Министерство энергетики и электрификации СССР
Главэнергопроект
Ордена Октябрьской революции ЭПИ и НИИ
Энергосетьпроект
Среднеазиатское отделение

Временные руководящие указания по расчету монтажных напряжений и стрел провеса проводов и тросов воздушных линий электропередачи с учетом остаточных деформаций

Том II

Пояснительная записка

Инв. № 3471-тм-т2

Главный инженер Бурнашев

Нач. технического отдела А. Турист

Зав. лабораторией горных линий электропередачи Л. Кесельман

Рук. группы Л. Яновский

Ташкент, 1976

gost.e-ecolog.ru

Министерство энергетики и электрификации СССР
Главэнергопроект
Ордена Октябрьской революции ЮГПИ и НИИ
Энергосетьпроект
Среднеазиатское отделение

Временные руководящие указания по расчету монтажных напряжений и стрел провеса проводов и тросов воздушных линий электропередачи с учетом остаточных деформаций

Том II

Пояснительная записка

Инв. № 3471-тм-т2

Главный инженер Бурмакин

Нач.технического отдела А. Турист

Зав.лабораторией горных линий электропередачи Л.Кесельман

Рук.группы Л.Яновский

Ташкент, 1976

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
I. Введение	4
2. Нагрузочно-разгрузочная диаграмма растяжения провода	8
3. Вывод расчетных формул	I3
4. О максимальных деформациях по кучности и ее интенсивности	I8
5. Параметр Кр	22
6. Перегрузка провода	24
7. Анализ коэффициентов перетяжки и перегрузки проводов	30
ЛИТЕРАТУРА	38

Инв. № 3471тм-т2-4

I. Введение

Метод механического расчета проводов и грозозащитных тросов (далее "проводов") воздушных линий электропередачи, применяемый в Советском Союзе, основан на предположении, что они обладают только упругими свойствами, благодаря которым имеет место прямая пропорциональность между напряжением в поперечном сечении провода и его относительным удлинением.

В действительности в процессе монтажа и эксплуатации проводов проявляются остаточные деформации, обусловленные:

а) обжатием повивов провода при приложении продольных усилий,

б) свойством неупругости металлов, проявляющимся практически мгновенно при нагрузке провода,

в) свойством ползучести алюминия и других цветных металлов, которое приводит к остаточным удлинениям провода после длительного приложения растягивающей силы.

Вследствие остаточных деформаций напряжения в проводе уменьшаются, а стрелы провеса соответственно увеличиваются, по сравнению с рассчитанными лишь с учетом упругих деформаций, что нарушает габариты от проводов до земли и пересекаемых сооружений.

В Советском Союзе на ряде линий электропередачи, смонтированных без учета остаточных деформаций, выявлялись недостаточные габариты от проводов до земли, что потребовало перемонтажа проводов.

Аналогичные явления имели место за рубежом. В [д.9] отмечаются тяжелые последствия произошедшей в США аварии с прекращением электроснабжения 13 млн.потребителей из-за перекрытия проводов перегруженной магистральной линии с проводами пересекаемой линии, причиной которого явилась неучтенная деформация проводов.

Исследование ползучести проводов в лабораторных условиях и на реальных пролетах показывает, что этот процесс продолжается весьма длительное время, причем наиболее интенсивно он протекает сразу

после монтажа провода и тем быстрее, чем больше напряжение в проводе, затухая с течением времени по экспоненциальному закону. На основании зарубежных исследований группа 05 СИГРЭ [л.8], разработавшая метод определения остаточных деформаций проводов в процессе эксплуатации, считает, что эти деформации продолжаются в течение всего срока службы линии электропередачи.

С целью компенсации остаточных деформаций проводов применяются различные мероприятия. В СССР осуществлялась перетяжка сталеалюминиевых проводов при монтаже (уменьшение стрел провеса) в размере 10–12%, как рекомендовано в книге Глазунова А.А. "Основы механической части ВЛ", т.I, 1956 г. В последующие годы эта величина принималась в размере 5–7%, как рекомендовалось в эталоне рабочих чертежей ВЛ. В Великобритании [л.9] на ЛЭП сверхвысокого напряжения производилась перетяжка проводов на 8–15% и дополнительно предусматривался запас габарита величиной 0,6 – 0,9 м. Эффективным средством уменьшения остаточных деформаций на действующей линии является предварительная вытяжка проводов до их монтажа. Предварительная вытяжка производится путем приложения к проводу тяжения в течение определенного срока. В [л.11] отмечается положительный опыт предварительной вытяжки проводов расщепленной фазы приложением максимального тяжения в течение трех суток.

В [л.10] описывается опыт предварительной вытяжки тяжением, равным 133% от максимального с выдержкой времени в течение 30 мин.

Перечисленные меры не отвечают требованиям надежной эксплуатации ВЛ, так как они основаны на частном опыте с конкретными проводами в определенных условиях и в большинстве случаев соответствуют случайным величинам компенсации остаточных деформаций.

В течение ряда лет разрабатывались аналитические методы расчета пластических деформаций и соответствующие им способы монтажа проводов. Они основывались на экспериментальных исследованиях ползучести проводов различных конструкций в течение длительного времени.

В США [л.6] распространен опыт Бонневильской энергосистемы, основанный на зависимости удлинений ползучести провода от времени вида

$$\varepsilon = FT^{n} \qquad (1)$$

где ε – относительное удлинение провода,

F – относительное удлинение за начальный отрезок времени,

T – время,

n – показатель степени.

Коэффициенты F и n, зависящие от конструкции и материала провода устанавливаются в результате лабораторных испытаний. Вычисленные удлинения учитываются при корректировке стрел провеса на реальных линиях. Опыт США положен в основу рекомендованного СИГРЭ метода определения остаточных деформаций проводов [л.8]. К аналогичной зависимости удлинений ползучести проводов от времени приводят исследования в ФРГ [л.12].

Предлагались и другие зависимости, например [л.13] :

$$\varepsilon = \kappa H^{m} T^{n}, \qquad (2)$$

отличающаяся от (1) дополнительным аргументом H-величиной тяжения. Зависимость (2) позволяет определять размеры деформаций в период раскатки провода, когда тяжение ослаблено, и в последующие периоды после регулирования стрел провеса, когда тяжение равно монтажному.

Достоинством аналитических методов определения остаточных деформаций является возможность прогнозирования их величины в течение всего срока службы линии, выработки способов монтажа, достаточно точно учитывающих размеры этих деформаций как в процессе монтажа, так и во время эксплуатации ВЛ.

Недостатком аналитических методов является необходимость иметь экспериментальные данные об остаточных деформациях проводов всех конструкций, получаемые в результате длительных испытаний. Авторами изложенных методов отмечается, что получение надежных экспериментальных

данных требует длительности испытаний образцов проводов от 2000 до 20000 часов.

