода.....	18
Приложение Г. Учет солнечной радиации при расчете допустимого тока ....	21
Приложение Д. Расчет температуры провода .....	23
Приложение Е. Точный расчет допустимой температуры провода по условию сохранения допустимых габаритов ВЛ.....	24
Приложение Ж. Точный расчет допустимого времени нагрева провода .....	27
Приложение З. Максимальные значения длительно и аварийно допустимых токов.....	41

## 1 Область применения

Настоящий стандарт организации (СТО) применяется при определении допустимой токовой нагрузки на вновь сооружаемых, реконструируемых и действующих воздушных линиях (ВЛ) электропередачи напряжением 110 кВ и выше, выполненных неизолированными проводами, относящимися к Единой национальной (общероссийской) электрической сети, при различных климатических условиях в нормальном и аварийном режимах.

## 2 Нормативные ссылки

ГОСТ 839-80 Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. Технические условия (с Изменениями № 1, 2).

## 3 Сокращения

- C* - теплоемкость;
- c* - удельная теплоемкость (пр - *провода*; ал - *алюминия*; ст - *стали*; г - *гололеда*);
- d* - диаметр (пр - *провода*; пр э - *провода эквивалентный*; пров - *провода*);
- E* - модуль упругости провода;
- F* - площадь поверхности теплообмена;
- g* - ускорение свободного падения;
- Gr* - критерий Грасгофа;
- H* - высота прокладки трассы линии над уровнем моря;
- h* - высота (с - *угловая Солнца*; пр - *подвеса провода*; преп - *препятствия*; з - *габарит до земли*; з и - *измеренный габарит до земли*; г преп - *габарит до препятствия*; преп и - *измеренный габарит до препятствия*; з доп - *допустимый габарит до земли*; преп доп - *допустимый габарит до препятствия*; 1 - *подвеса провода на первой опоре*; 2 - *подвеса провода на второй опоре*);
- $\Delta h$  - разность высот подвеса провода;
- I* - ток (дл доп - *длительно допустимый*; ав доп - *аварийно допустимый*; г доп - *допустимый по габаритам*; эо доп - *допустимый по оборудованию*; д - *допустимый*; ав - *аварийный*);
- k* - коэффициент (п - *учитывающий поверхностный эффект*; м - *учитывающий магнитные потери в стали*;  $\psi$  - *зависимости теплоотдачи от угла атаки ветра*; Н - *учета влияния высоты прокладки трассы линии на теплоту солнечного излучения*; мес - *зависимости интенсивности солнечного излучения от времени года*);
- l* - длина (пр - *пролета*; б - *большого эквивалентного пролета*; м - *малого эквивалентного пролета*; р - *расчетная*; преп - *до препятствия от опоры*);
- m* - масса в 1 метре (пр - *провода*; ал - *алюминия*; ст - *стали*);
- n* - количество (пров - *проводов*);

- $Nu$  - критерий Нуссельта;  
 $P$  - тепловая мощность (в - отдаваемая проводом в воздух; с - солнечного излучения);  
 $R$  - активное сопротивление (20 - удельное провода при 20 °С);  
 $Re$  - критерий Рейнольдса (э - эквивалентный);  
 $S$  - сечение (пр - провода);  
 $t$  - время (ав - нагрева провода в аварийном режиме);  
 $v$  - скорость ветра;  
 $W$  - интенсивность (р - солнечной радиации);  
 $x$  - абсцисса;  
 $y$  - ордината;  
 $\alpha$  - коэффициент теплоотдачи (к - при конвективном теплообмене; л - при лучистом теплообмене);  
 $\beta$  - температурный коэффициент ( $r$  - сопротивления; в - объемного расширения воздуха; л - линейного удлинения провода; с - теплоемкости);  
 $\gamma$  - удельная нагрузка на провод (1 - от собственной массы);  
 $\varepsilon$  - постоянная (и - излучения; п - поглощения);  
 $\lambda$  - коэффициент теплопроводности (в - воздуха);  
 $\nu$  - кинематический коэффициент вязкости (в - воздуха);  
 $\sigma$  - механическое напряжение (0 - в нижней точке провода; р - расчетное);  
 $\tau$  - постоянная времени;  
 $\vartheta$  - температура (в - воздуха; пр - провода; дл доп - длительно допустимая; г доп - допустимая по условию сохранения габаритов; ав доп - аварийно допустимая; д - допустимая; и - измеренная; пр уст - провода установившаяся; пр исх - провода исходная);  
 $\varphi$  - широта местности;  
 $\psi$  - угол (в - атаки ветра; с - наклона солнечных лучей; л - линии по отношению к меридиану).

**Примечание:** в скобках приведено обозначение индексов.

#### 4 Термины и определения

**Нормальный режим** - режим работы сети, при котором ток по ВЛ не превышает длительно допустимого значения по условию сохранения механической прочности проводов при заданных климатических условиях.

**Допустимый режим** - режим работы сети, при котором ток по ВЛ превышает длительно допустимый по условию сохранения механической прочности проводов, но не превышает аварийно допустимого тока при заданных климатических условиях. При этом работники должны предпринимать действия по разгрузке линии, по возможности используя режимные мероприятия, не связанные с ограничением нагрузки потребителей.

**Аварийный режим** - режим работы сети, при котором ток по ВЛ превышает аварийно допустимый ток при заданных климатических условиях.

**Длительно допустимый ток**,  $I_{\text{дл доп}}$  - ток, нагревающий провод при заданных климатических условиях до допустимой температуры по условиям механической прочности провода,  $\vartheta_{\text{дл доп}}$ .

**Аварийно допустимый ток**,  $I_{\text{ав доп}}$  - ток, нагревающий провод при заданных климатических условиях до аварийно допустимой температуры,  $\vartheta_{\text{ав доп}}$ .

**Длительно допустимая температура** провода по условиям механической прочности провода,  $\vartheta_{\text{дл доп}}$  - температура, составляющая 70 °С, согласно ПУЭ-6 [1] п. 1.3.22.

**Аварийно допустимая температура** провода,  $\vartheta_{\text{ав доп}}$  - температура, равная меньшему из двух значений:

- по условию механической прочности провода (определяется согласно ГОСТ 839):

- для алюминиевых и сталеалюминевых проводов - 90 °С;
- для медных проводов - 80 °С;

- по условию сохранения габаритов ВЛ до земли, препятствий и пересечений,  $\vartheta_{\text{г доп}}$  (определяется по алгоритму, приведенному ниже (п. 4). Допустимые габариты определяются согласно ПУЭ<sup>[1]</sup> (глава 2.5).

[1] Здесь и далее в Методике следует применять нормированные значения минимально допустимых расстояний от проводов до различных объектов, приведенные в Правилах устройства электроустановок того издания, по которому была спроектирована, сооружена или реконструирована ВЛ, и для которой рассчитывается допустимая токовая нагрузка.

В случаях, когда аварийно допустимая температура по условию сохранения габаритов ниже длительно допустимой температуры по условию механической прочности, аварийно допустимый ток необходимо рассчитывать для аварийно допустимой температуры по условию сохранения габаритов.

## 5 Расчет длительно и аварийно допустимого тока

В случае, если ВЛ состоит из участков с проводами различной марки или сечения, а также если климатические условия меняются по длине линии, то допустимые токи рассчитываются для каждого участка. При этом, в качестве допустимого тока по ВЛ принимается наименьшее из расчетных значений. Допустимый ток по ВЛ (или ее участку) определяется по формуле

$$I_{\text{д}} = \sqrt{\frac{P_{\text{в}} - P_{\text{с}}}{k_{\text{м}} k_{\text{п}} R_{20} (1 + \beta_r (\vartheta_{\text{д}} - 20))}},$$

где  $I_{\text{д}}$  - допустимый ток ( $I_{\text{дл доп}}$ ,  $I_{\text{ав доп}}$ );  $\vartheta_{\text{д}}$  - допустимая температура провода (соответственно  $\vartheta_{\text{дл доп}}$ ,  $\vartheta_{\text{ав доп}}$ );  $P_{\text{в}}$  - мощность отдаваемая проводом в воздух за счет конвективного теплообмена и излучения, Вт;  $P_{\text{с}}$  - мощность солнечного излучения, поглощаемая проводом, Вт;  $R_{20}$  - сопротивление 1м провода при температуре 20 °С, Ом;  $\beta_r$  - температурный коэффициент

сопротивления,  $1/^\circ\text{C}$ ;  $k_{\text{п}}$  - коэффициент, учитывающий поверхностный эффект;  $k_{\text{м}}$  - коэффициент, учитывающий магнитные потери в стальном сердечнике.

Сопротивление провода при  $20^\circ\text{C}$ ,  $R_{20}$ , определяется в соответствии с ГОСТ 839 (Приложение А), в котором приведены значения сопротивления постоянному току, для переменного тока необходимо учитывать поверхностный эффект и магнитные потери в стальном сердечнике.

Коэффициент, учитывающий поверхностный эффект для постоянного тока и проводов без стального сердечника равен 1,0. Коэффициент, учитывающий поверхностный эффект для переменного тока зависит от конструкции провода и соотношения сечений стального сердечника и алюминиевой части, изменяется в пределах  $k_{\text{п}}=1,00\div 1,05$  [4]. Коэффициент может быть определен опытным путем. При отсутствии данных необходимо принимать  $k_{\text{п}}=1,05$ .

Величина  $k_{\text{м}}$  зависит от количества повивов алюминия поверх стального сердечника. Магнитные потери максимальны для одноповивного провода и минимальны при четном количестве повивов, так как вследствие противоположного направления скрутки смежных повивов в проводах общепринятой конструкции магнитодвижущие силы, действующие в сердечнике и создаваемые токами повивов, частично взаимно компенсируются [4]. Рекомендуется принимать следующие значения коэффициента:

$k_{\text{м}}=1,15$  - для 1-го слоя алюминия;

$k_{\text{м}}=1,04$  - для 2-х слоев алюминия;

$k_{\text{м}}=1,10$  - для 3-х слоев алюминия.

Значения температурных коэффициентов сопротивления для различных материалов:

- алюминий -  $\beta_r = 0,00403 \frac{1}{^\circ\text{C}}$ ;
- медь -  $\beta_r = 0,00396 \frac{1}{^\circ\text{C}}$ ;
- сталь -  $\beta_r = 0,00600 \frac{1}{^\circ\text{C}}$ .

Расчет мощности, отдаваемой проводом в воздух, выполняется в соответствии с приложением В. Расчет мощности солнечного излучения, поглощаемой проводом, выполняется в соответствии с Приложением Д.

## **6 Расчет допустимой температуры по условию сохранения допустимых габаритов ВЛ**

### **6.1. Удельная нагрузка**

Удельные нагрузки  $\gamma$ ,  $\text{Н}/(\text{м}\cdot\text{мм}^2)$  на провода и тросы учитывают механические силы массы проводов и гололедных образований, а также давление ветра на провода без гололеда или с гололедом. Переход от массы к механической силе осуществляется умножением на ускорение свободного падения. Удельные нагрузки относятся к единице длины и единице





**Таблица измерений габаритов для пересечений ВЛ с другими линиями  
или объектами**

Время замера	№ пролета (№ опор)	Тип провода	Расстояние между опорами, м	Высота подвеса провода, м	Высоты опор над уровнем моря, м	Расстояние от опоры ВЛ до пересечения, м	Габарит провода ВЛ до земли, м	Габарит пересекаемого провода до земли, м	Габарит между проводом и пересекаемым объектом, м	Ток в ВЛ, А*	Тем-ра воздуха/провода, °С**	Ветер, м/с***	Погодные условия
				оп.1	оп.2	оп.1	оп.2						

Примечания:

\* - ток в ВЛ на момент измерения габаритов;

\*\* - температура провода измеряется в наиболее нагретой точке провода в пролете при наличии при обходе соответствующей измерительной аппаратуры;

\*\*\* - сила ветра на момент измерения габаритов, измеряется на месте при наличии соответствующего прибора, либо заполняется по ориентировочным данным Гидрометеоцентра.

Температура провода может измеряться с помощью тепловизора или пирометра. При невозможности измерения температура провода определяется расчетным путем по приложению Е.

### 6.3. Расчет допустимой температуры провода

При одинаковой высоте подвеса провода (разность высот подвеса проводов составляет менее 10 % от длины пролета) и длине пролета менее 450 м допустимую температуру провода по условию сохранения допустимых габаритов до земли можно определить следующим образом.

Сначала выполняются замеры габаритов ВЛ в наиболее проблемных пролетах. Проблемными являются пролеты, у которых по данным измерений (п. 4.2) габарит менее, чем на 1 м больше допустимого по ПУЭ значения. При этом определяются:

- измеренный габарит ВЛ до земли,  $h_{з и}$ , м;
- измеренный габарит до препятствия,  $h_{преп и}$ , м;
- измеренная температура провода,  $\vartheta_{и}$ , °С.

Допустимая температура по условию сохранения допустимого габарита до земли определяется по формуле:

$$\vartheta_{Г доп} = \vartheta_{и} + \frac{\gamma_{л} l_{пр}^2}{8\beta_{л} E} \left( \frac{1}{h_{пр} - h_{з и}} - \frac{1}{h_{пр} - h_{з доп}} \right) - \frac{8}{3\beta_{л} l_{пр}^2} \left( (h_{пр} - h_{з и})^2 - (h_{пр} - h_{з доп})^2 \right),$$

где  $l_{пр}$  - длина пролета ВЛ, м;  $E$  - модуль упругости провода, Н/мм<sup>2</sup> (см. приложение Б);  $\beta_{л}$  - температурный коэффициент линейного удлинения,

град<sup>-1</sup> (см. приложение В);  $h_{\text{пр}}$  - высота подвеса провода, м;  $h_{3 \text{ доп}}$  - допустимое расстояние до земли по ПУЭ.

Допустимая температура по условию сохранения допустимого габарита до препятствия или пересечения определяется по приведенной выше формуле путем подстановки вместо  $h_{3 \text{ доп}}$  значения габарита до земли  $h_3$ , при котором нарушается допустимый габарит до препятствия  $h_{\text{преп доп}}$ . Габарит  $h_3$  рассчитывается по формуле:

$$h_3 = h_{\text{пр}} - \frac{l_{\text{пр}}^2 (h_{\text{пр}} - h_{\text{преп доп}} - h_{\text{преп}})}{4l_{\text{преп}} (l_{\text{пр}} - l_{\text{преп}})},$$

где  $h_{\text{преп}}$  - высота препятствия, м;  $l_{\text{преп}}$  - расстояние от препятствия до ближайшей опоры, м;  $h_{\text{преп доп}}$  - допустимый габарит до препятствия по ПУЭ.

Более точно допустимая температура провода рассчитывается в соответствии с приложением Е. Расчеты с использованием формул приложения Ж необходимо выполнять при соблюдении одного из следующих условий:

- длина пролета превышает 450 м;
- разность высот подвеса провода на опорах, отнесенная к длине пролета составляет более 0,1;
- сложный профиль трассы с возвышенностями и впадинами.

Значение допустимой температуры для линии принимается равным минимальной рассчитанной температуре провода для всех пролетов ВЛ, для которых произведен расчет.

## **7 Время существования допустимого и аварийного режима**

Время существования допустимого режима ВЛ (ток превышает длительно допустимый, но меньше аварийно допустимого) определяется в зависимости от ее технического состояния. Техническое состояние определяется наличием мест локального перегрева провода: болтовых контактных соединений, линейной арматуры из магнитного материала. Места локального перегрева провода могут выявляться на основании тепловизионного контроля. В случае отсутствия на линии мест повышенного локального нагрева в местах соединения и подвески проводов, время существования допустимого режима ВЛ (время работы с токовой нагрузкой не превышающей аварийно допустимого значения) составляет 24 часа. В случае наличия на линии мест повышенного локального нагрева в местах соединения и подвески проводов, необходимо принять меры по скорейшему устранению дефекта и замене соответствующих элементов. При этом временно, до устранения дефекта и замены ограничивающего элемента, значение аварийно допустимой температуры провода может быть снижено на величину локального перегрева провода (разность между температурой провода в месте локального перегрева и температурой провода).

Допустимое время существования аварийного режима (ток превышает аварийно допустимое значение) определяется временем нагрева провода от его температуры в нормальном режиме до аварийно допустимой температуры при заданных климатических условиях и при токе равном  $1,2 I_{ав доп}$ . Для определения минимального времени существования аварийного режима, при отсутствии точных данных, принимается, что провод в нормальном режиме был нагрет до длительно допустимой температуры  $70\text{ }^\circ\text{C}$ .

Приближенно время нагрева провода в аварийном режиме,  $t_{ав}$ , определяется по формуле:

$$t_{ав} = \tau \ln \frac{\vartheta_{пр уст} - \vartheta_{пр исх}}{\vartheta_{пр уст} - \vartheta_{ав доп}},$$

где  $\vartheta_{пр уст} = \frac{k_M k_{II} I_{ав}^2 R_{20} (1 - 20\beta_r) + P_c + (\alpha_K + \alpha_L) F \vartheta_B}{(\alpha_K + \alpha_L) F - k_M k_{II} I_{ав}^2 R_{20} \beta_r}$  - установившаяся

температура провода при аварийном токе  $I_{ав}$ , здесь  $F$  - площади поверхности теплоотдачи провода (см. приложение В);

$\tau = \frac{C}{(\alpha_K + \alpha_L) F - k_M k_{II} I_{ав}^2 R_{20} \beta_r}$  - постоянная времени нагрева, здесь

$C$  - теплоемкость провода;  $\vartheta_{пр исх}$  - исходная температура провода (в нормальном режиме), при отсутствии данных о токе в нормальном режиме принимается равной  $70\text{ }^\circ\text{C}$ .

Теплоемкость провода определяется по формулам:

- для провода, состоящего из одного материала (алюминия, меди или стали)

$$C = c_{пр} m_{пр},$$

- для провода, состоящего из нескольких материалов (например, алюминия и стального сердечника)

$$C = c_{ал} m_{ал} + c_{ст} m_{ст},$$

где  $c_{пр}$  - удельная теплоемкость материала провода;  $m_{пр}$  - масса 1 м провода;  $c_{ал}$ ,  $c_{ст}$  - удельная теплоемкость алюминия и стали соответственно;  $m_{ал}$ ,  $m_{ст}$  - масса алюминия и стали в 1 м провода соответственно.

Удельная теплоемкость материала провода линейно зависит от температуры провода и определяется в рассматриваемом диапазоне температур формулой

$$c = c_0 (1 + \beta_c \vartheta_{пр}),$$

где  $c_0$  - удельная теплоемкость материала провода при  $0\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\beta_c$  - температурный коэффициент теплоемкости,  $1/^\circ\text{C}$ .