В СССР аналитический метод учета остаточных деформаций проводов был впервые предложен Отделением дальних передач "Теплоэлектропроекта" при проектировании ВЛ 400 кВ Куйбышевская ГЭС – Москва.

Он основан на использовании понятия монтажного модуля упругости $E_м$, величина которого меньше устанавливающегося модуля упругости провода E, и остаточного удлинения от ползучести ε_s. Расчет приводит к некоторой перетяжке провода за счет сокращения длины провода в пролете на величину, соответствующую ε_s и разности относительных удлинений, определяемых модулями $E_м$ и E. Этот метод сыграл положительную роль, обеспечив приемлемую точность монтажа проводов ВЛ 330 и 500 кВ с расщепленными фазами.

Настоящие руководящие указания основаны на дальнейшем усовершенствовании аналитического метода учета остаточных деформаций проводов. Только аналитический метод позволяет учесть большое разнообразие условий, определяющих величину таких деформаций: конструкцию и материал проводов, условия монтажа, величину пролета и расчетные климатические условия.

Метод заключается в следующем: рассчитываются монтажные напряжения и стрелы провеса в проводе каждого анкерованного участка с таким расчетом, чтобы после деформаций провода за весь срок его работы стрелы провеса стали бы равными установившимся, т.е. соответствующим систематическому механическому расчету для данных условий.

При этом предполагается, что все провода в пределах анкерованного участка монтируются по одинаковой технологической схеме, т.е. каждый провод до момента регулирования стрел провеса находился в одинаковом положении одно и то же время, благодаря чему последующая деформация проводов будет одинаковой.

В основу количественных рекомендаций настоящих руководящих указаний положены имеющиеся экспериментальные данные по деформациям

проводов в Советском Союзе и некоторые материалы из зарубежных исследований.

В связи с тем, что испытания проводов в СССР проводились на проводах ранее действовавшего ГОСТ 839-59, что при этом каждая ступень тяжения выдерживалась короткий период (10-30 дней), настоящие рекомендации являются временными и подлежат корректировке по мере накопления новых данных о поведении проводов с учетом длительного воздействия тяжений.

2. Нагрузочно-разгрузочная диаграмма растяжения провода.

Для вывода уравнений по расчету проводов с учетом остаточных деформаций используется диаграмма растяжения.

Экспериментальные исследования деформаций провода под воздействием растягивающей силы [1,2,3] показывают, что как нагрузочные так и разгрузочные характеристики диаграммы растяжения в системе координат $\sigma - \varepsilon$ (рис.1) близки к прямолинейным в пределах нормируемых ПУЭ уровней напряжений в проводах.

Характеристика 0-1 представляет собой нагрузочную характеристику начального нагружения, получаемую при испытаниях, если на каждом уровне напряжения измерять удлинения провода без выдержки времени.

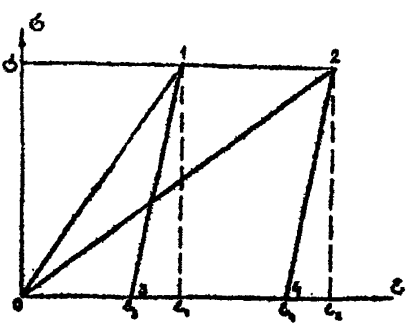


Рис. 1

Характеристика 0–2 представляет собой нагрузочную характеристику предельного растяжения, получаемую при испытаниях, если каждый новый уровень напряжения выдерживать очень длительное время, после чего измерять соответствующие удлинения провода.

Характеристики 1–3 и 2–4 являются разгрузочными характеристиками, получающимися при снижении напряжения в проводе. Наиболее полно нагрузочно–разгрузочная диаграмма описана в [л.2].

Если провод быстро нагрузить до уровня σ то его удлинение будет соответствовать отрезку $0-\varepsilon_1$ (см.рис.1), после же разгрузки – отрезку $0-\varepsilon_3$. Остаточное (необратимое) удлинение провода $0-\varepsilon_3$ вызывается неупругостью материала провода.

При длительном приложении напряжения величиной σ провод получит дополнительное удлинение, соответствующее отрезку 1–2, полное его удлинение будет соответствовать отрезку $0-\varepsilon_2$, а после разгрузки – отрезку $0-\varepsilon_4$. Дополнительное остаточное удлинение провода $\varepsilon_3-\varepsilon_4$ сверх неупругого вызывается ползучестью материала провода. Повторное повышение уровня напряжения в проводе в пределах от 0 до σ вызовет лишь упругое удлинение, соответствующее ветвям диаграммы 3–1 и 4–2.

Если провод подвергать растяжению с различными выдержками времени на разных уровнях σ то диаграмма процесса будет иметь вид рис.2.

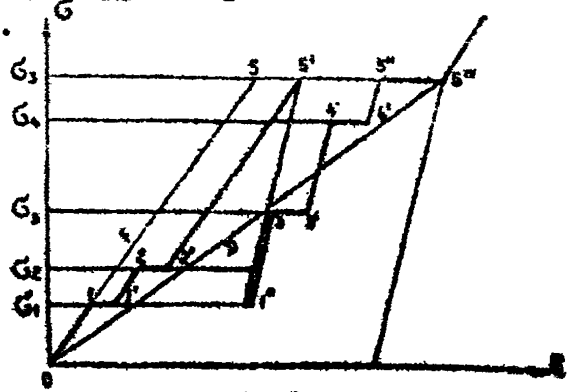


Рис.2

Приложим к проводу растягивающую силу, соответствующую напряжению σ_1, тогда его удлинение будет соответствовать точке I; если далее сохранять неизменным напряжение σ_1 в течение некоторого времени, удлинение проводов достигнет точки I'; подняв напряжение до уровня σ_2, получим удлинение в проводе, соответствующее точке 2, причем линия I'-2 параллельна характеристике начального нагружения 0-5; отрезок 2-2' - это удлинение за некоторое время действия напряжения σ_2; отрезок 2'-5' соответствует быстрому подъему уровня напряжения от σ_2 до σ_3.

Если провод после этого разгрузить до уровня σ_1 то его удлинение будет соответствовать точке I", причем отрезок 5'-I" соответствует разгрузочной ветви диаграммы. При повторном нагружении, например, до уровня σ_3 удлинение провода будет соответствовать точке 3 разгрузочной характеристики, а при сохранении длительно напряжения σ_3 дополнительное удлинение провода составит отрезок 3-3'.

При дальнейших повышениях нагрузки до уровня σ_5 удлинения будут соответствовать точкам на разгрузочной ветви (отрезки 3'-4 и 4'-5"), а при длительной выдержке определенного напряжения удлинения будут выражаться горизонтальными отрезками (4-4', 5"-5"'). При дальнейшем быстром увеличении напряжения сверх σ_5 провод снова будет удлиняться соответственно ветви начального нагружения.