Значения коэффициентов для различных материалов:

- алюминий -  $c_0 = 886 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ ;  $\beta_c = 0,000534 \frac{1}{^\circ\text{C}}$ ;

- медь -  $c_0 = 384 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}; \beta_c = 0,000271 \frac{1}{^\circ\text{C}};$
- сталь -  $c_0 = 437 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}; \beta_c = 0,001076 \frac{1}{^\circ\text{C}}.$

Более точно допустимое время определяется в соответствии с приложением Ж. Максимальная погрешность при определении времени нагрева провода до допустимой температуры по упрощенной формуле возникает при токе, близком к аварийно допустимому. Поэтому расчеты по приложению Ж рекомендуется выполнять при токе равном  $1,01 \div 1,20 I_{\text{ав доп}}$ .

## 8 Выбор расчетных климатических условий

Климатические условия вдоль линии могут изменяться. Наиболее точно предельную токовую нагрузку можно определить по изложенной выше методике при известных климатических условиях вдоль линии:

- максимальная температура воздуха,
- минимальная скорость ветра,
- направление ветра (минимальный угол атаки ветра),
- величина солнечной радиации.

**Температура воздуха.** Изменение температуры воздуха вдоль ВЛ обычно незначительно для линий, не проходящих в горных условиях. Необходимо принимать максимальное значение температуры воздуха по данным метеостанций или по замерам на подстанциях, между которыми проходит ВЛ или по показаниям датчиков температуры воздуха в районе ВЛ (при их наличии). Для линий, проходящих в горной местности, обычно температура воздуха снижается при увеличении высоты, поэтому необходимо принимать температуру воздуха в низшей точке ВЛ.

**Скорость ветра.** Значение скорости ветра также принимается по данным замеров (при наличии датчиков скорости ветра) или по данным метеостанций. Необходимо учитывать, что в некоторых местах линия может быть прикрыта деревьями, строениями, складками местности. В этом случае рекомендуется принимать скорость ветра с коэффициентом 0,5.

Скорость ветра также значительно изменяется по высоте. Обычно считается, что это изменение происходит по экспоненциальному закону. Стандартная высота измерения скорости ветра на метеостанциях - 10 м. Провода воздушных линий 220-500 кВ обычно расположены заметно выше. В табл. 6.1. приведены поправочные коэффициенты, учитывающие высоту расположения провода.

При отсутствии данных о скорости ветра необходимо знать, что в реальных условиях всегда есть некоторое движение воздуха. Даже при абсолютном штиле существует вертикальный поток воздуха от нагретой земли, что является вынужденной конвекцией для провода. Минимальная скорость ветра равна 0,6 м/с.

**Поправочные коэффициенты,  
учитывающие изменение скорости ветра с высотой**

Тип местности	Высота над поверхностью земли, м						
	10	15	20	30	40	50	60
Равнина, открытые склоны	1,00	1,07	1,12	1,18	1,22	1,26	1,30
Узкие горные долины, ущелья, город и лес с препятствиями более 10м	0,81	0,89	0,95	1,00	1,07	1,12	1,18
Выпуклые участки рельефа (гребни хребтов, водоразделы, перевалы, выступающие плато)	1,00	1,05	1,07	1,07	1,07	1,10	1,12

**Направление ветра.** Направление ветра значительно меняется по длине линии из-за изменения направления самой ВЛ; наличия складок местности, препятствий и заграждений; турбулентности. Для определения критического термального участка линии (участка линии, на котором допустимый ток является минимальным) рекомендуется направление ветра принимать вдоль ВЛ.

**Солнечная радиация.** При расчетах предельных токовых нагрузок необходимо учитывать следующие факторы: чистота воздуха, облачность, время суток, время года, широта местности, максимальная высота прокладки ВЛ над уровнем моря. При отсутствии этих данных в дневное время необходимо учитывать максимальный уровень солнечной радиации при чистом воздухе и отсутствии облачности, в вечернее и ночное время действие солнечной радиации не учитывается.

В весенне-летний период солнечная радиация учитывается с 6 часов до 20 часов, в осенне-зимний период с 9 часов до 16 часов. В остальное время суток считается, что мощность солнечной радиации равна нулю.

## Библиография

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) 6 издание. Утверждены приказом Минэнерго СССР от 10.12.1979.
2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7 издание. Утверждены приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204.
3. Термическая устойчивость проводов воздушных линий. (Thermal state of overhead line conductors. CIGRE), ELECTRA № 12, 1988.
4. СНиП 23-01-99 Строительная климатология (с Изменением № 1).
5. Расчет температуры проводов воздушных линий электропередачи СВН на основе метода критериального планирования эксперимента. (Зарудский Г.К., Зиннер Л.Э., Сыромятников С.Ю.), Вестник МЭИ № 12, 1997.
6. Основы механической части воздушных линий электропередачи. (Глазунов А.А.), Госэнергоиздат, 1956.
7. Некоторые вопросы расчета механической части воздушных линий. (Розанов Г.М.), Госэнергоиздат, 1954.
8. Проектирование механической части воздушных линий сверхвысокого напряжения. (Зеличенко А.С., Смирнов Б.И.), Энергоиздат, 1981.
9. Механический расчет проводов и тросов линий электропередачи. (Бошнякович А.Д.), Энергия, 1971.

## Приложение А

**Механические и электрические  
характеристики сталеалюминевых проводов**

Марка провода	Расчетное сечение, мм <sup>2</sup>			Расчетный диаметр, мм		Масса провода, кг/км	Электрическое сопротивление 1 км провода постоянному току при 20 °С, Ом,
	алюминия	стали	всего провода, мм <sup>2</sup>	стального сердечника	провода, мм		
АС 70/11	68,0	11,3	79,30	3,8	11,4	276	0,4218
АС 70/72	68,4	72,2	140,6	11,0	15,4	755	0,4194
АС 95/16	95,4	15,9	111,3	4,5	13,5	385	0,3007
АС 95/141	91,2	141,0	232,2	15,4	19,8	1357	0,3146
АС 120/19	118	18,8	136,8	5,6	15,2	471	0,2440
АС 120/27	116	26,6	142,6	6,6	15,5	528	0,2531
АС 150/19	148	18,8	166,8	5,5	16,8	554	0,2046
АС 150/24	149	24,2	173,2	6,3	17,1	599	0,2039
АС 150/34	147	34,3	181,3	7,5	17,5	675	0,2061
АС 185/24	187	24,2	211,2	6,3	18,9	705	0,1540
АС 185/29	181	29,0	210,0	6,9	18,8	728	0,1591
АС 185/43	185	43,1	228,1	8,4	19,6	846	0,1559
АС 185/128	187	128,0	315,0	14,7	23,1	1525	0,1543
АС 205/27	205	26,6	231,6	6,6	19,8	774	0,1407
АС 240/32	244	31,7	275,7	7,2	21,6	921	0,1182
АС 240/39	236	38,6	274,6	8,0	21,6	952	0,1222
АС 240/56	241	56,3	297,3	9,6	22,4	1106	0,1197
АС 300/39	301	38,6	339,6	8,0	24,0	1132	0,0958
АС 300/48	295	47,8	342,8	8,9	24,1	1186	0,0978
АС 300/66	288	65,8	353,8	10,5	24,5	1313	0,1000
АС 300/67	289	67,3	356,3	10,5	24,5	1323	0,1000
АС 300/204	298	204,0	502,0	18,6	29,2	2428	0,0968
АС 330/30	335	29,1	364,1	6,9	24,8	1152	0,0861
АС 330/43	332	43,1	375,1	8,4	25,2	1255	0,0869
АС 400/18	381	18,8	399,8	5,6	26,0	1199	0,0758
АС 400/22	394	22,0	416,0	6,0	26,6	1261	0,0733
АС 400/51	394	51,1	445,1	9,2	27,5	1490	0,0733
АС 400/64	390	63,5	453,5	10,2	27,7	1572	0,0741
АС 400/93	406	93,5	499,2	12,5	29,1	1851	0,0711
АС 450/56	434	56,3	490,3	9,6	28,8	1640	0,0666
АС 500/26	502	26,6	528,6	6,6	30,0	1592	0,0575
АС 500/27	481	26,6	507,6	6,6	29,4	1537	0,0600
АС 500/64	490	63,5	553,5	10,2	30,6	1852	0,0588
АС 500/204	496	204,0	700,0	18,6	34,5	2979	0,0580
АС 500/336	490	336,0	826,0	23,9	37,5	4005	0,0588

## Приложение Б

**Физико-механические характеристики  
проводов**

Провода и тросы	Модуль упругости, $E$ , $10^4 \text{Н/мм}^2$	Температурный коэффициент линейного удлинения, $\alpha$ , $10^{-6}$ град $^{-1}$	Предел прочности при растяжении провода в целом, $\text{Н/мм}^2$
Сталеалюминиевые с отношением площадей поперечных сечений А/С (см. приложение А)			
20,27	7,04	21,5	210
16,87-17,82	7,04	21,2	220
11,51	7,45	21,0	240
8,04-7,67	7,70	19,8	270
6,28-5,99	8,25	19,2	290
4,36-4,28	8,90	18,3	340
2,43	10,3	16,8	460
1,46	11,4	15,5	565
0,95	13,4	14,5	690
0,65	13,4	14,5	780



## Приложение В

### Расчет теплоотдачи с поверхности провода

Процесс переноса теплоты между проводом и воздухом является результатом совокупного действия конвективного теплообмена и теплового излучения; это так называемый сложный теплообмен. Здесь в качестве основного явления обычно принимается конвекция. Интенсивность теплообмена провода с воздухом определяется по формуле Ньютона-Рихмана:

$$P_B = \alpha F (\vartheta_D - \vartheta_B),$$

где  $\alpha$  - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°С); °С;  $F$  - площадь поверхности теплообмена, м<sup>2</sup>;  $\vartheta_B$  - температура воздуха.

Площадь поверхности теплообмена рассчитывается исходя из предположения о цилиндрической форме провода. Для 1м провода  $F = \pi d_{\text{пр } \vartheta}$ , здесь  $d_{\text{пр } \vartheta}$  - эквивалентный диаметр провода, учитывающий увеличение поверхности теплообмена за счет витой структуры провода. Более точно эквивалентный диаметр провода определяется по формуле:

$$d_{\text{пр } \vartheta} = n_{\text{пров}} d_{\text{пров}} \left[ 1 - \frac{2 \arcsin \sqrt{1 - 0,25 \left( \frac{d_{\text{пров}}}{d_{\text{пр}} - d_{\text{пров}}} \right)^2}}{360} \right],$$

где  $n_{\text{пров}}$  - число проволок в наружном повиве провода;  $d_{\text{пров}}$  - диаметр проволоки, м. При отсутствии справочных данных  $n_{\text{пров}}$  определяется по формуле:

$$n_{\text{пров}} = \left( \frac{d_{\text{пр}}}{d_{\text{пров}}} - 1 \right) \pi,$$

округляя полученное значение до ближайшего меньшего целого числа.

Приближенно можно считать  $d_{\text{пр } \vartheta} = 1,33 d_{\text{пр}}$ .

Коэффициент теплоотдачи является основной количественной характеристикой процесса теплопередачи:

$$\alpha = \alpha_K + \alpha_{\text{л}},$$

где  $\alpha_K$  - учитывает действие конвекции, а  $\alpha_{\text{л}}$  - действие теплового излучения.

Теплоотдача конвекцией представляет собой сложный процесс передачи тепла за счет движения воздуха. Различают свободную конвекцию, когда движение воздуха возникает за счет разности температур нагретого тела и окружающей среды, и вынужденную, когда движение воздуха определяется причинами, не связанными с охлаждаемым телом (ветер, поток воздуха от вентилятора). В реальных условиях два этих вида конвекции существуют

совместно и накладываются друг на друга. Особенно сильно их взаимное влияние сказывается в диапазоне скоростей ветра от 0,5 до 2 м/с.

При свободной конвекции обычно преобладает вертикальное движение воздуха в районе нагретого тела. При вынужденной конвекции преобладает горизонтальное движение воздуха, т.е. ветер. Только при абсолютном штиле направление движения воздуха при свободной и вынужденной конвекции совпадают, так как вынужденная конвекция в этом случае определяется воздухом, поднимающимся от нагретой земли вверх, к проводу.

Коэффициент теплоотдачи конвекцией, согласно теории подобия, в общем виде определяется исходя из критериальных уравнений конвективного теплообмена:

$$Nu = F(Re, Gr),$$

где  $Nu$  - критерий Нуссельта, определяющий коэффициент теплоотдачи;  $Re$  - критерий Рейнольдса, характеризующий вынужденную конвекцию;  $Gr$  - критерий Грасгофа, характеризующий свободную конвекцию. Обычно функция  $F$  представляется в виде степенной зависимости от критериев подобия.

Критерий Нуссельта - безразмерная величина равная

$$Nu = \frac{\alpha_k d_{\text{пр}}}{\lambda_{\text{в}}},$$

где  $\lambda_{\text{в}}$  - коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·°С).

Критерий Рейнольдса рассчитывается по формуле:

$$Re = \frac{v d_{\text{пр}}}{\nu_{\text{в}}},$$

где  $v$  - скорость ветра, м/с;  $\nu_{\text{в}}$  - кинематический коэффициент вязкости воздуха, м<sup>2</sup>/с.

Критерий Грасгофа равен:

$$Gr = \frac{g \beta_{\text{в}} d_{\text{пр}}^3 (\vartheta_{\text{пр}} - \vartheta_{\text{в}})}{\nu_{\text{в}}^2},$$

где  $g$  - ускорение свободного падения, 9,81 м/с<sup>2</sup>;  $\beta_{\text{в}}$  - температурный коэффициент объемного расширения воздуха, 1/°С, который приближенно можно рассчитать по формуле  $\beta_{\text{в}} \approx 1/(\vartheta_{\text{в}} + 273)$ .

Значения параметров воздуха в реальном диапазоне температур с достаточной точностью могут быть представлены в виде аналитических зависимостей:

$$\lambda_{\text{в}} = 2,44 \cdot 10^{-2} \sqrt{1 + 0,0069 \cdot \vartheta_{\text{в}}};$$

$$\nu_{\text{в}} = 13,28 \cdot 10^{-6} (1 + 0,0069 \cdot \vartheta_{\text{в}}).$$

Функция (4) обычно представляется в виде степенной зависимости. Критерий Нуссельта определяется соотношением:

- при свободной конвекции

$$Nu = 0,46 Gr^{0,25};$$

- при вынужденной конвекции (без учета естественной)

$$Nu = \begin{cases} 0,437k_{\psi} Re_3^{0,5}, & \text{при } 5 > Re \geq 10^3; \\ 0,218k_{\psi} Re_3^{0,6}, & \text{при } 10^3 > Re \geq 2 \cdot 10^5; \\ 0,0201k_{\psi} Re_3^{0,8}, & \text{при } 2 \cdot 10^5 > Re \geq 2 \cdot 10^6, \end{cases}$$

где  $k_{\psi}$  - коэффициент зависимости теплоотдачи при конвективном теплообмене от угла атаки ветра  $\psi_{\text{в}}$ , определяется по табл. П.1;  $Re_3$  - эквивалентный критерий Рейнольдса, учитывающий совместное действие свободной и вынужденной конвекции, равный:

$$Re_3 = Re + \sqrt{0,5Gr},$$

если направления свободного и вынужденного потоков воздуха совпадают;

$$Re_3 = \sqrt{Re^2 + 0,5Gr},$$

если вынужденный поток направлен горизонтально (ветер).

Таблица П.1

**Зависимость коэффициента теплоотдачи конвекцией  
от направления ветра**

$\psi_{\text{в}}, \text{ } ^\circ$	>80	70	60	50	40	30	<20
$k_{\psi}$	1	0.98	0.94	0.88	0.78	0.67	0.55

Коэффициент теплоотдачи излучением определяется по формуле:

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{5,67\varepsilon_{\text{и}}}{\vartheta_{\text{пр}} - \vartheta_{\text{в}}} \left[ \left( \frac{273 + \vartheta_{\text{пр}}}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + \vartheta_{\text{в}}}{100} \right)^4 \right],$$

где  $\varepsilon_{\text{и}}$  - постоянная излучения (степень черноты провода).

На основании опыта эксплуатации рекомендуется принимать  $\varepsilon_{\text{и}}$  равной 0,3 нового провода (первые два года эксплуатации) и 0,6 для последующих лет.

### Учет солнечной радиации при расчете допустимого тока

Величина дополнительного нагрева провода от солнечной радиации зависит от интенсивности солнечного излучения, конструкции, геометрических размеров, состояния поверхности и материала провода. Интенсивность солнечного излучения в свою очередь зависит от времени года, времени суток, широты местности, состояния атмосферы, облачности.

Мощность солнечного излучения, поглощаемая 1 м провода определяется уравнением

$$P_c = \varepsilon_n k_H d_{\text{пр}} k_{\text{мес}} W_p \sin \psi_c,$$

где  $\varepsilon_n$  - коэффициент поглощения провода (принимается равным 0,6);  $k_H$  - коэффициент, учитывающий влияние высоты над уровнем моря;  $k_{\text{мес}}$  - коэффициент, учитывающий зависимость интенсивности солнечного излучения от времени года (месяца);  $W_p$  - интенсивность суммарной радиации (прямой и отраженной), Вт/м<sup>2</sup>;  $\psi_c$  - активный угол наклона солнечных лучей, °, определяемый выражением

$$\psi_c = \arccos(\cos h_c \cos(180 - \psi_{\text{л}})),$$

здесь  $h_c = 113,5 - \varphi$  - угловая высота Солнца для северного полушария Земли, причем широта местности  $\varphi \geq 23,5$ ;  $\psi_{\text{л}}$  - ориентация линии электропередачи по отношению к меридиану.

Если высота прокладки трассы ВЛ над уровнем моря находится в диапазоне 150-1000 м, то

$$k_H = 0,116 \lg H + 0,752,$$

если  $H < 150$  м, то  $k_H = 1$ .

Зависимость  $W_p$  от высоты Солнца  $h_c$  можно представить в виде аналитических зависимостей с учетом чистоты воздуха [6]:

- для чистого воздуха

$$W_p = 250,874 + 27,637 h_c - 0,3394 h_c^2 + 1,4435 \cdot 10^{-3} h_c^3;$$

- для воздуха средней загрязненности

$$W_p = 134,282 + 26,738 h_c - 0,3134 h_c^2 + 1,2893 \cdot 10^{-3} h_c^3;$$

- для загрязненного воздуха

$$W_p = -21,092 + 27,492 h_c - 0,318 h_c^2 + 1,357 \cdot 10^{-3} h_c^3.$$

Формулой для загрязненного воздуха можно пользоваться также при небольшой облачности.

Зависимость интенсивности солнечного излучения от времени года рассчитывается исходя из данных СНиП 23-01-99 «Строительная климатология» [5]. Коэффициент  $k_{\text{мес}}$  определяется по табл. П.2.

**Коэффициент зависимости интенсивности солнечного  
излучения от времени года**

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$k_{\text{мес}}$	0,68	0,71	0,88	0,89	0,99	1	1	0,9	0,81	0,77	0,69	0,65

### Расчет температуры провода

Расчет температуры провода при заданных климатических условиях выполняется по уравнению:

$$k_M k_{\Pi} I^2 R_{20} (1 + \beta_r (\vartheta_{\text{пр}} - 20)) + P_c = (\alpha_K + \alpha_{\text{л}}) F (\vartheta_{\text{пр}} - \vartheta_{\text{в}}).$$

Уравнение является нелинейным. Его решение можно найти численными методами, в частности, итерационным методом. Формула для расчета установившейся температуры провода на  $k$ -й итерации выглядит следующим образом:

$$\vartheta_{\text{пр}}^{(k)} = \frac{k_M k_{\Pi} I^2 R_{20} (1 - 20\beta_r) + P_c + F \vartheta_{\text{в}} (\alpha_K^{(k-1)} + \alpha_{\text{л}}^{(k-1)})}{(\alpha_K^{(k-1)} + \alpha_{\text{л}}^{(k-1)}) F - k_M k_{\Pi} I^2 R_{20} \beta_r},$$

где  $\alpha_K^{(k-1)}$ ,  $\alpha_{\text{л}}^{(k-1)}$  - значения коэффициентов теплоотдачи, рассчитанные по формулам приложения Г исходя из значения температуры провода на предыдущей,  $(k-1)$ , итерации  $\vartheta_{\text{пр}}^{(k-1)}$ .

Расчеты выполняются пока  $\left| \vartheta_{\text{пр}}^{(k)} - \vartheta_{\text{пр}}^{(k-1)} \right| \leq \varepsilon$ , где  $\varepsilon$  - заданная точность расчета.

В качестве начального значения температуры  $\vartheta_{\text{пр}}^{(0)}$  можно принять значение максимально допустимой температуры провода, при этом обеспечивается достаточно высокая сходимость итерационного процесса, 3-4 итерации при точности расчета температуры провода  $0,1^\circ\text{C}$ .

### Точный расчет допустимой температуры провода по условию сохранения допустимых габаритов ВЛ

Метод расчета провода основан на теории провисания гибкой однородной тяжелой нити [7-9]. При этом кривая провисания принимает форму цепной нити. Уравнение этой кривой при этом записывается в следующем виде

$$y = y_0 \operatorname{ch} \left( \frac{x}{y_0} \right),$$

где  $x$  - координата по горизонтальной оси (см.рис.1);  $y_0 = \sigma_0 / \gamma_1$ , здесь  $\sigma_0$  - механическое напряжение в проводе в нижней точке провиса, Н/мм<sup>2</sup>.

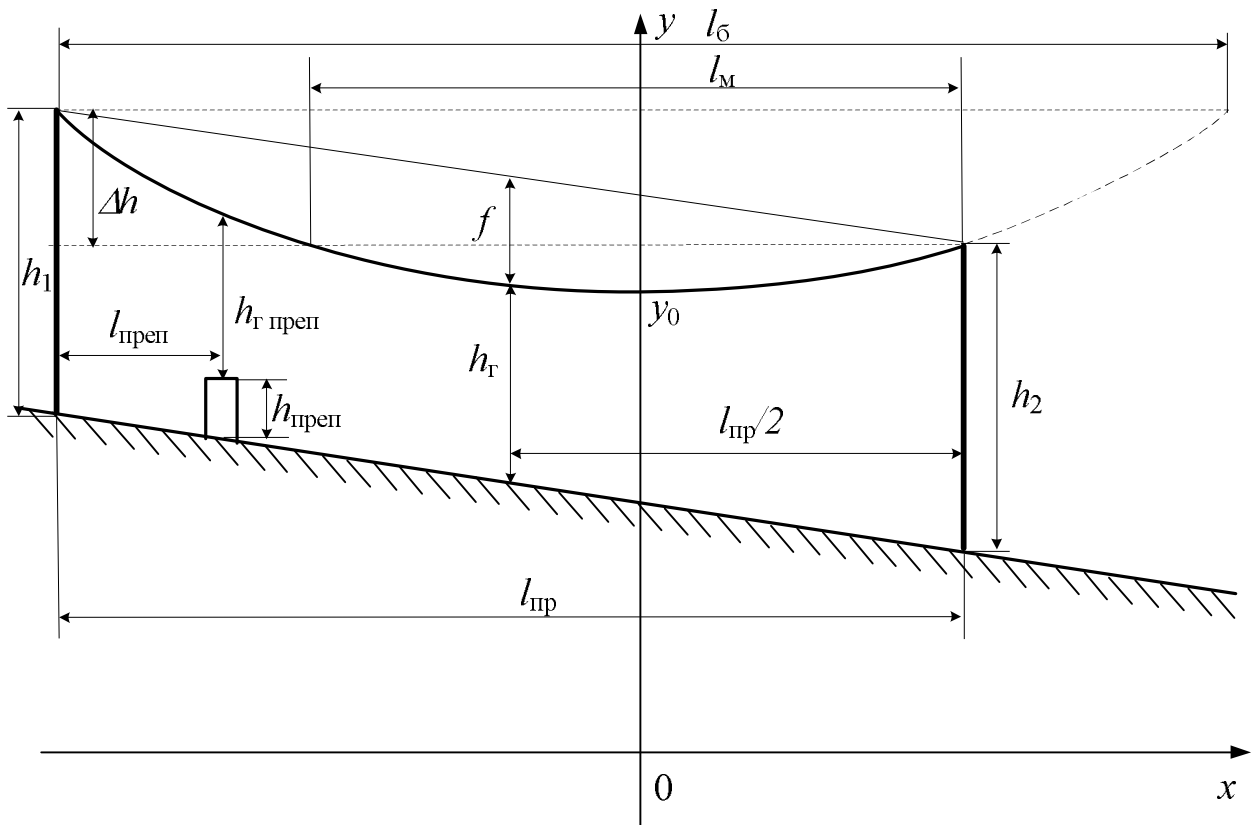


Рис.1. Пролет ВЛ

Сначала, по измеренному габариту до земли в середине пролета, определяется расчетное значение напряжения в нижней точке провеса провода,  $\sigma_{0\delta}$ , путем численного решения системы нелинейных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\sigma_{0p}}{\gamma_1} \left( ch \left( \frac{\gamma_1 (l_{mp} - l_{pp})}{4\sigma_{0p}} \right) - \frac{l_{pp}}{l_{6p} + l_{mp}} \left( ch \left( \frac{\gamma_1 l_{6p}}{2\sigma_{0p}} \right) - ch \left( \frac{\gamma_1 l_{mp}}{2\sigma_{0p}} \right) + \frac{\gamma_1 (h_2 - h_1)}{\sigma_{0p}} \right) - \right. \\ \left. - ch \left( \frac{\gamma_1 l_{mp}}{2\sigma_{0p}} \right) \right) + h_2 = h_3 \text{ изм}; \\ \frac{\sigma_{0p}}{\gamma_1} \left( ch \left( \frac{\gamma_1 l_{6p}}{2\sigma_{0p}} \right) - ch \left( \frac{\gamma_1 (2l_{pp} - l_{6p})}{2\sigma_{0p}} \right) \right) = \Delta h; \\ (l_{6p} + l_{mp})/2 = l_{pp}, \end{array} \right.$$

где  $l_{6p}$ ,  $l_{mp}$  - расчетные длины большого и малого эквивалентных пролетов, м (см. рис.1);  $\Delta h$  - разность высот подвеса провода, м;  $h_1$ ,  $h_2$  - высоты от основания опор до точки крепления провода, м.

Расчет допустимой температуры выполняется методом покоординатного спуска. Задаемся начальным значением температуры провода,  $\vartheta_{pp}$ , равным температуре воздуха,  $\vartheta_v$ , и определяем  $\sigma_0$ ,  $l_6$ ,  $l_m$  при этой температуре провода решением системы нелинейных уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\sigma_0}{\gamma_1} \left( sh \left( \frac{\gamma_1 l_6}{2\sigma_0} \right) + sh \left( \frac{\gamma_1 (2l_{pp} - l_6)}{2\sigma_0} \right) \right) \\ \frac{\sigma_{0p}}{\gamma_1} \left( sh \left( \frac{\gamma_1 l_{6p}}{2\sigma_{0p}} \right) + sh \left( \frac{\gamma_1 (2l_{pp} - l_{6p})}{2\sigma_{0p}} \right) \right) \end{array} \right. = \left( 1 + \beta_{л} (\vartheta_{pp} - \vartheta_{ppp}) \right) \left( 1 + \frac{1}{E} (\sigma_0 - \sigma_{0p}) \right);$$

$$\Delta h = \frac{\sigma_0}{\gamma_1} \left( ch \left( \frac{\gamma_1 l_6}{2\sigma_0} \right) - ch \left( \frac{\gamma_1 (2l_{pp} - l_6)}{2\sigma_0} \right) \right).$$

Расчет ведется методом Ньютона по итерационным формулам

$$l_6(k) = l_6(k-1) + \Delta l(k); \quad \sigma_0(k) = \sigma_0(k-1) + \Delta \sigma(k)$$

до тех пор пока  $\left( (\Delta l(k))^2 + (\Delta \sigma(k))^2 \right) \geq \varepsilon$ , здесь  $\varepsilon$  - требуемая точность расчета.

Значения  $\Delta l(k)$  и  $\Delta \sigma(k)$  на  $k$ -ой итерации определяются из системы уравнений

$$-\begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial l_6} \Big|_{l_6(k-1)} & \frac{\partial F_1}{\partial \sigma_0} \Big|_{\sigma_0(k-1)} \\ \frac{\partial F_2}{\partial l_6} \Big|_{l_6(k-1)} & \frac{\partial F_2}{\partial \sigma_0} \Big|_{\sigma_0(k-1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta l(k) \\ \Delta \sigma(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1(\sigma_0(k-1), l_6(k-1)) \\ F_2(\sigma_0(k-1), l_6(k-1)) \end{bmatrix},$$



где

$$F_1 = sh\left(\frac{\gamma_1 l_{\delta}}{2\sigma_0}\right) + sh\left(\frac{\gamma_1(2l_{np} - l_{\delta})}{2\sigma_0}\right) - \frac{C\gamma_1}{\sigma_0} \left(1 + \beta_{л}(\vartheta_{np} - \vartheta_{np p})\right) \left(1 + \frac{1}{E}(\sigma_0 - \sigma_{0p})\right);$$

$$F_2 = ch\left(\frac{\gamma_1 l_{\delta}}{2\sigma_0}\right) - ch\left(\frac{\gamma_1(2l_{np} - l_{\delta})}{2\sigma_0}\right) - \frac{\Delta h \gamma_1}{\sigma_0},$$

здесь  $C = \frac{\sigma_{0p}}{\gamma_{ip}} \left( sh\left(\frac{\gamma_{ip} l_{\delta p}}{2\sigma_{0p}}\right) + sh\left(\frac{\gamma_{ip}(2l_{np} - l_{\delta p})}{2\sigma_{0p}}\right) \right)$  - величина, не зависящая

от  $\sigma_0$ .

Решая систему уравнений, получим

$$\Delta\sigma(k) = \frac{F_2(\sigma_{0(k-1)}, l_{\delta(k-1)}) - F_1(\sigma_{0(k-1)}, l_{\delta(k-1)}) \frac{\frac{\partial F_2}{\partial l_{\delta}} \Big|_{l_{\delta(k-1)}}}{\frac{\partial F_1}{\partial l_{\delta}} \Big|_{l_{\delta(k-1)}}}}{\frac{\frac{\partial F_2}{\partial l_{\delta}} \Big|_{l_{\delta(k-1)}}}{\frac{\partial F_1}{\partial l_{\delta}} \Big|_{l_{\delta(k-1)}}} \frac{\partial F_1}{\partial \sigma_0} \Big|_{\sigma_{0(k-1)}} - \frac{\partial F_2}{\partial \sigma_0} \Big|_{\sigma_{0(k-1)}}};$$

$$\Delta l(k) = \frac{\Delta\sigma(k) \frac{\partial F_1}{\partial \sigma_0} \Big|_{\sigma_{0(k-1)}} - F_1(\sigma_{0(k-1)}, l_{\delta(k-1)})}{\frac{\partial F_1}{\partial l_{\delta}} \Big|_{l_{\delta(k-1)}}}.$$

Значения частных производных определяются по формулам:

$$\frac{\partial F_1}{\partial l_{\delta}} = \frac{\gamma_1}{2\sigma_0} \left( ch\left(\frac{\gamma_1 l_{\delta}}{2\sigma_0}\right) - ch\left(\frac{\gamma_1(2l_{np} - l_{\delta})}{2\sigma_0}\right) \right);$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial \sigma_0} = -\frac{\gamma_1 l_{\delta}}{2\sigma_0^2} ch\left(\frac{\gamma_1 l_{\delta}}{2\sigma_0}\right) - \frac{\gamma_1(2l_{np} - l_{\delta})}{2\sigma_0^2} ch\left(\frac{\gamma_1(2l_{np} - l_{\delta})}{2\sigma_0}\right) +$$

$$+ \left(1 + \beta_{л}(\vartheta_{np} - \vartheta_{np p})\right) \frac{C\gamma_1 \left(1 - \frac{\sigma_{0p}}{E}\right)}{\sigma_0^2};$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial l_{\bar{\sigma}}} = \frac{\gamma_1}{2\sigma_0} \left( sh \left( \frac{\gamma_1 l_{\bar{\sigma}}}{2\sigma_0} \right) - sh \left( \frac{\gamma_1 (2l_{\text{пр}} - l_{\bar{\sigma}})}{2\sigma_0} \right) \right);$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial \sigma_0} = -\frac{\gamma_1 l_{\bar{\sigma}}}{2\sigma_0^2} sh \left( \frac{\gamma_1 l_{\bar{\sigma}}}{2\sigma_0} \right) + \frac{\gamma_1 (2l_{\text{пр}} - l_{\bar{\sigma}})}{2\sigma_0^2} sh \left( \frac{\gamma_1 (2l_{\text{пр}} - l_{\bar{\sigma}})}{2\sigma_0} \right) + \frac{\Delta h \gamma_1}{\sigma_0^2}.$$

Далее определяются значения габаритов до земли,  $h_3$ , в середине пролета и до препятствия или пересечения,  $h_{\text{Г преп}}$ , по формулам:

$$h_3 = \frac{\sigma_0}{\gamma_1} \left( ch \left( \frac{\gamma_1 (l_{\text{М}} - l_{\text{пр}})}{4\sigma_0} \right) - \frac{l_{\text{пр}}}{l_{\bar{\sigma}} + l_{\text{М}}} \left( ch \left( \frac{\gamma_1 l_{\bar{\sigma}}}{2\sigma_0} \right) - ch \left( \frac{\gamma_1 l_{\text{М}}}{2\sigma_0} \right) + \frac{\gamma_1 (h_2 - h_1)}{\sigma_0} \right) - ch \left( \frac{\gamma_1 l_{\text{М}}}{2\sigma_0} \right) \right) + h_2;$$

$$h_{\text{Г преп}} = \frac{\sigma_0}{\gamma_1} \left( ch \left( \frac{\gamma_1 (l_{\text{преп}} - l_{\bar{\sigma}})}{4\sigma_0} \right) - \frac{l_{\bar{\sigma}} + l_{\text{М}} - 2l_{\text{преп}}}{l_{\bar{\sigma}} + l_{\text{М}}} \left( ch \left( \frac{\gamma_1 l_{\bar{\sigma}}}{2\sigma_0} \right) - ch \left( \frac{\gamma_1 l_{\text{М}}}{2\sigma_0} \right) + \frac{\gamma_1 (h_2 - h_1)}{\sigma_0} \right) - ch \left( \frac{\gamma_1 l_{\text{М}}}{2\sigma_0} \right) \right) + h_2 - h_{\text{преп}}.$$

Если  $h_3 < h_{3 \text{ доп}}$  и  $h_{\text{Г преп}} < h_{\text{преп доп}}$ , то температура провода увеличивается на значение  $\Delta \vartheta_{\text{пр}}$  и расчеты повторяются. Расчет выполняется до тех пор, пока габарит до земли или до препятствия достигнет допустимого значения. Таким образом, определяется допустимая температура провода.