На любом уровне σ сумма горизонтальных отрезков представляет собой остаточные удлинения ползучести; она не может превышать горизонтального отрезка между ветвями начального и предельного растяжения.

Остаточные удлинения неупругости равны отрезку между прямой начального растяжения и разгрузочной ветвью, если пересечение этих прямых совмещено с уровнем наибольшего напряжения, которое испытал провод, а горизонтальные отрезки (удлинения ползучести) приравнены к нулю.

Таким образом, если неупругие удлинения проявляются практически мгновенно (так же, как и упругие), то удлинения ползучести проявляются медленно и, следовательно, зависят от длительности приложения нагрузки.

В первоначальных советских испытаниях [д.1] на образцах старых марок проводов было установлено, что основная часть удлинений ползучести реализуется в течение 4-5 суток. В исследованиях ВНИИЭ последних лет [д.3] окончание процесса вытяжки провод фиксировалось за время от 10 дней до 1 мес. после приложения данного напряжения. В зарубежных исследованиях [д.6,7,12] установлена закономерность величины вытяжки провода во времени, имеющая экспоненциальный характер, т.е. деформация ползучести предполагается возможной в течение десятков лет, но ее интенсивность резко уменьшается по мере увеличения времени приложения растягивающей силы.

Величина суммарных остаточных удлинений (0-$\varepsilon_{ост}$ на рис.1) которую провод получит в процессе эксплуатации ВЛ, зависит от того, какое остаточное удлинение получил провод до момента его закрепления на опорах, а также от уровня напряжения, которое провод будет испытывать во время дальнейшей эксплуатации и от свойств провода, т.е. наклона характеристик 0-1, 0-2 и 2-4 на диаграмме $\sigma - \varepsilon$ (рис.1).

Эти факторы будут рассмотрены в §§ 4,5.

В дальнейшем для составления уравнений состояния провода необходимо иметь количественные характеристики нагрузочно-разгрузочной диаграммы. Наиболее удобными для расчета являются параметры, характеризующие наклон различных ветвей диаграммы, предложенные в [д.2].

Наклон разгрузочной ветви, как известно, характеризуется модулем упругости E. Аналогично, наклон нагрузочных ветвей характеризуется параметрами, названными Ф.П.Матвеевым модулем неупругости F (для ветви начального нагружения) и модулем релаксации D (для ветви конечного нагружения). Так как эти термины не являются

общепринятыми, в РУ приняты названия модулей: модуля начального и предельного растяжения. Преимуществом этих параметров является возможность их аналитического определения для комбинированных проводов например, сталеалюминиевых в целом по модулям компонентов, не имея экспериментальных диаграмм растяжения провода, по формулам [л.2]:

$$E = \frac{E_c + \kappa E_a}{1+\kappa} \qquad (3)$$

$$F = \frac{F_c + \kappa F_a}{1+\kappa} \qquad (4)$$

$$D = \frac{D_c + \kappa D_a}{1+\kappa}, \qquad (5)$$

где индексы "с" и "а" относятся соответственно к модулям стальных и алюминиевых проволок,

к – отношение сечений алюминия и стали.

В настоящих РУ используются равенства (3)-(5), в которых значения параметров алюминиевых и стальных проволок приняты на основании имеющихся экспериментальных данных и равны согласно [л.2] и [л.14]:

$E_c = 6{,}3 \cdot 10^3$ кгс/мм^2; $F_a = 5{,}4 \cdot 10^3$ кгс/мм^2;

$D_a = 4{,}0 \cdot 10^3$ кгс/мм^2 – для алюминиевых проволок диаметром менее либо равных 2,5 – 3 мм;

$D_a = 3{,}6 \cdot 10^3$ кгс/мм^2 – для алюминиевых проволок диаметром более 2,5 – 3 мм

(2,5 мм – в проводах по ГОСТ 839-74; 3 мм – в проводах по ГОСТ 839-59);

$E_c = 20 \cdot 10^3$ кгс/мм^2; $F_c = D_c = 18{,}9 \cdot 10^3$ кгс/мм^2.

Вычисленные по формулам (3)-(5) и осредненные значения модулей E, F, D приведены в таблице 1 РУ для проводов по ГОСТ 839-74 и

в табл.7 стр37 пояснительной записки для проводов по ГОСТ 839-69.

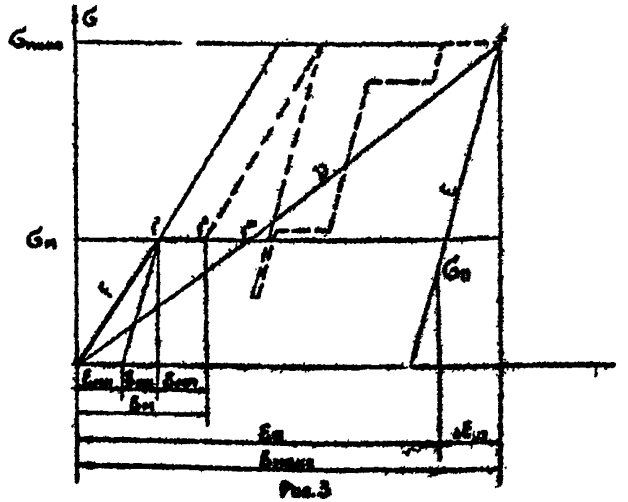
Модуля E в таблице I РУ скорректированы в соответствии с Решением № Э-12/75 ГТУЭЭ и директивным указанием института "Энергосетьпроект" № 26/I от 2/IX-1975 г.

Описанная диаграмма растяжения не может служить основой для вывода уравнений состояния по расчету проводов с учетом остаточных деформаций в особых гололедных районах, где допускается повышение максимального напряжения до 60% временного сопротивления и где необходимо учитывать нелинейные характеристики начального и предельного растяжения.

3. Вывод расчетных формул

Поскольку целью расчета является определение напряжений и стрел провеса провода при монтаже, то для вывода уравнения состояния необходимо связать два состояния провода: при монтаже, и при эксплуатации после полной реализации остаточных деформаций.

Для этого рассмотрим диаграмму рис.3



Допустим, нужно определить напряжение в проводе при монтаже учитывающее последующую деформацию провода. Расчетное напряжение определяемое по закону упругого удлинения по режиму наибольшего напряжения, известно и равно σ_n.

Длина провода в состояниях "м" и "$\cap$" при одной и той же температуре связывается уравнением

$$L_м = L_n(1 + \varepsilon_{мех})$$

где $\varepsilon_{мех}$ – разность относительных удлинений провода от механической силы в двух состояниях.