### Точный расчет допустимого времени нагрева провода

Более точно время ликвидации аварийного режима можно определить интегрированием дифференциального уравнения теплового баланса, так как теплоемкость провода и коэффициент теплоотдачи от температуры провода, и реальная кривая нагрева провода несколько отличается от экспоненты:

$$C \frac{d\vartheta_{\text{пр}}}{dt} = k_{\text{м}} k_{\text{п}} I_{\text{ав}}^2 R_{20} \left( 1 + \beta_r (\vartheta_{\text{пр}} - 20) \right) + P_c - (\alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{л}}) F (\vartheta_{\text{пр}} - \vartheta_{\text{в}}).$$

Для определения кривой нагрева провода необходимо применить численные методы решения этого уравнения, например, методом Эйлера. Переходя от дифференцирования к конечным приращениям величин температуры провода и времени на  $k$ -м шаге интегрирования получим:

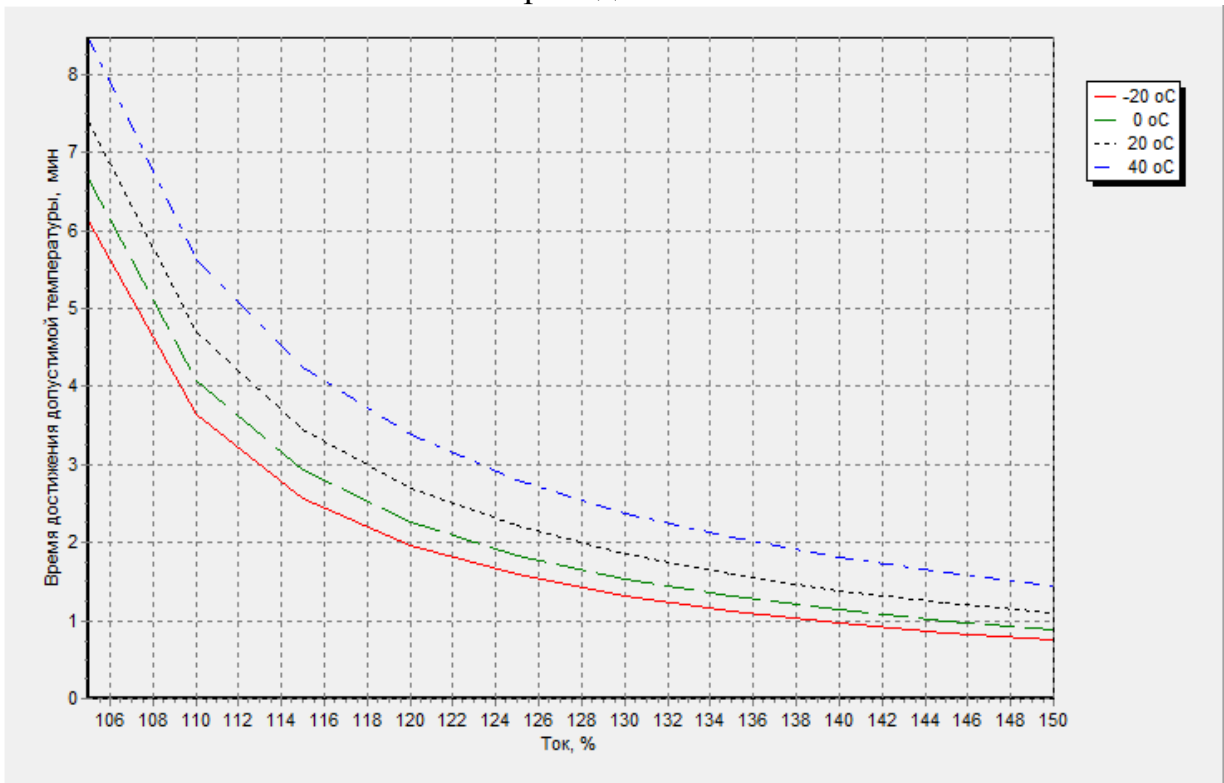
$$\begin{aligned} \Delta\vartheta_{\text{пр}}^{(k)} &= \frac{\Delta t}{C^{(k-1)}} \left( k_{\text{м}} k_{\text{п}} \left( I_{\text{ав}}^{(k-1)} \right)^2 R_{20} \left( 1 + \beta_r \left( \vartheta_{\text{пр}}^{(k-1)} - 20 \right) \right) + P_c - \right. \\ &\quad \left. - \left( \alpha_{\text{к}}^{(k-1)} + \alpha_{\text{л}}^{(k-1)} \right) F \left( \vartheta_{\text{пр}}^{(k-1)} - \vartheta_{\text{в}} \right) \right); \\ \vartheta_{\text{пр}}^{(k)} &= \vartheta_{\text{пр}}^{(k-1)} + \Delta\vartheta_{\text{пр}}^{(k)}. \end{aligned}$$

Интегрирование производится от начальной температуры (температура провода в предшествующем режиме) до аварийно допустимой температуры провода.

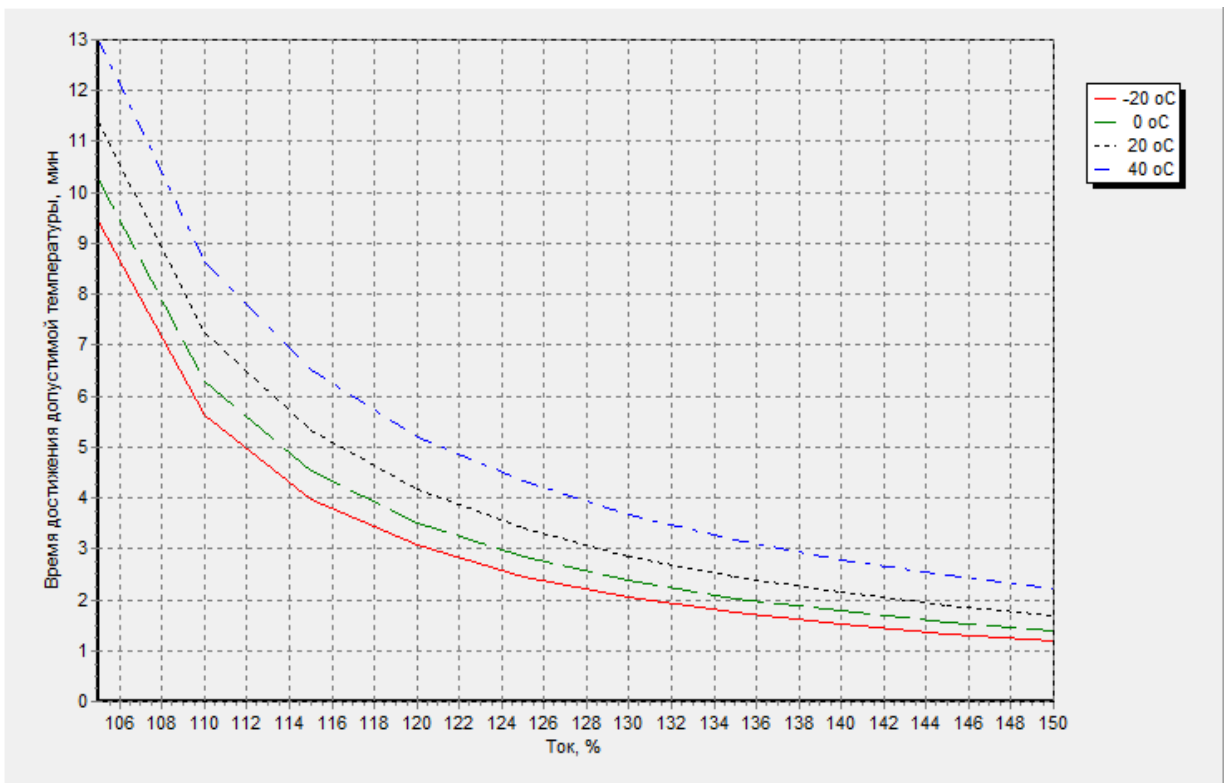
Далее на графиках приводятся минимальные значения времени достижения аварийно допустимой температуры в зависимости от величины тока (в % от аварийно допустимого тока при заданных климатических условиях). Графики приведены для значений температуры воздуха - 20, 0, +20, +40 °С при скорости ветра 0,6 м/с вдоль провода. При других значениях скорости ветра необходимо выполнять расчеты по приведенным выше формулам. В качестве начальной температуры провода до перегруза принят наихудший режим, когда температура провода равна 70 °С.

Графические зависимости построены с учетом изменения тока (превышающего аварийно допустимый) при изменении температуры воздуха. В связи с тем, что увеличение тепловыделения в проводе, вызывающее нагрев провода, с ростом токовой загрузки превышает увеличение теплоотдачи с поверхности провода при снижении температуры воздуха - большей температуре воздуха соответствует более высокое значение минимального времени достижения аварийно допустимой температуры при прочих равных условиях.