Однако, так как $\sigma_n = \widehat{\sigma} - \Delta\sigma_{nu}$ (рис.3), т.е. оно может быть выражено только через наибольшее удлинение $\widehat{\varepsilon}$ соответствующее режиму наибольшего напряжения (точка 2), то представляется возможным в уравнении состояния связывать режимы "м" и "$\cap$", не между собой, а с режимом максимума "$\frown$" (точкой 2). Тогда напряжение в режиме "$\cap$" определится по известному уравнению [а.5]:

$$\sigma_n - \frac{\gamma_n^2 l^2 E}{24\sigma_n^2} = \widehat{\sigma} - \frac{\widehat{\gamma}^2 l^2 E}{24\widehat{\sigma}^2} - \alpha E(t_n - \widehat{t}), \quad (6)$$

где знак "$\frown$" обозначает величины режима наибольшего напряжения. В правой части уравнения (6) могут использоваться также величины одного из исходных режимов.

Напряжение же в режиме монтажа найдем на основании равенства [а.4]

$$L_м = \widehat{L}(1 + \varepsilon_{мех} + \varepsilon_t), \quad (7)$$

где $$L_м = l + \frac{\gamma_м^2 l^3}{24\sigma_м^2},$$

$$\widehat{L} = l + \frac{\widehat{\gamma}^2 l^3}{24\widehat{\sigma}^2},$$

$\gamma_м$ – удельная нагрузка провода при монтаже, кгс/м·мм²;
$\bar{\gamma}$ – то же, в режиме наибольшего напряжения;
ℓ – длина пролета, м;

$$\varepsilon_{мех} = \varepsilon_м - \bar{\varepsilon}$$

$$\varepsilon_t = \alpha(t_м - t)$$

Выразим относительные удлинения от механических сил через параметры диаграммы растяжения.

На рис.3 следует:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\bar{\sigma}}{D}$$

$$\varepsilon_м = \varepsilon_{мн} + \varepsilon_{му} + \varepsilon_{мв}$$

Составляющая $\varepsilon_{мн}$ представляет собой неупругое удлинение (остаточное) на уровне напряжения $\sigma_м$, составляющая $\varepsilon_{му}$ – упругое удлинение при том же напряжении, их сумма равна

$$\varepsilon_{мн} + \varepsilon_{му} = \frac{\sigma_м}{E}$$

Составляющая $\varepsilon_{мп}$ – относительное удлинение ползучести, накопившееся к моменту монтажа (регулирования отрез провеса), оно равно

$$\varepsilon_{мп} = K_р \cdot \varepsilon_п ,$$

где $K_р$ – коэффициент реализации ползучести на момент монтажа;

ε_n – полное удлинение ползучести на уровне $\sigma_м$, которое равно отрезку I'-I° (см.рис.3).

Из рис. 3 следует, что

$$\varepsilon_n = \frac{\sigma_м}{D} - \frac{\sigma_м}{F} ,$$

тогда

$$\varepsilon_{мп} = \sigma_м K_p \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{F} \right)$$

Подставляя значения длин провода и полученные значения удлинений в (7) и пренебрегая малыми величинами высшего порядка, получим

$$\frac{\gamma_м^2 \ell^2}{24\sigma_м^2} = \frac{\hat{\gamma}^2 \ell^2}{24\hat{\sigma}^2} + \sigma_м \left[\frac{1}{F} + K_p \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{F} \right) \right] - \frac{\hat{\sigma}}{D} + \alpha (t_м - \hat{t})$$

Умножив левую и правую часть на D и перегруппировав члены, будем иметь

$$\sigma_м \left[\frac{D}{F} + K_p \left(1 - \frac{D}{F} \right) \right] - \frac{\gamma_м^2 \ell^2 D}{24\sigma_м^2} = \hat{\sigma} - \frac{\gamma^2 \ell^2 D}{24\hat{\sigma}^2} - \alpha D (t_м - \hat{t})$$

Обозначим

$$\Delta = \frac{D}{F} + K_p \left(1 - \frac{D}{F} \right) , \qquad (8)$$

тогда окончательный вид уравнения будет:

$$\sigma_м - \frac{\gamma_м^2 \ell^2 D}{24\sigma_м^2 \Delta} = \frac{1}{\Delta} \left[\hat{\sigma} - \frac{\hat{\gamma}^2 \ell^2 D}{24\hat{\sigma}^2} - \alpha D (t_м - \hat{t}) \right] \qquad (9).$$

По уравнению (9) определяется напряжение в проводе при монтаже с учетом остаточных деформаций.

Аналогично может быть получено уравнение для нахождения $\sigma_м$ по напряжению $\sigma_п$ установившегося режима после полной реализации остаточных деформаций провода. Оно имеет вид

$$\sigma_м - \frac{\gamma_м^2 \ell^2 D}{24\sigma_м^2 \Delta} = \frac{1}{\Delta}\left[\hat{\sigma} - \frac{D}{E}(\hat{\sigma} - \sigma_п) - \frac{\gamma_п^2 \ell^2 D}{24\sigma_п^2}\right]. \qquad (10)$$

В уравнении (10) отсутствует температурный член, так как температура в режимах "м" и "п" одна и та же.

Стрелы провеса провода рассчитываются по известным формулам: в установившемся режиме после полной реализации остаточных удлинений провода

$$f_п = \frac{\gamma_п \ell^2}{8\sigma_п}, \qquad (11)$$

в режиме монтажа

$$f_м = \frac{\gamma_м \ell^2}{8\sigma_м}. \qquad (12)$$

Так как нагрузка провода в обоих режимах соответствует лишь собственному весу, то

$$\gamma_п = \gamma_м = \gamma_1 .$$

Обращается особое внимание на то, что в (9) и (10) $\hat{\sigma}, \hat{\gamma}, \hat{t}$ соответствуют режиму наибольшего напряжения, а не исходному, и в зависимости от формы огибающей (см.рис.I РУ) могут соответствовать

параметрам:

а) $\hat{\gamma} = \gamma_r$, $\hat{t} = t_r$ – режим наибольшей нагрузки;

б) $\hat{\gamma} = \gamma_1$, $\hat{t} = t_-$ – режим наинизшей температуры

Вывод уравнений состояния для расчета напряжений с учетом остаточных деформаций и их вид могут быть выполнены другим способом, предложенным Ф.П.Матвеевым [л.15]. Вместо безразмерного коэффициента Δ Ф.П.Матвеевым предлагается использовать параметр "монтажный модуль" $F_м$, определяемый по формуле

$$F_м = \frac{F\mathbb{D}}{K_p F + (1-K_p)\mathbb{D}}.$$

Как нетрудно убедиться, коэффициент Δ и "монтажный модуль" $F_м$ связаны между собой соотношением $F_м \Delta = \mathbb{D}$. С помощью этого соотношения предлагаемые в настоящих РУ уравнения состояния могут быть приведены к виду в [л.15] и наоборот. В РУ отдано предпочтение уравнениям с безразмерным коэффициентом Δ, позволяющим отказаться от использования еще одного модуля и более приемлемым для расчетов в случае необходимости использования разных значений коэффициента реализации ползучести для различных условий монтажа.

4. О наибольших деформациях ползучести и ее интенсивности.

Все остаточное удлинение, которое провод получит во время эксплуатации, зависит от наклона характеристики растяжения, т.е. от параметров $E, F, \mathbb{D}$.

Эти параметры в свою очередь зависят от технологии производства проволок, конструкции проводов, шага скрутки, технологии производства проводов [л.8].

Многочисленные испытания проводов в СССР [л.3] позволяют считать характеристики E и F достаточно стабильными и принимать их значение однозначными.

Модуль упругости E определяется в процессе исследования зависимости ε от σ на проводе, ранее подвергнутом действию напряжения, большего чем σ, т.е. на его разгрузочной характеристике.

Модуль начального растяжения F также может быть определен при испытаниях путем быстрого приложения растягивающей силы.

Модуль предельного растяжения D определить наиболее сложно, так как он зависит от длительности приложения нагрузки каждой ступени при испытаниях.

Если D находить из соотношения (рис.I).

$$D = \frac{\sigma}{\sigma_2},$$

то представляется возможным сравнить данные различных испытаний.

По данным СЗО Энергосетьпроекта (инв.№ 1043тм-т1), основывающихся на результатах испытаний Л.В.Тороояна [л.1], параметр D (см.таблицу I) имеет наибольшее значение по сравнению с данными других исследований, что легко объяснимо, если принять во внимание, что в этих испытаниях ползучесть считалась законченной через 4-5 суток.

По данным [л.2] и [л.3] деформация ползучести принималась законченной через месяц для алюминиевых проводов, через 2 недели для сталеалюминиевых марок АС, АСО и через 10 дней - для марки АСУС.

По рекомендации СИГРЭ [л.8] максимальная величина ползучести выбирается в зависимости от предполагаемого срока службы линии из специальных кривых и таблиц. В таблицу I включены данные 10-летней ползучести, взятой из [л. 6,7]

Инв. № 3471тм-т2-20

Таблица I

Марка провода	Параметр D по данным			
	[л.1]	[д.2]	[г 3]	[д.6,7]
А	$3,86 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	$(2,9 \div 3,6) \cdot 10^3$ ж)	$(1,75 \div 2,65) \cdot 10^3$ жж)
АСО	$5,54 \cdot 10^3$	$5,3 \cdot 10^3$	$(5,4 \div 5,5) \cdot 10^3$ ж)	$(3,75 \div 4,21) \cdot 10^3$ жж)
АС	$6,32 \cdot 10^3$	$(5,8 \div 6,0) \cdot 10^3$	$6,1 \cdot 10^3$ ж)	$(3,74 \div 5,09) \cdot 10^3$ жж)
АСУ	$7,04 \cdot 10^3$	$6,5 \cdot 10^3$	$6,66 \cdot 10^3$ ж)	
Стальные тросы	$18,5 \cdot 10^3$	$18,9 \cdot 10^3$	-	-

ж) провода А-50÷А-185, АСО-300÷АСО-400, АС-240÷АС-300, АСУ-400.

жж) алюминиевая проволока диаметром 0,188", провод типа ACSR -795-МСМ (близкий к АСО-400), провод сталеалюминиевый калибра № 8 (АС-8).

Для окончательного решения вопроса о численном значении параметра D который следует принимать при расчете стрел провеса необходимо принять во внимание нижеследующее.

Принятое для расчетов напряжения в проводе уравнение (9) использует в качестве отправной точки предельную деформацию ползучести в точке 2 (рис.I), соответствующую максимально возможной деформации ползучести в процессе эксплуатации на уровне максимального напряжения.

Но так как климатические условия, вызывающие максимальное напряжение на реальных линиях, не могут существовать весь период эксплуатации, то на уровне σ может реализоваться лишь часть деформации ползучести, соответствующая времени существования максимального напряжения.

В остальное время работы линии будет проявляться деформация ползучести, соответствующая длительности приложения более низких уровней напряжения. Анализ показывает, что эта деформация при среднегодовой температуре за 10-летний период близка к значению при максимальном напряжении за период в несколько месяцев.

Из этого следует, что принимая в качестве расчетных значения параметра D из таблицы I для советских испытаний, размеры деформаций ползучести по крайней мере не будут завышенными, так как время существования максимальных нагрузок не менее продолжительности периода приложения максимального напряжения при испытаниях.

Вопрос о том, не является ли деформация ползучести, получаемая по рекомендуемым значениям параметра D, заниженной требует дополнительных исследований.

Выполненные расчеты (§ 7) показывают, что для большинства условий, сооружаемых в СССР ВЛ (около 76% случаев) уменьшение стрел провеса при монтаже составит 3-15%, а в остальных случаях - еще больше. Это в среднем несколько выше существующей в настоящее время практики. Поэтому в настоящее время нет оснований принимать в расчет большие размеры остаточных деформаций, чем рекомендуемые.

Как показывают исследования ВНИИЭ, размеры деформаций ползучести проводов зависят также от диаметров алюминиевых проволок, используемых для их изготовления, причем меньшим диаметрам соответствуют меньшие значения деформаций (соответственно большие значения модулей D при тех же значениях модулей F). Для оценки этого влияния были использованы как действительные характеристики растяжения, так и аналитические зависимости [д.I4] относительных удлинений проводов различных марок от диаметров алюминиевых проволок. Как показывают расчеты, выполненные в соответствии с рекомендациями ВНИИЭ [д.I4] для проводов с малыми диаметрами алюминиевых проволок ($\leqslant 2{,}5$-3мм) модуль D должен быть увеличен по сравнению со значениями, рекомендуемыми в [д.2].

С учетом указанных замечаний рекомендуемые значения параметра для проводов по ГОСТ 839-74 приведены в таблице I РУ, в которой провода, выполненные с использованием алюминиевых проволок диаметром до 2,5 мм и более 2,5 мм имеют различные значения модуля D. Аналогичные

параметры проводов по ГОСТ 839-59, приведенные в т. 5а.7 настоящей записки, различаются значением модуля D при диаметре алюминиевых проволок до и более 3 мм.

5. Параметр K_p

Величина реализованной части деформаций ползучести на момент монтажа провода зависит от величины напряжения и времени с момента приложения за период раскатки, установки соединителей, регулировки стрел провеса. Суммарное время монтажа провода в анкерованном участке может колебаться от нескольких часов до нескольких суток. Иногда этот период продолжается неделями.

Коэффициент реализации ползучести – это отношение реализованной части удлинения ползучести на момент монтажа $\varepsilon_{тв}$ к полному удлинению на уровне монтажного напряжения (рис.3). Следовательно, K_p при одной и той же длительности монтажных операций не будет зависеть от уровня монтажного напряжения $\sigma_м$.