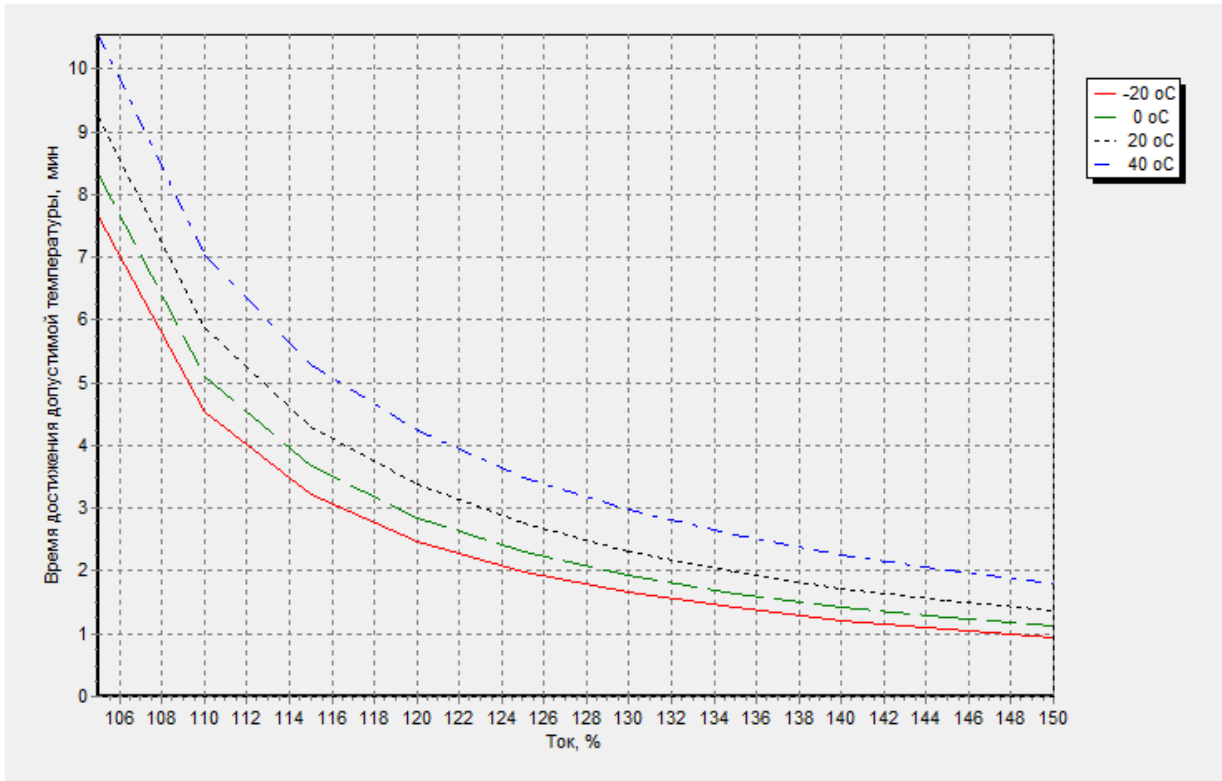
## Провод АС-70/11



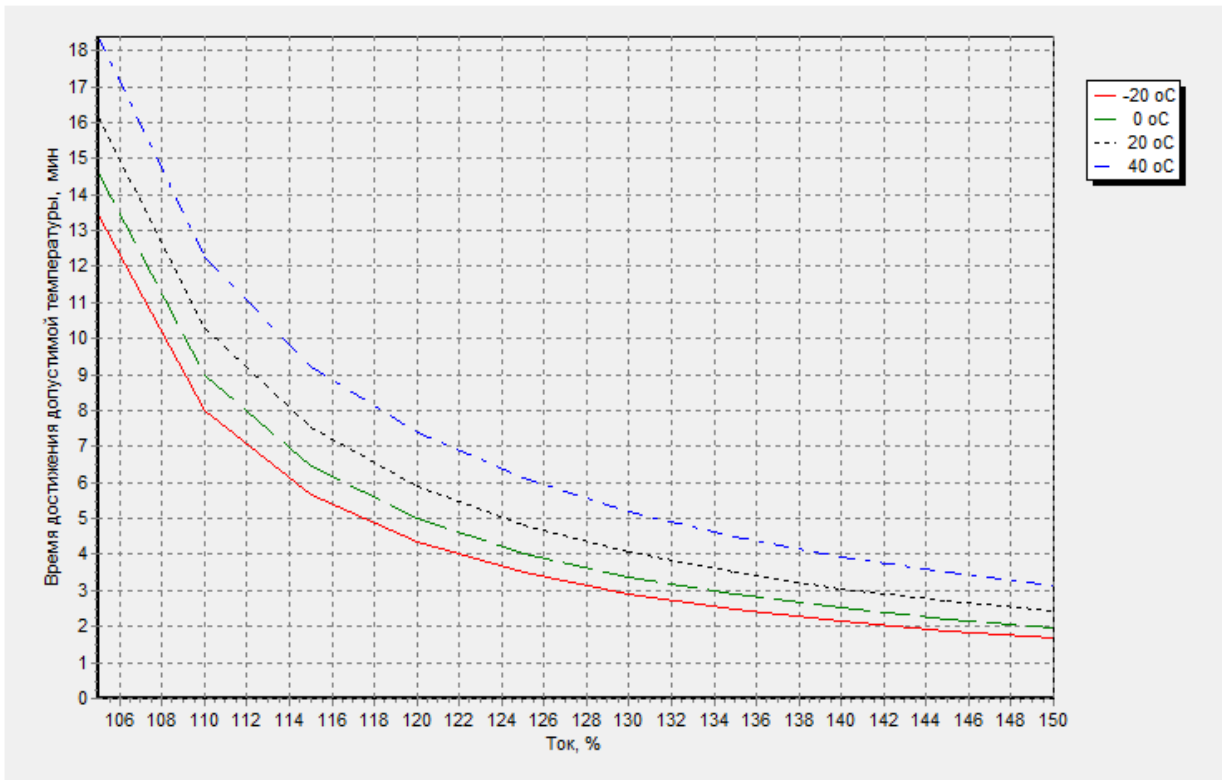
## АС-70/72



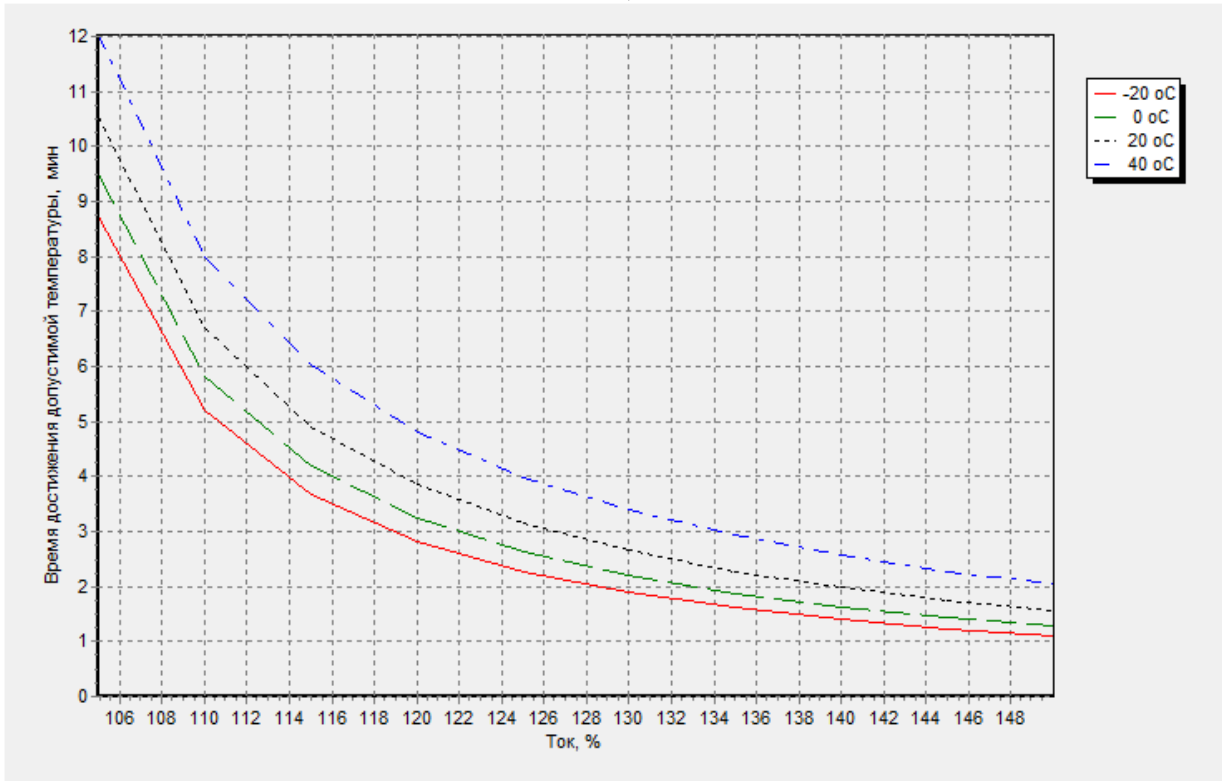
## AC-95/16



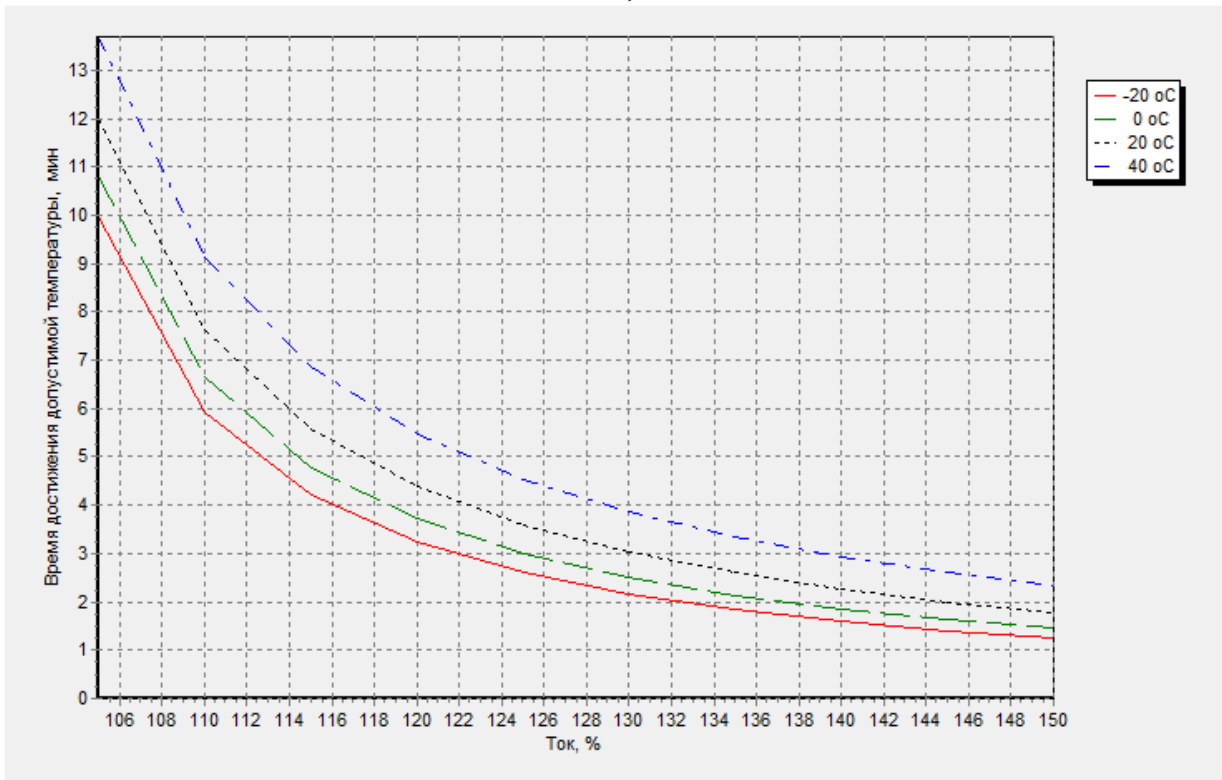
## AC-95/141



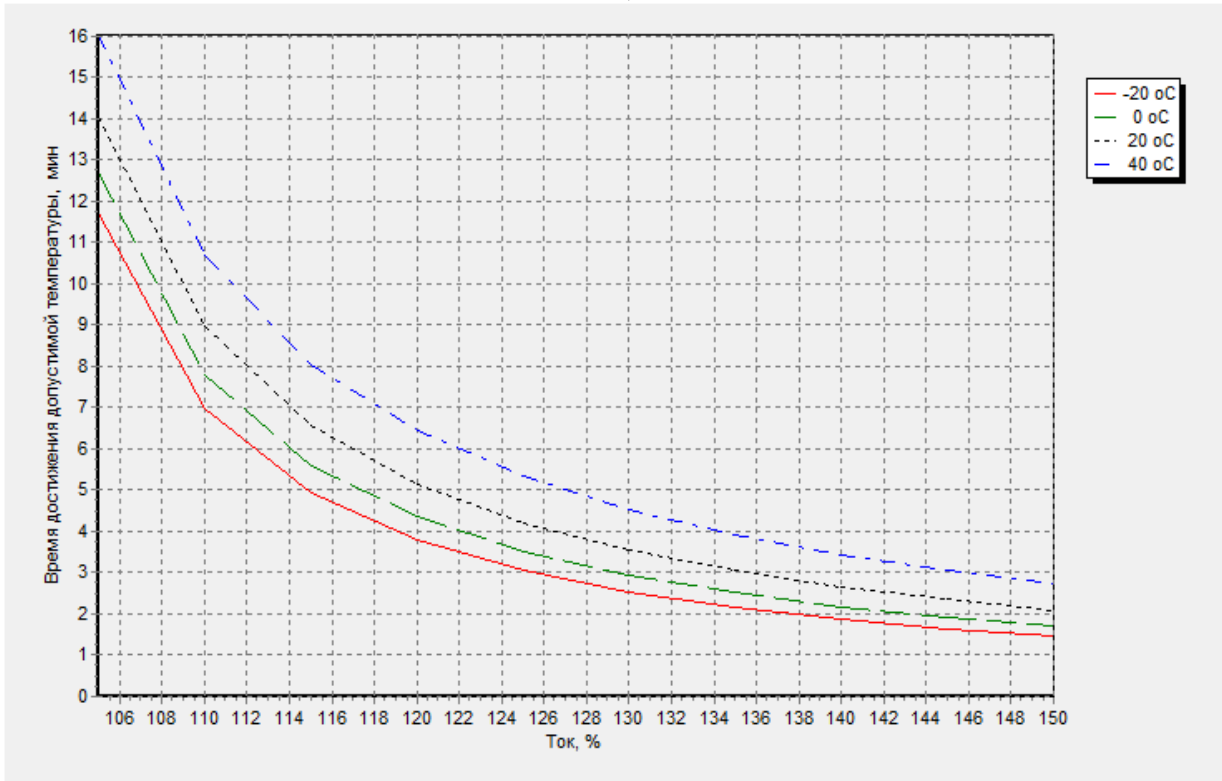
## AC-120/19, AC-120/27



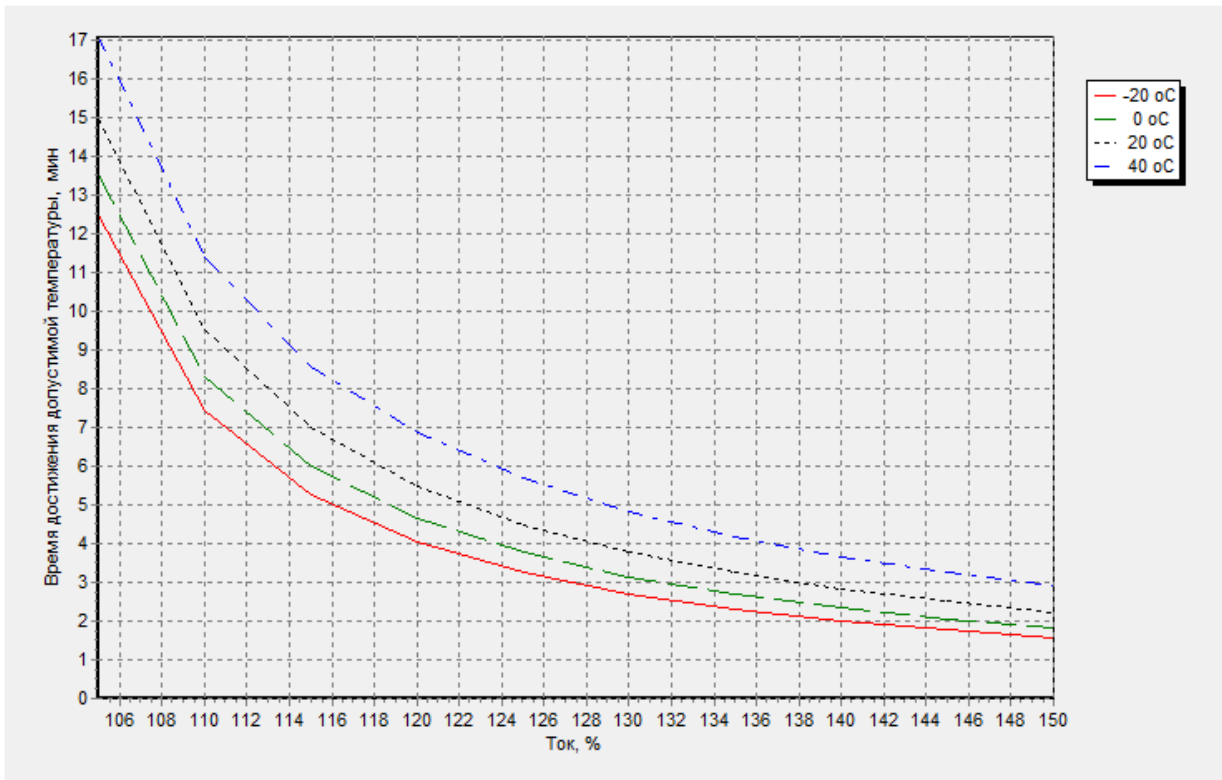
## AC-150/19, AC-150/24



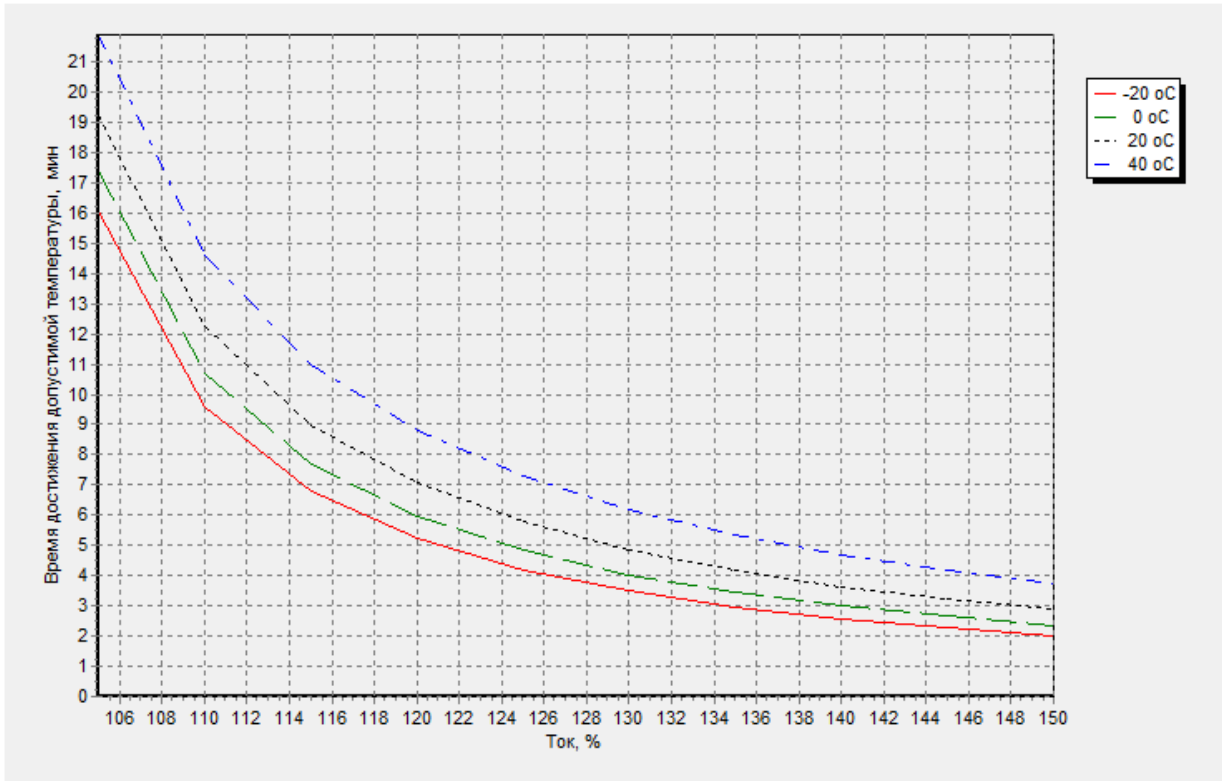
## AC-185/24, AC-185/29



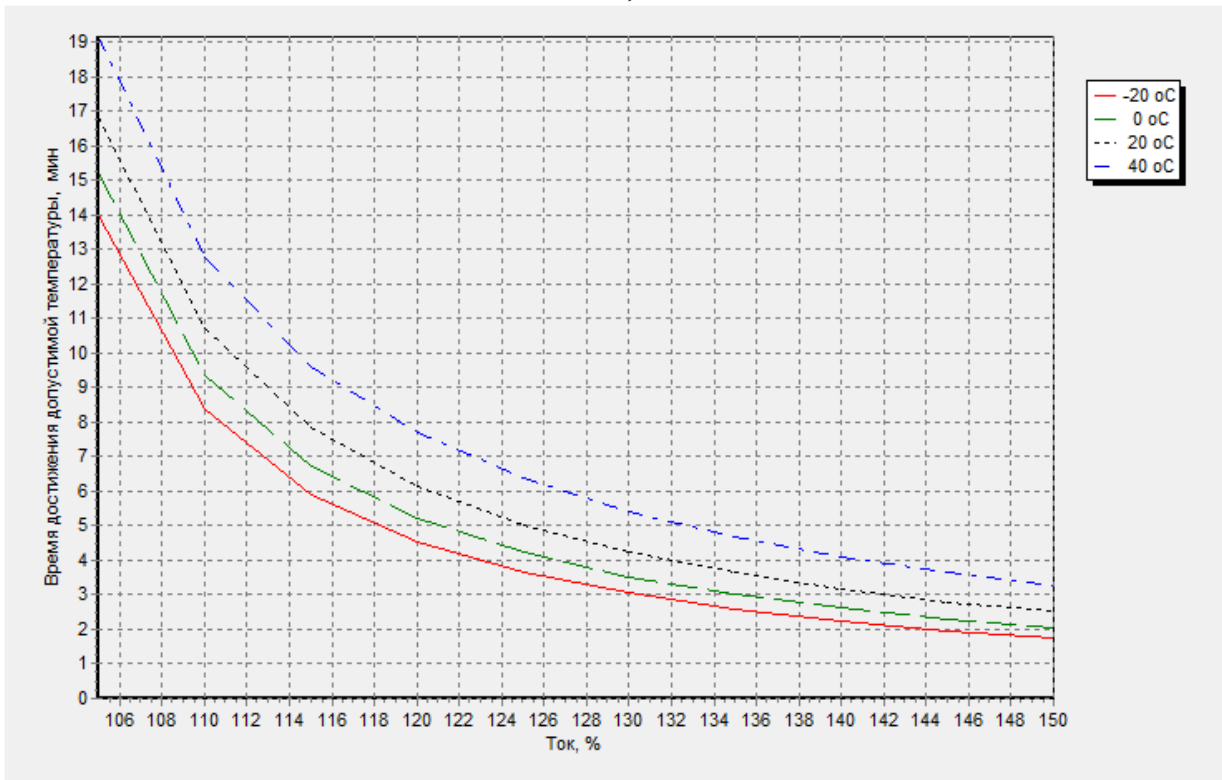
## AC-185/43



## AC-185/128

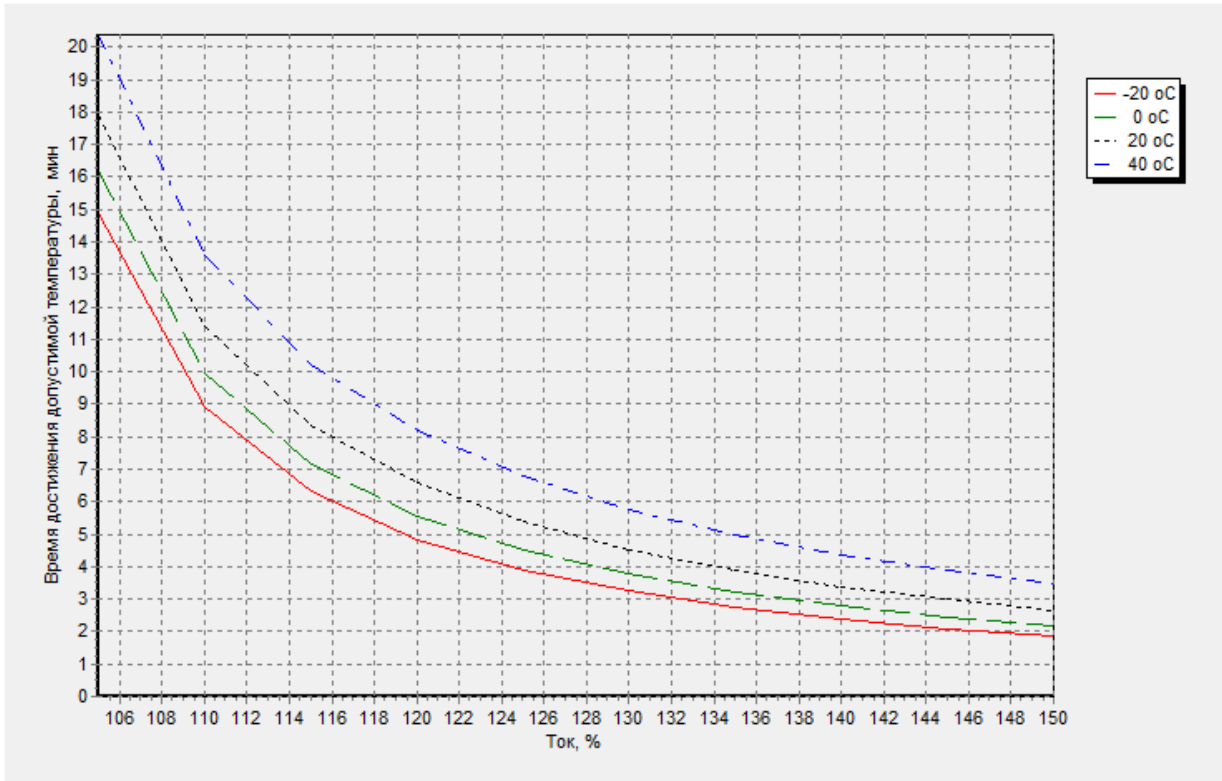


## AC-240/32, AC-240/39

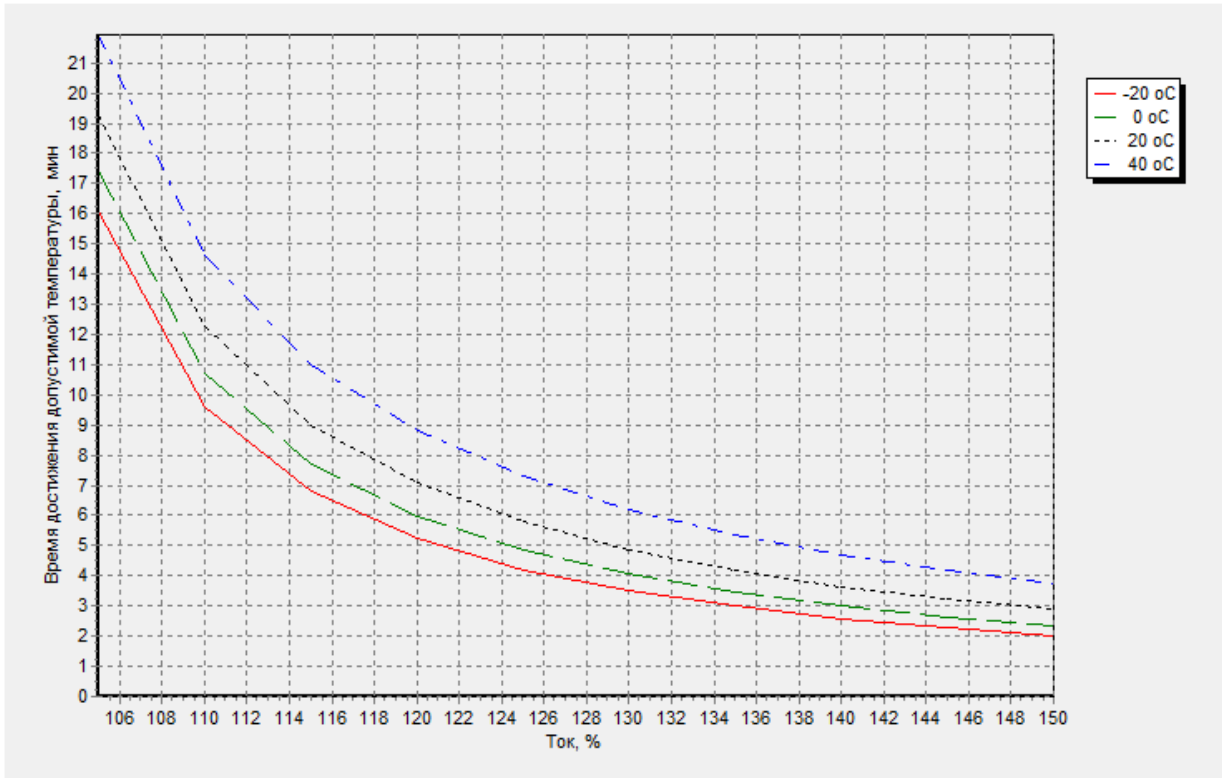




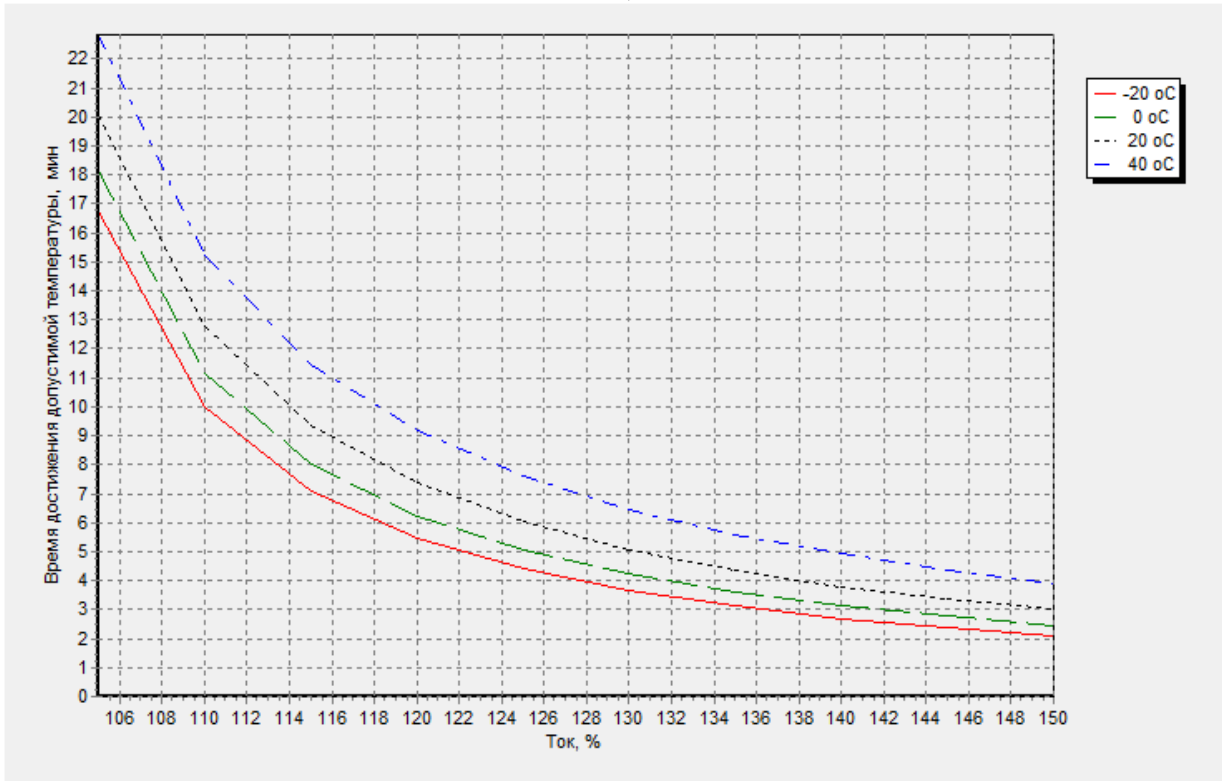
## AC-240/56



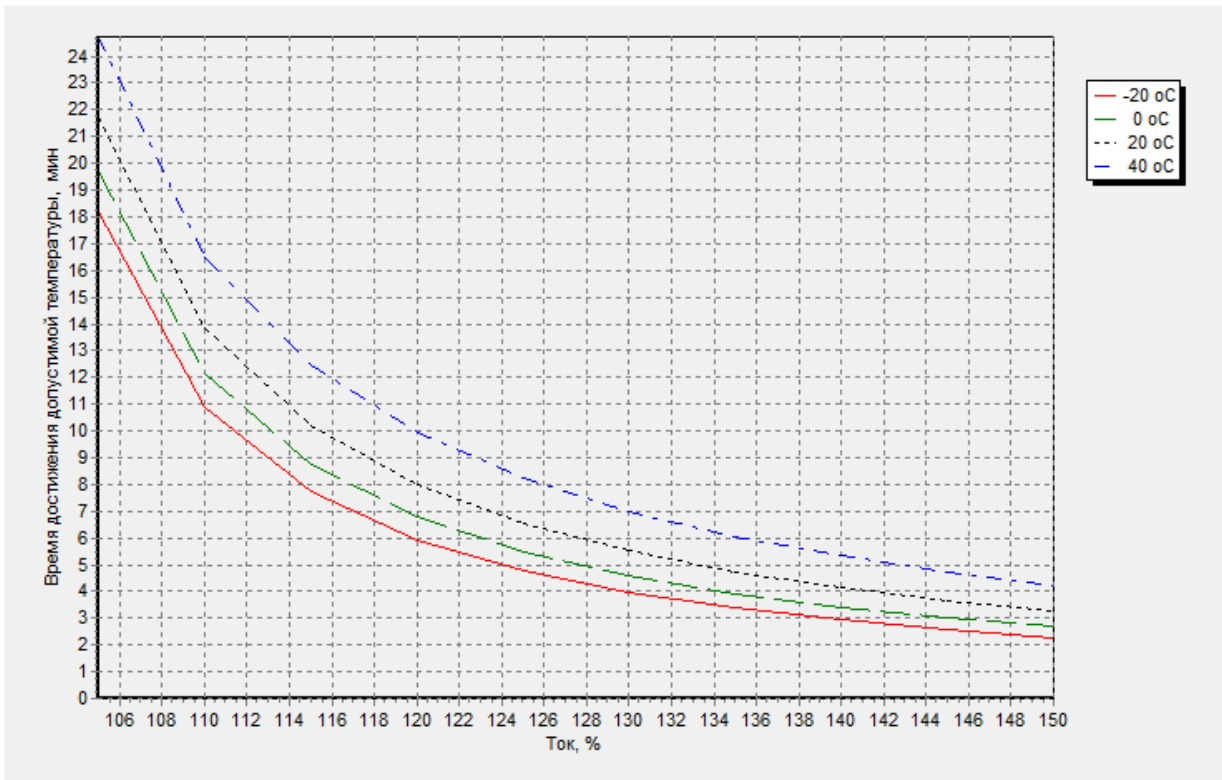