Для оценки соответствия величины K_p определенному периоду приложения данного напряжения во время монтажа, воспользуемся зависимостью из [л.6]:

$$\varepsilon_\tau = \varepsilon_{1час} \cdot \tau^n , \qquad (13)$$

где ε_τ – относительное удлинение ползучести за время τ,

$\varepsilon_{1час}$ – то же, за первый час работы провода,

n – показатель степени, принимаемый ориентировочно для сталеалюминиевых проводов 0,18 (по данным [л.6]).

Коэффициент K_p может быть представлен зависимостью

$$K_p = \frac{\varepsilon_\tau}{\varepsilon_T} ,$$

где T – период, в течение которого деформация ползучести реализуется полностью

Тогда с учетом (I3) получим:

$$K_\rho = \frac{\varepsilon_{1час}\,\tau^{n}}{\varepsilon_{1час}\,T^{n}} = \left(\frac{\tau}{T}\right)^{n} \qquad (14)$$

Параметр D в таблице I РУ соответствует времени $T = 700$ часов. Вычислим по (I4) K_ρ при разных значениях τ принимая $T = 700$, а $n = 0{,}18$. Получим следующие значения:

τ часов	I	I0	24	I00	400	700
K_ρ	0,3	0,46	0,54	0,7	0,9	I,0

Заниженное значение коэффициента K_ρ, принимаемое в расчетах по уравнению (9) приводит к некоторой перетяжке провода по сравнению с предлагаемой, завышенное же значение коэффициента K_ρ приведет к избыточной слабине, что связано с некоторой нехваткой габарита от провода до земли. Поэтому рекомендуется из осторожности брать несколько занижение значения K_ρ

Были выполнены расчеты монтажных стрел провеса для нескольких марок проводов при K_ρ равных 0,3 и 0,5. При $K_\rho = 0{,}5$ увеличение стрел провеса по сравнению с $K_\rho = 0{,}3$ составляет для проводов малых сечений (до АС-I50) 0-2,8%, для проводов больших сечений 0-3,7%. В связи со слабым влиянием изменения K_ρ в небольших пределах на результаты расчетов, что было показано и в [л.4], рекомендуется при проектировании принимать для всех марок проводов $K_\rho = 0{,}3$.

Таким образом, при расчете монтажных стрел провеса по настоящему РУ, предполагается, что процесс монтажа производится по единой технологической схеме для всех ВЛ: провод раскатывается по монтажным роликам, далее регулируется тяжение или стрела провеса рассчитанные с учетом последующей вытяжки, после чего производится окончательное закрепление провода в зажимах.

Предполагается, что длительность монтажных операций с проводом от

момента раскатки его по монтажным роликам до закрепления в зажимах находится в пределах до одних - двух суток. Предварительная вытяжка провода под большим тяжением, чем монтажное, как это иногда практиковалось монтажными организациями, не требуется.

Если монтаж проводов производится по специальной технологической схеме, отличной от указанной, то следует рассчитывать монтажные тяжения и стрелы провеса, принимая другое значение коэффициента K_p.

В частности, если провод находился под напряжением близким к монтажному длительно, например неделю или месяц, коэффициент K_p необходимо принимать равным соответственно 0,6 и 0,8.

6. Перегрузка провода

Под перегрузкой провода в одном из исходных режимов понимается превышение напряжения в проводе над допускаемым в этом режиме, когда к проводу, смонтированному с монтажным напряжением $\sigma_м$, непосредственно после монтажа применить сочетание условий, соответствующее этому исходному режиму:

Перегрузка определяется в следующих режимах:

1. $\gamma_г$; $t_г$ – в режиме наибольшей нагрузки;
2. γ_1; t_- – в режиме наинизшей температуры;
3. γ_1; $t_э$ – в режиме среднегодовой температуры.

Если напряжение в проводе в условиях перегрузки увеличивается по сравнению с монтажным, то провод работает по характеристике $F(\sigma_м; \sigma_{н1})$, если уменьшается – по характеристике $E(\sigma_{н1})$ (рис.4).

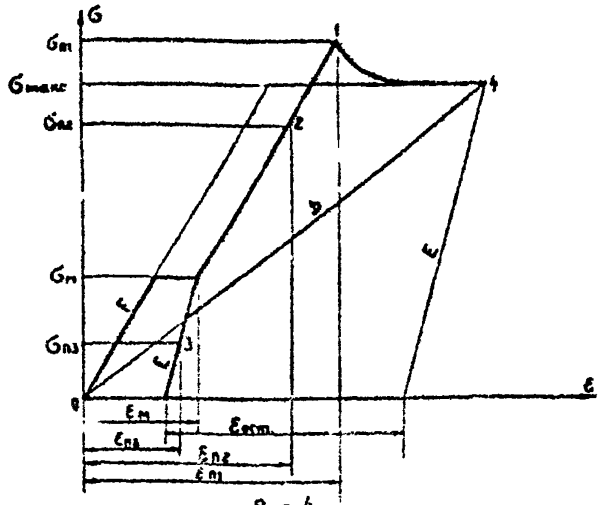


Рис. 4

При работе провода по характеристике F он будет получать механические удлинения, которые определяются по формуле:

$$\varepsilon_{мех} = \varepsilon_{п} - \varepsilon_{м} = \frac{\sigma_{п} - \sigma_{м}}{F}.$$

При работе провода по характеристике E механические удлинения будут определяться по формуле:

$$\varepsilon_{мех} = \varepsilon_{п} - \varepsilon_{м} = \frac{\sigma_{п} - \sigma_{м}}{E}.$$

На равенства $L_{п} = L_{м}(1 + \varepsilon_{мех} + \delta_{t})$ после соответствующих подстановок получим уравнения для расчета напряжений в режимах перегрузки.

$$\sigma_{п} - \frac{\gamma_{п}^{2} l^{2} F}{24\sigma_{п}^{2}} = \sigma_{м} - \frac{\gamma_{1}^{2} l^{2} F}{24\sigma_{м}^{2}} - \alpha F(t_{п} - t_{м}), \qquad (15)$$

$$\sigma_n - \frac{\gamma_n^2 \ell^2 E}{24\sigma_n^2} = \sigma_м - \frac{\gamma_м^2 \ell^2 E}{24\sigma_м^2} - \alpha E(t_n - t_м), \quad (16)$$

где σ_n, γ_n, t_n – параметры рассматриваемого режима перегрузки.

Критерием правильного применения уравнений (15) и (16) является величина полученного значения σ_n – рассчитанная по у-нию (15) должна быть $\sigma_n > \sigma_м$, а по (16) $\sigma_n < \sigma_м$.

Исходя из этого критерия, напряжение перегрузки $\sigma_{пг}$ в режиме наибольшей нагрузки необходимо определять по уравнению (15) и в тех случаях, когда полученное значение $\sigma_{пг}$ окажется меньше $\sigma_м$ его необходимо пересчитать по уравнению (16);

Напряжение перегрузки σ_n в режиме наинизшей температуры определяется только по уравнению (15);

напряжение перегрузки в режиме среднегодовой температуры $\sigma_{пэ}$ определяется по уравнению (15), если $t_э < t_м$, и по (16), если $t_э > t_м$. В случае, если $t_э = t_м$, то $\sigma_{пэ} = \sigma_м$.