## AC-300/39, AC-300/48



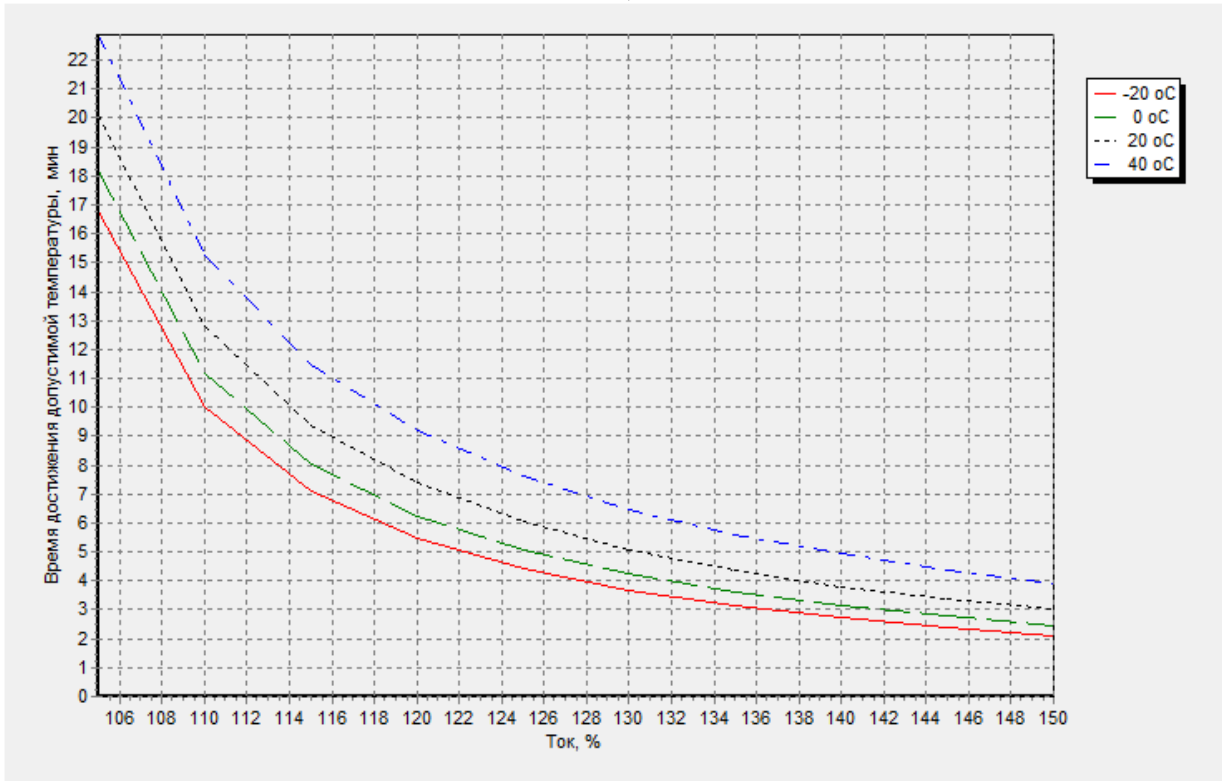
## AC-300/66, AC-300/67



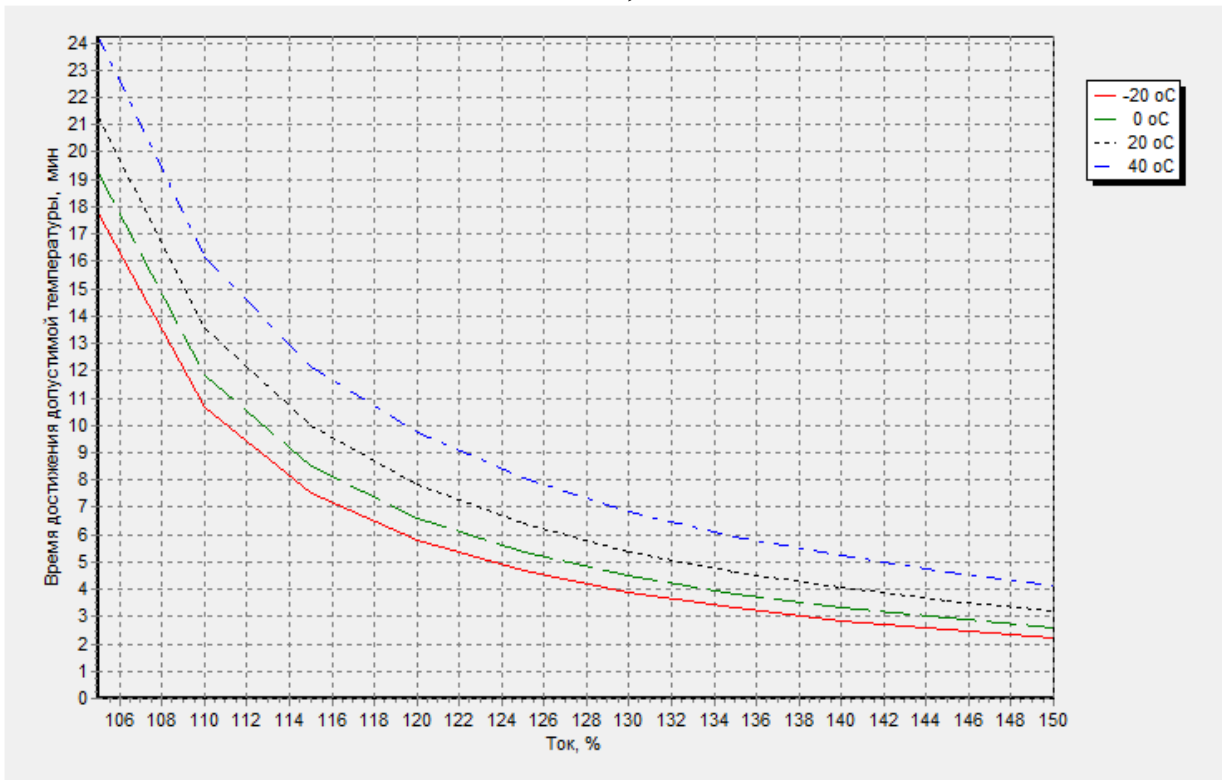
## AC-300/204



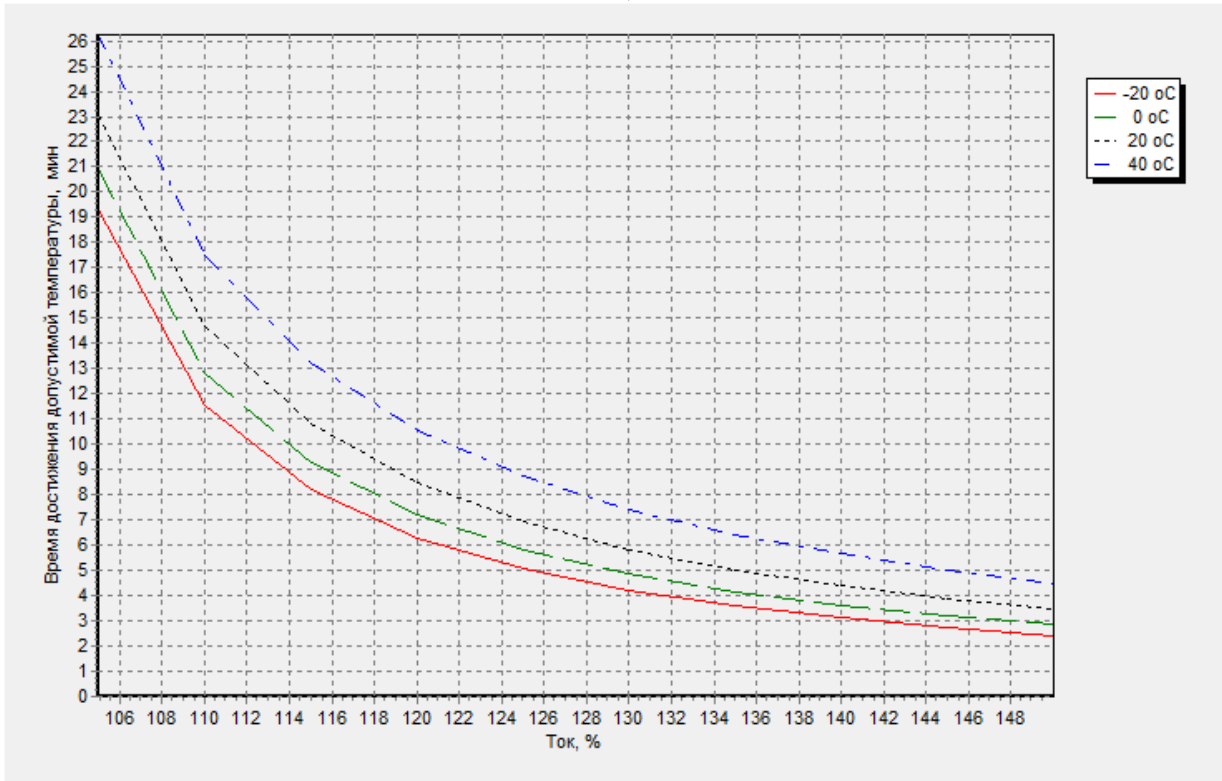
## AC-330/30, AC-330/43



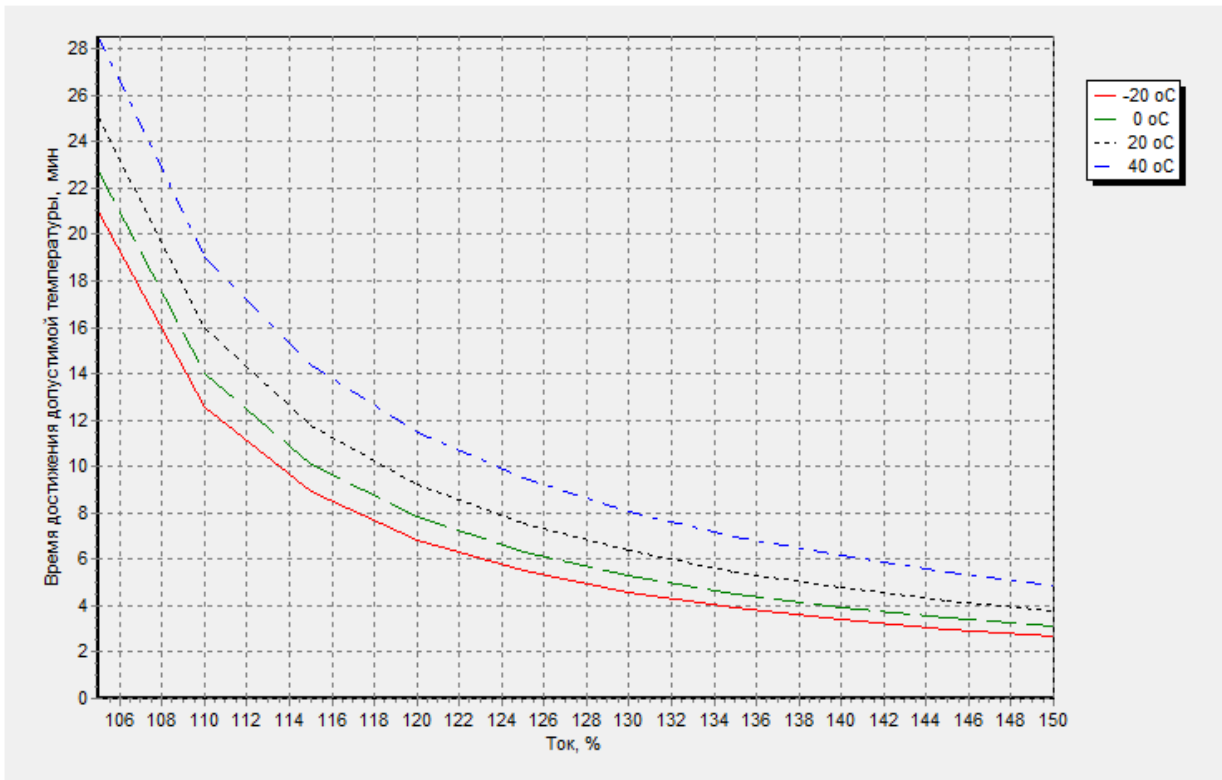
## AC-400/18, AC-400/22



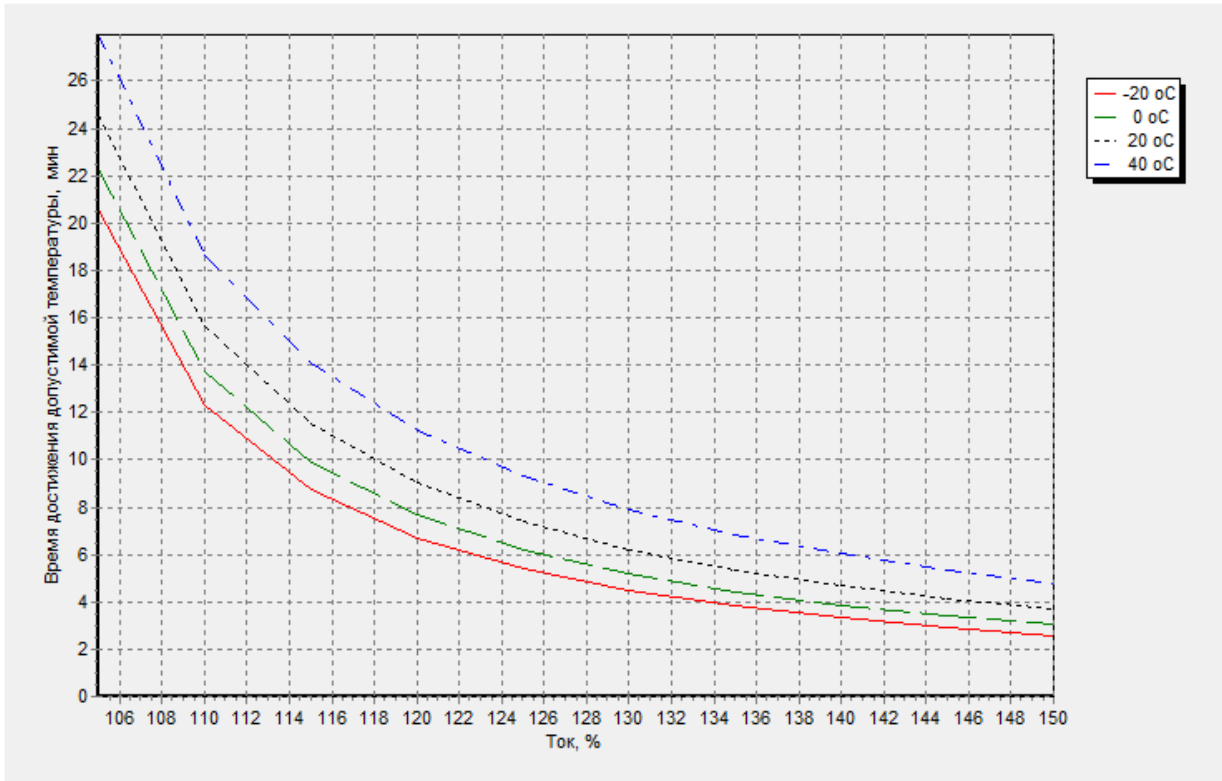
## AC-400/51, AC-400/64



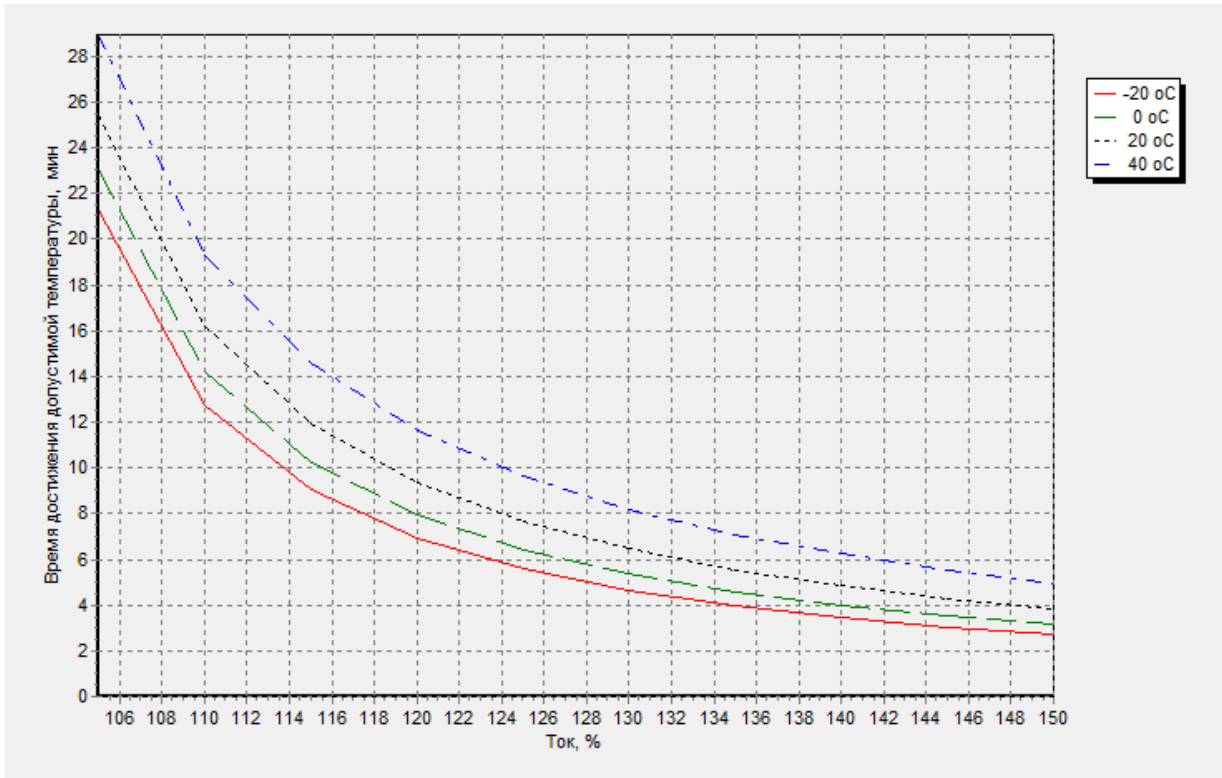
## AC-400/93



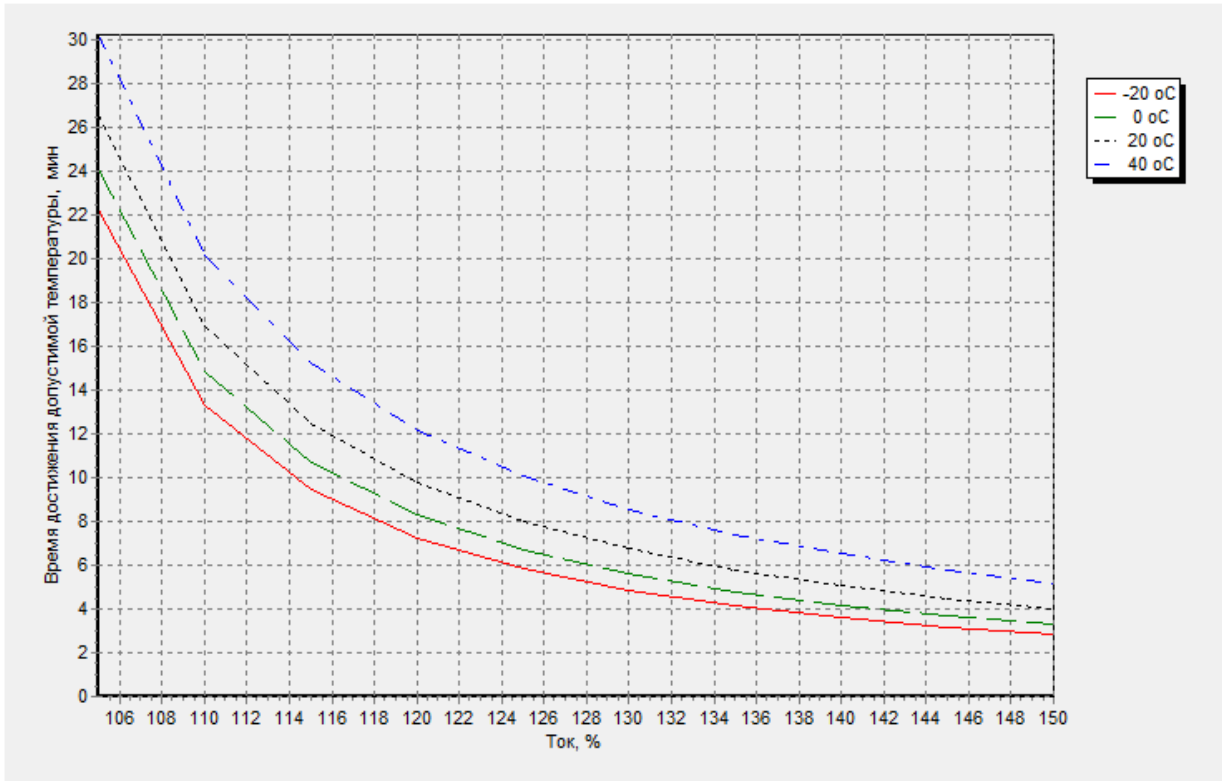
## AC-450/56



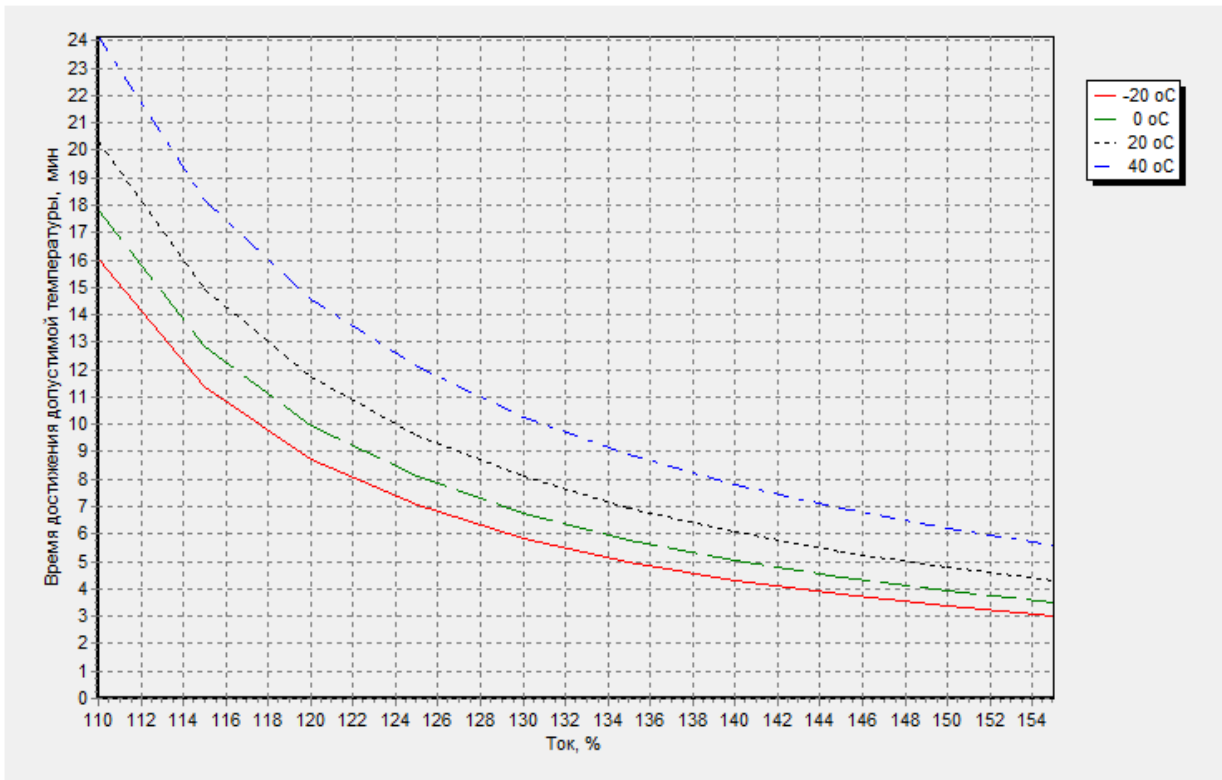
## AC-500/26, AC-500/27



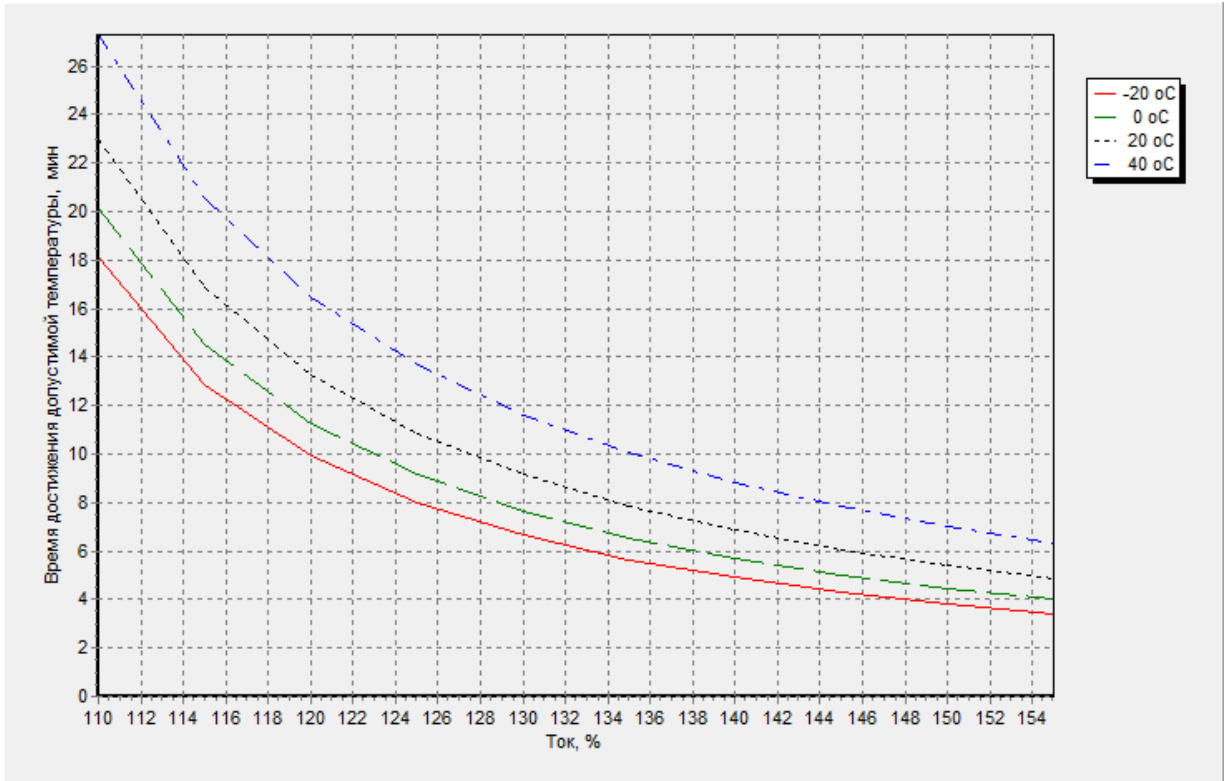
## AC-500/64



## AC-500/204



## AC-500/336



### **Максимальные значения длительно и аварийно допустимых токов**

В качестве примера далее приведены максимальные значения длительно и аварийно допустимых токов для различных типов проводов при скорости ветра 0,6 м/с вдоль провода.

Таблицы применяются при отсутствии данных о скорости ветра. При наличии информации о скорости ветра допустимые токи рассчитываются по формулам, приведенным выше. Учет солнечной радиации выполняется в соответствии с рекомендациями п.6:

в весенне-летний период солнечная радиация учитывается с 6 часов до 20 часов; в осенне-зимний период с 9 часов до 16 часов; в остальное время суток, а также при сильной облачности считается, что мощность солнечной радиации равна нулю.

Значения допустимых токов для промежуточных значений температуры воздуха могут определяться линейной интерполяцией.