Напряжения перегрузки, как показано ниже (см.§ 7), имеют наименьшие значения для наибольшей температуры монтажа. Поэтому в РУ с целью сокращения числа расчетов рекомендовано для большинства случаев определять напряжения и коэффициенты перегрузки только для наибольшей температуры монтажа, используя уравнение (15).

Как видно из (15) и (15) σ_n зависит лишь от величины монтажного напряжения и не зависит от коэффициента реализации прочности на момент монтажа, т.к. этот коэффициент учитывается в величине монтажного напряжения $\sigma_м$.

Перегрузка провода в режимах гололеда с ветром и наинизшей температуры уменьшает коэффициент запаса прочности самих проводов и анкерных опор.

Перегрузка в режиме среднегодовой температуры связана с увеличенной усталостью провода и возможностью повреждений от вибрации.

Расчеты проводов по ГОСТ 839-59 с допускаемыми напряжениями по ПУЭ-66, показывают (17), что перегрузка сталеалюминиевых проводов достигает величины 22,6%. Расчеты же проводов по ГОСТ 839-74 с допускаемыми напряжениями согласно Решению № 3-I2/75 дали коэффициенты перегрузки до 27,2%.

На рис.4 кривая I-4 показывает характер изменения напряжения перегрузки во времени.

Перегрузка исчезнет, как только провод получит полное остаточное удлинение $\varepsilon_{ост}$ (рис.4).

Стальные тросы не имеют удлинений ползучести, но обладают неупругостью. Неупругость, как было указано ранее, реализуется мгновенно по мере увеличения напряжения и, таким образом, при изменении атмосферных условий до проявления наибольшей нагрузки или наинизшей температуры, напряжение в тросе либо будет равным установившемуся либо близким к нему, т.е. перегрузки в этих режимах не будет. Некоторая перегрузка в тросе была бы возможна в режиме среднегодовой температуры, но при проектировании ВЛ тросы применяются со сниженными максимальными напряжениями, что обусловлено стремлением иметь запас прочности в них более 2-х и обеспечить минимальный вес опор. Следовательно, и в этом режиме перегрузки троса не будет.

Для выбора допустимых величин перегрузки следует учесть два фактора: I) какова продолжительность периода перегрузки; 2) каковы запасы прочности в проводах и опорах в период перегрузки.

Расчеты показывают, что максимальный размер перегрузки будет сохраняться в течении нескольких часов, после чего перегрузка уменьшится примерно в I,5 раза, а через I-2 суток - примерно в 2 раза по сравнению с первоначальной.

На кратковременный период максимальной перегрузки позволительно использовать имеющиеся запасы прочности в проводах и опорах.

Так как провода имеют запас прочности не менее 2, то для них

перегрузка в максимально-возможных размерах безопасна. В опорах имеется запас, соответствующий коэффициенту перегрузки при определении расчетных нагрузок на опоры, который для тяжения в проводе равен 1,3÷1,4.

При использовании опор действующей унификации безопасна величина перегрузки в пределах до 25% при напряжениях в проводах, принятых согласно ПУЭ-66. Такая перегрузка тем более, допустима, если учесть, что а) в течение десятков часов эта перегрузка резко снижается, и б) малую вероятность того, что сразу после монтажа наступят климатические условия, вызывающие максимальное напряжение.

Некоторую опасность представляет перегрузка провода в режиме среднегодовой температуры. Так как этот режим может существовать длительно, то имеется некоторая вероятность повреждения проводов от вибрации при напряжениях перегрузки, превышающих $0,3\,\sigma_в$. По согласованию с ВНИИ (протокол от 24 июня 1976 г.), впредь до проведения проверки уровня вибрации проводов при величине напряжения при среднегодовой температуре до 37% (1,25.0,3.100) от временного сопротивления, перегрузка при среднегодовой температуре ограничивается величиной 15% от нормированных величин.

На основании изложенного в РУ рекомендуется ограничивать перегрузку провода в режимах наибольшей нагрузки и наинизшей температуры величиной 25%, а в режиме среднегодовой температуры - величиной 15% от нормированных величин напряжений в соответствующих режимах.

Естественно, снижая монтажное напряжение ниже допустимых напряжений перегрузки, в процессе эксплуатации может оказаться, что устанавливающаяся стрела провеса превысит рассчитанную в систематическом механическом расчете провода. Однако, вероятность таких случаев весьма мала, так как во -первых по данным § 7 число таких случаев составляет всего 9-16%, во-вторых, вероятность совпадения во времени условий режима перегрузки с условиями, наступившими непосредственно после монтажа провода, также мала.

Напряжение перегрузки провода определялось исходя из того, что монтаж производился при температуре +30°С. Следовательно, и сниженное монтажное напряжение необходимо найти при этой температуре. Для этого достаточно использовать уравнение состояния, в котором используется модуль неупругости F, так как именно по такому уравнению определялось напряжение перегрузки. То - есть, используется уравнение (I5), в котором неизвестным является напряжение $\sigma_м$, а $\sigma_п$ известно и равно допускаемому напряжению перегрузки (I,25 $\sigma_т$, или I,25$\sigma_в$, или I,I5$\sigma_в$).

Для определения сниженного монтажного напряжения при других температурах можно поступить двояко. I) Следует также, как и для наибольшей температуры (30°), найти напряжения перегрузки и в случае их превышения над установленными значениями, произвести снижение соответствующего монтажного напряжения.

Причем, для этих расчетов используется уравнение (I5), если напряжение перегрузки выше монтажного напряжения, или уравнение (I6), если напряжение перегрузки ниже монтажного (последнее, в основном, для случая перегрузки в режиме среднегодовой температуры).

Напряжение перегрузки достаточно рассчитать только в том режиме перегрузки, в котором это напряжение было наибольшим при температуре монтажа +30°, что подтверждается выполненными расчетами.

2) Новые величины напряжения перегрузки не определяются, а сниженные монтажные напряжения находятся по ранее вычисленной величине сниженного монтажного напряжения при $t_м$= 30°. В этом способе сниженное напряжение получается меньшим, чем требуется в действительности по I-му способу, так как оно обусловлено максимальным размером перегрузки.

Пересчет сниженного монтажного напряжения по второму способу производится с помощью уравнения состояния:

$$\sigma_{м.ен(t)} - \frac{\gamma_1^2 l^2 D}{24\sigma^2_{м.ен(t)}\Delta} = \sigma_{м.ен(t_0)} - \frac{\gamma^2 l^2 D}{24\sigma^2_{м.ен(t_0)}\Delta} - \frac{\alpha D}{\Delta}(t-t_0), \quad (17)$$

в котором обозначено

$\sigma_{м.ен(t)}$ - искомое монтажное напряжение при температуре и этапа t,

$\sigma_{м.ен(t_0)}$ - снижение монтажное напряжение при температуре монтаж t_0, найденное по (15) при снижением напряжении перегрузки.