Допустимые токи для провода АС - 70/11  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	447	406
-15	435	393
-10	424	380
-5,0	413	368
0,0	401	353
5,0	388	339
10,0	375	324
15,0	362	308
20,0	348	291
25,0	334	273
30,0	319	254
35,0	304	234
40,0	288	212
Без учета солнечной радиации		
-20	461	423
-15	450	410
-10	438	397
-5,0	427	384
0,0	415	371
5,0	403	357
10,0	391	342
15,0	378	327
20,0	365	312
25,0	351	295
30,0	337	278
35,0	323	260
40,0	307	240

Допустимые токи для провода АС - 70/72  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	496	449
-15	482	433
-10	469	419

-5,0	457	406
0,0	443	390
5,0	429	373
10,0	415	356
15,0	400	339
20,0	385	320
25,0	369	300
30,0	353	279
35,0	335	256
40,0	317	232
Без учета солнечной радиации		
-20	513	469
-15	499	454
-10	487	440
-5,0	474	426
0,0	461	411
5,0	448	396
10,0	434	380
15,0	420	363
20,0	405	345
25,0	390	327
30,0	375	308
35,0	358	288
40,0	341	266

Допустимые токи для провода АС - 95/16  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	559	508
-15	545	492
-10	531	475
-5,0	517	460
0,0	502	442
5,0	486	423
10,0	470	404
15,0	453	384
20,0	436	363
25,0	418	341
30,0	400	317
35,0	380	291

40,0	359	264
Без учета солнечной радиации		
-20	578	530
-15	564	514
-10	550	498
-5,0	536	482
0,0	521	465
5,0	506	447
10,0	490	429
15,0	474	410
20,0	458	391
25,0	441	370
30,0	423	348
35,0	405	325
40,0	386	301

Допустимые токи для провода АС - 95/141  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	632	571
-15	614	551
-10	596	531
-5,0	580	512
0,0	561	491
5,0	542	469
10,0	523	446
15,0	503	423
20,0	483	398
25,0	462	372
30,0	443	348
35,0	421	319
40,0	398	288
Без учета солнечной радиации		
-20	655	598
-15	637	579
-10	620	560
-5,0	603	540
0,0	585	520
5,0	567	499
10,0	549	478

15,0	530	456
20,0	510	433
25,0	491	410
30,0	473	388
35,0	452	362
40,0	431	335

Допустимые токи для провода АС - 120/19  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	647	586
-15	629	565
-10	612	547
-5,0	596	529
0,0	579	509
5,0	561	488
10,0	542	465
15,0	523	442
20,0	503	418
25,0	482	392
30,0	460	364
35,0	438	335
40,0	414	302
Без учета солнечной радиации		
-20	669	611
-15	651	592
-10	635	575
-5,0	619	556
0,0	602	536
5,0	584	516
10,0	566	495
15,0	548	474
20,0	529	451
25,0	509	427
30,0	489	402
35,0	468	375
40,0	445	347

Допустимые токи для провода АС - 120/27  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	645	584
-15	627	564
-10	610	545
-5,0	594	527
0,0	577	507
5,0	559	486
10,0	540	464
15,0	521	440
20,0	501	416
25,0	480	390
30,0	459	363
35,0	436	333
40,0	413	301
Без учета солнечной радиации		
-20	667	610
-15	650	590
-10	633	573
-5,0	616	554
0,0	600	535
5,0	582	514
10,0	564	494
15,0	546	472
20,0	527	449
25,0	507	426
30,0	487	401
35,0	466	374
40,0	444	346

Допустимые токи для провода АС - 150/19  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	752	681
-15	731	657
-10	710	633

-5,0	690	611
0,0	668	586
5,0	649	563
10,0	627	538
15,0	605	511
20,0	581	482
25,0	557	452
30,0	532	420
35,0	506	386
40,0	479	348
Без учета солнечной радиации		
-20	778	711
-15	758	689
-10	738	666
-5,0	717	643
0,0	696	619
5,0	677	598
10,0	656	573
15,0	635	548
20,0	613	522
25,0	590	494
30,0	566	465
35,0	542	435
40,0	516	401

Допустимые токи для провода АС - 150/24  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	759	759
-15	738	738
-10	717	717
-5,0	697	617
0,0	675	591
5,0	654	568
10,0	632	542
15,0	610	515
20,0	586	486
25,0	562	456
30,0	537	424
35,0	510	389

40,0	483	351
Без учета солнечной радиации		
-20	786	718
-15	765	695
-10	745	672
-5,0	724	649
0,0	702	625
5,0	683	603
10,0	662	578
15,0	640	553
20,0	618	527
25,0	595	499
30,0	571	469
35,0	546	438
40,0	521	405

Допустимые токи для провода АС - 150/34  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	761	688
-15	739	664
-10	718	640
-5,0	698	617
0,0	676	592
5,0	653	566
10,0	632	542
15,0	610	515
20,0	586	486
25,0	562	456
30,0	537	424
35,0	510	389
40,0	483	351
Без учета солнечной радиации		
-20	787	719
-15	767	697
-10	746	673
-5,0	725	650
0,0	704	626
5,0	682	601
10,0	662	579

15,0	641	553
20,0	618	527
25,0	595	499
30,0	572	470
35,0	547	439
40,0	521	405

Допустимые токи для провода АС - 185/24  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	887	802
-15	862	774
-10	837	746
-5,0	814	719
0,0	788	690
5,0	762	659
10,0	734	627
15,0	707	594
20,0	681	564
25,0	653	529
30,0	623	491
35,0	592	450
40,0	560	406
Без учета солнечной радиации		
-20	919	839
-15	895	813
-10	870	785
-5,0	846	758
0,0	821	730
5,0	796	701
10,0	770	671
15,0	743	640
20,0	719	612
25,0	692	580
30,0	665	546
35,0	636	510
40,0	606	471



Допустимые токи для провода АС - 185/29  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	871	788
-15	847	760
-10	822	733
-5,0	800	707
0,0	774	678
5,0	748	647
10,0	722	616
15,0	694	584
20,0	669	554
25,0	641	520
30,0	612	483
35,0	582	443
40,0	550	399
Без учета солнечной радиации		
-20	902	824
-15	879	798
-10	855	772
-5,0	831	745
0,0	807	717
5,0	782	688
10,0	756	659
15,0	730	629
20,0	706	602
25,0	680	570
30,0	653	536
35,0	625	501
40,0	595	463

Допустимые токи для провода АС - 185/43  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	897	811
-15	872	782
-10	846	754

-5,0	823	727
0,0	797	697
5,0	770	666
10,0	743	634
15,0	715	601
20,0	686	566
25,0	656	529
30,0	629	495
35,0	598	454
40,0	565	409
Без учета солнечной радиации		
-20	929	849
-15	905	822
-10	880	794
-5,0	856	766
0,0	830	738
5,0	805	709
10,0	779	679
15,0	752	647
20,0	725	615
25,0	696	582
30,0	671	551
35,0	642	514
40,0	612	475

Допустимые токи для провода АС - 185/128  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	957	864
-15	930	834
-10	903	803
-5,0	878	775
0,0	850	743
5,0	821	709
10,0	792	675
15,0	762	639
20,0	731	602
25,0	699	562
30,0	666	520
35,0	632	475

40,0	595	426
Без учета солнечной радиации		
-20	993	906
-15	967	877
-10	941	848
-5,0	914	818
0,0	887	788
5,0	860	756
10,0	832	724
15,0	803	691
20,0	774	657
25,0	744	621
30,0	713	583
35,0	681	543
40,0	647	501

Допустимые токи для провода АС - 240/32  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	1065	962
-15	1035	928
-10	1005	894
-5,0	977	863
0,0	946	827
5,0	914	790
10,0	882	752
15,0	848	712
20,0	814	670
25,0	778	627
30,0	742	580
35,0	703	530
40,0	663	476
Без учета солнечной радиации		
-20	1104	1008
-15	1075	976
-10	1046	943
-5,0	1017	910
0,0	987	876
5,0	956	842
10,0	925	806

15,0	893	769
20,0	861	731
25,0	827	691
30,0	793	649
35,0	757	604
40,0	720	557

Допустимые токи для провода АС - 240/39  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	1052	950
-15	1023	917
-10	993	883
-5,0	965	852
0,0	934	817
5,0	903	780
10,0	871	743
15,0	838	703
20,0	804	662
25,0	769	619
30,0	733	573
35,0	695	524
40,0	655	470
Без учета солнечной радиации		
-20	1091	996
-15	1062	964
-10	1033	932
-5,0	1004	899
0,0	975	866
5,0	945	831
10,0	914	796
15,0	883	759
20,0	850	722
25,0	817	682
30,0	783	641
35,0	748	597
40,0	711	551

Допустимые токи для провода АС - 300/39  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	1234	1114
-15	1199	1075
-10	1164	1035
-5,0	1132	999
0,0	1096	957
5,0	1059	914
10,0	1021	870
15,0	982	823
20,0	942	775
25,0	901	724
30,0	858	670
35,0	814	612
40,0	767	549
Без учета солнечной радиации		
-20	1280	1168
-15	1247	1131
-10	1213	1093
-5,0	1179	1055
0,0	1144	1016
5,0	1109	975
10,0	1073	934
15,0	1036	891
20,0	998	846
25,0	959	800
30,0	919	752
35,0	878	700
40,0	835	646

Допустимые токи для провода АС - 300/48  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	1230	1110
-15	1195	1071
-10	1160	1031

-5,0	1128	995
0,0	1092	954
5,0	1055	911
10,0	1017	867
15,0	979	821
20,0	939	772
25,0	898	722
30,0	855	668
35,0	811	610
40,0	765	547
Без учета солнечной радиации		
-20	1276	1164
-15	1243	1127
-10	1209	1090
-5,0	1175	1051
0,0	1140	1012
5,0	1105	972
10,0	1069	930
15,0	1032	888
20,0	995	843
25,0	956	797
30,0	916	749
35,0	875	698
40,0	832	643

Допустимые токи для провода АС - 300/66  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	1220	1101
-15	1185	1062
-10	1150	1023
-5,0	1119	987
0,0	1083	946
5,0	1046	903
10,0	1009	859
15,0	971	813
20,0	931	766
25,0	890	715
30,0	848	662
35,0	804	605

40,0	758	542
Без учета солнечной радиации		
-20	1266	1155
-15	1232	1118
-10	1199	1081
-5,0	1165	1043
0,0	1131	1004
5,0	1096	964
10,0	1060	923
15,0	1024	880
20,0	987	836
25,0	948	791
30,0	909	743
35,0	868	692
40,0	825	638

Допустимые токи для провода АС - 300/67  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	1214	1095
-15	1179	1057
-10	1145	1018
-5,0	1113	982
0,0	1078	941
5,0	1041	899
10,0	1004	855
15,0	966	810
20,0	927	762
25,0	886	712
30,0	844	659
35,0	800	602
40,0	754	539
Без учета солнечной радиации		
-20	1259	1149
-15	1226	1112
-10	1193	1075
-5,0	1159	1037
0,0	1125	999
5,0	1091	959
10,0	1055	918

15,0	1019	876
20,0	982	832
25,0	944	787
30,0	904	739
35,0	863	689
40,0	821	635

Допустимые токи для провода АС - 300/204  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	1328	1197
-15	1291	1155
-10	1252	1112
-5,0	1218	1073
0,0	1179	1028
5,0	1139	981
10,0	1098	933
15,0	1056	883
20,0	1013	831
25,0	968	776
30,0	922	717
35,0	874	654
40,0	823	586
Без учета солнечной радиации		
-20	1380	1258
-15	1344	1218
-10	1307	1177
-5,0	1270	1136
0,0	1233	1093
5,0	1195	1050
10,0	1156	1005
15,0	1116	959
20,0	1075	911
25,0	1033	861
30,0	990	809
35,0	946	753
40,0	899	694



Допустимые токи для провода АС - 330/30  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	1319	1191
-15	1282	1149
-10	1245	1106
-5,0	1210	1067
0,0	1171	1023
5,0	1132	977
10,0	1091	929
15,0	1050	880
20,0	1007	828
25,0	963	774
30,0	917	716
35,0	870	654
40,0	820	586
Без учета солнечной радиации		
-20	1369	1249
-15	1333	1209
-10	1297	1169
-5,0	1261	1128
0,0	1223	1086
5,0	1186	1043
10,0	1147	998
15,0	1108	952
20,0	1067	905
25,0	1026	855
30,0	983	803
35,0	939	749
40,0	893	690

Допустимые токи для провода АС - 330/43  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	1320	1191
-15	1283	1150
-10	1245	1107

-5,0	1211	1068
0,0	1172	1023
5,0	1133	977
10,0	1092	930
15,0	1051	880
20,0	1008	829
25,0	964	774
30,0	918	716
35,0	870	654
40,0	820	586
Без учета солнечной радиации		
-20	1370	1250
-15	1335	1210
-10	1298	1170
-5,0	1262	1129
0,0	1224	1087
5,0	1187	1043
10,0	1148	999
15,0	1109	953
20,0	1068	906
25,0	1027	856
30,0	984	804
35,0	939	749
40,0	893	691

Допустимые токи для провода АС - 400/18  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	1428	1288
-15	1388	1243
-10	1347	1197
-5,0	1310	1155
0,0	1268	1106
5,0	1225	1057
10,0	1181	1005
15,0	1136	952
20,0	1090	896
25,0	1042	837
30,0	993	774
35,0	941	707

40,0	887	633
Без учета солнечной радиации		
-20	1483	1352
-15	1444	1309
-10	1405	1266
-5,0	1365	1221
0,0	1325	1175
5,0	1284	1129
10,0	1242	1081
15,0	1199	1031
20,0	1156	979
25,0	1111	926
30,0	1064	870
35,0	1016	810
40,0	966	747

Допустимые токи для провода АС - 400/22  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	1470	1326
-15	1428	1279
-10	1386	1232
-5,0	1348	1188
0,0	1305	1138
5,0	1261	1087
10,0	1215	1034
15,0	1169	979
20,0	1122	921
25,0	1072	861
30,0	1021	796
35,0	968	727
40,0	913	651
Без учета солнечной радиации		
-20	1526	1392
-15	1486	1348
-10	1446	1303
-5,0	1405	1257
0,0	1364	1210
5,0	1321	1162
10,0	1278	1112

15,0	1234	1061
20,0	1189	1008
25,0	1143	953
30,0	1095	895
35,0	1046	834
40,0	995	769

Допустимые токи для провода АС - 400/51  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	1490	1343
-15	1447	1296
-10	1405	1248
-5,0	1366	1204
0,0	1322	1153
5,0	1277	1101
10,0	1232	1048
15,0	1185	992
20,0	1136	933
25,0	1087	871
30,0	1035	806
35,0	981	736
40,0	924	659
Без учета солнечной радиации		
-20	1547	1411
-15	1506	1366
-10	1466	1320
-5,0	1424	1274
0,0	1382	1226
5,0	1339	1177
10,0	1296	1127
15,0	1251	1075
20,0	1206	1022
25,0	1159	966
30,0	1110	907
35,0	1060	845
40,0	1008	779

Допустимые токи для провода АС - 400/64  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	1494	1347
-15	1452	1300
-10	1409	1251
-5,0	1370	1207
0,0	1326	1157
5,0	1281	1104
10,0	1235	1050
15,0	1188	994
20,0	1140	936
25,0	1090	874
30,0	1038	808
35,0	984	737
40,0	927	660
Без учета солнечной радиации		
-20	1551	1415
-15	1511	1370
-10	1470	1324
-5,0	1428	1277
0,0	1386	1230
5,0	1343	1181
10,0	1300	1130
15,0	1255	1078
20,0	1209	1025
25,0	1162	968
30,0	1114	910
35,0	1063	847
40,0	1011	781

Допустимые токи для провода АС - 400/93  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	1555	1402
-15	1511	1352
-10	1467	1302

-5,0	1426	1256
0,0	1380	1203
5,0	1333	1149
10,0	1286	1093
15,0	1237	1034
20,0	1186	973
25,0	1134	909
30,0	1080	840
35,0	1023	766
40,0	964	686
Без учета солнечной радиации		
-20	1616	1473
-15	1573	1426
-10	1531	1378
-5,0	1487	1330
0,0	1444	1280
5,0	1399	1229
10,0	1353	1177
15,0	1307	1123
20,0	1259	1067
25,0	1210	1008
30,0	1160	947
35,0	1107	882
40,0	1053	813

Допустимые токи для провода АС - 450/56  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	1594	1437
-15	1549	1386
-10	1503	1334
-5,0	1461	1287
0,0	1414	1233
5,0	1366	1178
10,0	1317	1120
15,0	1267	1060
20,0	1215	997
25,0	1162	931
30,0	1107	861
35,0	1049	786

40,0	988	703
Без учета солнечной радиации		
-20	1656	1509
-15	1612	1461
-10	1568	1412
-5,0	1524	1363
0,0	1479	1312
5,0	1433	1260
10,0	1387	1206
15,0	1339	1150
20,0	1290	1093
25,0	1240	1033
30,0	1188	970
35,0	1135	904
40,0	1079	833

Допустимые токи для провода АС -500/26  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	1739	1567
-15	1690	1512
-10	1640	1456
-5,0	1595	1404
0,0	1543	1345
5,0	1491	1284
10,0	1438	1221
15,0	1383	1156
20,0	1326	1088
25,0	1268	1015
30,0	1207	939
35,0	1144	856
40,0	1078	766
Без учета солнечной радиации		
-20	1807	1648
-15	1760	1595
-10	1712	1542
-5,0	1664	1487
0,0	1615	1432
5,0	1565	1375
10,0	1514	1316

15,0	1462	1255
20,0	1408	1193
25,0	1354	1127
30,0	1297	1059
35,0	1238	986
40,0	1178	909

Допустимые токи для провода АС -500/27  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	1697	1529
-15	1649	1475
-10	1600	1420
-5,0	1556	1370
0,0	1506	1313
5,0	1455	1253
10,0	1402	1192
15,0	1349	1128
20,0	1294	1061
25,0	1237	991
30,0	1178	916
35,0	1116	836
40,0	1052	748
Без учета солнечной радиации		
-20	1763	1607
-15	1717	1556
-10	1670	1504
-5,0	1623	1451
0,0	1575	1397
5,0	1526	1341
10,0	1477	1284
15,0	1426	1225
20,0	1374	1164
25,0	1320	1100
30,0	1265	1033
35,0	1208	962
40,0	1149	887



Допустимые токи для провода АС -500/64  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	1738	1566
-15	1689	1511
-10	1639	1455
-5,0	1594	1403
0,0	1543	1344
5,0	1490	1284
10,0	1437	1221
15,0	1382	1155
20,0	1325	1087
25,0	1267	1014
30,0	1207	938
35,0	1143	855
40,0	1077	765
Без учета солнечной радиации		
-20	1807	1647
-15	1760	1594
-10	1712	1541
-5,0	1663	1487
0,0	1614	1431
5,0	1564	1374
10,0	1513	1315
15,0	1461	1255
20,0	1408	1192
25,0	1353	1127
30,0	1297	1058
35,0	1238	986
40,0	1177	909

Допустимые токи для провода АС -500/204  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	1825	1643
-15	1773	1585
-10	1721	1525

-5,0	1673	1471
0,0	1619	1409
5,0	1564	1345
10,0	1508	1279
15,0	1450	1210
20,0	1390	1138
25,0	1329	1062
30,0	1265	981
35,0	1199	894
40,0	1129	799
Без учета солнечной радиации		
-20	1643	1729
-15	1585	1674
-10	1525	1618
-5,0	1747	1561
0,0	1696	1502
5,0	1643	1443
10,0	1590	1381
15,0	1535	1317
20,0	1479	1251
25,0	1421	1183
30,0	1362	1111
35,0	1300	1035
40,0	1236	954

Допустимые токи для провода АС -500/336  
при скорости ветра 0,6 м/с, направленного вдоль линии

Температура воздуха, °С	Аварийно допустимый ток, А	Длительно допустимый ток, А
С учетом солнечной радиации (чистый воздух)		
-20	1888	1698
-15	1834	1638
-10	1780	1577
-5,0	1731	1521
0,0	1675	1456
5,0	1617	1390
10,0	1559	1321
15,0	1499	1250
20,0	1438	1175
25,0	1374	1096
30,0	1308	1013
35,0	1239	922

40,0	1167	823
Без учета солнечной радиации		
-20	1965	1789
-15	1913	1732
-10	1861	1674
-5,0	1809	1615
0,0	1755	1554
5,0	1701	1492
10,0	1645	1429
15,0	1589	1363
20,0	1531	1295
25,0	1471	1223
30,0	1409	1149
35,0	1346	1070
40,0	1280	986