Уравнение (17) соответствует условию попадания всех монтажных напряжений на одну характеристику растяжения, проходящую через начало координат и имеющей наклон, соответствующий принятому коэффициенту реализации деформаций ползучести (K_p =0,3).

В РУ принят в качестве основного первый способ снижения, как более соответствующий физическому смыслу - при каждой температуре монтажа возможна своя величина максимальной перегрузки.

Однако, допускается использовать и второй способ, дающий несколько меньшие напряжения.

§ 7. Анализ величин перетяжки и перегрузки проводов и тросов

Для наиболее общей оценки возможных величин уменьшения стрел провеса и перегрузки проводов на ЭВМ БЭСМ-4М были выполнены расчеты напряжений, а также коэффициентов уменьшения стрел провеса и коэффициентов перегрузки для возможно большего числа типов опор и проводов. Для расчетов использовались исходные данные применительно к РД с унифицированными деревянными, стальными и железобетонными опорами 35-500 кВ и проводами по ГОСТ 839-59, на подвеску которых рассчитаны эти опоры: АС-50, АС-70, АС-95, АС-120, АС-150, АС-185, АСО-240, АСО-300, АСО-400, АСО-500. Наибольшие напряжения в проводах принимались такими же, как при расчете унифицированных опор, т.е. по ПУЭ-66.

Кроме того, с целью выявления влияния изменившихся конструктивных особенностей и новых значений допускаемых напряжений согласно Решению № 3-12/75, были дополнительно выполнены расчеты проводов по ГОСТ 839-74, предполагая, что они подвешены на те же унифицированные опоры с новыми тяжениями.

Климатические условия соответствовали I÷IУ районам гололедности (δ =5, I0, I5, 20 мм) с максимальным скоростным напором ветра 50, 55 и 80 кгс/м2.

Длины пролетов принимались равными 90% от габаритных, что соответствует большинству реальных линий. Коэффициент 0,9 к габаритному пролету соответствует "Обосновывающим положениям действующего прейскуранта на строительство воздушных линий электропередачи 35-500 кВ М.1970".

Для расчетов проводов по ГОСТ 839-6. были приняты три значения монтажной температуры $t_м$ - 30°, 0°, 30°, а проводов по ГОСТ 839-74- только +30°С.

Модули упругости, начального и предельного растяжения, коэффициенты температурного линейного расширения принимались соответственно по табл.7 настоящей пояснительной записки или табл.I РУ.

Коэффициент реализации ползучести принят для всех проводов $K_р$=0,3

Были выполнены также расчеты для стальных тросов по ГОСТ 3062-69, 3063-66.

Все расчеты произведены в соответствии с РУ.

Укв. № 3471тм-т2-32

Сводка количества произведенных расчетов дана в табл.2

Таблица 2

Монтажная температура	Общее количество расчетов	Количество расчетов, выполненных применительно к унифицированным опорам ВЛ, напряжением, кВ					
		35	110	150	220	330	500
С проводами по ГОСТ 839-59							
+30	410	111	131	72	42	23	31
0	410	111	131	72	42	23	31
-30	410	111	131	72	42	23	31
С проводами по ГОСТ 839-74							
+30	380	110	122	48	42	25	33

В таблице 3 приведен образец расчета для провода АС 300/39.

В результате расчетов были получены следующие данные: относительное уменьшение стрел провеса провода при монтаже, (натяжка), т.е. отношение

$$\frac{f_м - f_{уст}}{f_{уст}} \cdot 100 ,$$

для всего диапазона условий составляет от 3,0 до 26,8% для проводов по ГОСТ 839-59 и от 4,1 до 31,7% для проводов по ГОСТ 839-74.

Оно возрастает по мере уменьшения монтажной температуры.

В табл.4 приведено число случаев от общего с разбивкой по градациям.

Таблица 3.

№ п.п.	Марка провода	Типы опор	Гололедный район	0,9 l ид м	Монтажн. напряжен. σм кгс/мм²	Напряжен. в уездн. режиме σ кгс/мм²	Коэффиц. перегрузки провода Кпр %	Напряжение перегрузки в режимах σд кгс/мм²			Коэффициент перегрузки в режимах Кп %		
								–	г	э	–	г	э
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	АС 300/39	ПД220-1, ПД-220-3	I	240	7,22	5,75	20,3	14,15	11,38	9,72	20,9	–	24,6
2		П220-1, П220-3	I	400	7,47	6,80	8,1	10,74	11,20	8,59	–	–	10,1
3		П220-2	I	409	7,40	6,71	9,3	11,33	11,19	8,73	–	–	11,9
4		П330-3; П330-5	I	433	7,43	6,78	8,7	11,03	11,19	8,66	–	–	11,0
5		П330-2	I	380	7,35	6,60	10,3	11,72	11,18	8,83	0,2	–	13,2
6		ПБ220-1	I	274	7,37	6,08	17,5	13,26	11,48	9,63	17,6	–	23,4
7		ПСБ220-1	I	310	7,35	6,28	14,5	13,03	11,35	9,31	11,4	–	19,3
8		ПБ330-1	I	321	7,35	6,34	13,7	12,81	11,32	9,22	9,5	–	18,2
9		ПД220-1, ПД-220-3	II	240	7,22	5,75	20,3	14,15	12,73	9,72	20,9	8,8	24,6
10		П220-1; П220-3	II	429	6,72	6,09	9,4	9,61	12,54	7,70	–	7,1	–
11		П220-2	II	386	6,86	6,10	11,2	10,56	12,67	8,10	–	8,3	3,8
12		П330-3; П330-5	II	407	6,79	6,09	10,3	10,07	12,60	7,89	–	7,7	1,2
13		П330-2	II	361	6,97	6,10	12,4	11,72	12,76	8,39	–	9,1	7,5
14		ПБ220-1	II	271	7,36	6,06	17,6	13,84	13,04	9,67	18,3	11,4	24,0
15		ПСБ220-1	II	302	7,29	6,12	16,0	13,00	13,03	9,28	11,6	11,3	18,9

Инв. № 3471тм-т2-54

Таблица 4

Монтажная температура	Число случаев в процентах от общего количества расчетов, в которых уменьшение с ред провеса составляет					
	Менее 10%	10-15%	15-20%	20-25%	25-30%	30-35%
			Провода по ГОСТ 839-59			
+30	43,7	42,2	II,7	2,4	-	-
0	29,3	43,0	22,3	4,7	0,7	-
-30	26,0	44,0	21,8	7,0	I,2	-
			Провода по ГОСТ 839-74			
+30	19,0	33,0	23,0	20,0	3,7	I,3

Из табл.4 видно возрастание размера перетяжки проводов по ГОСТ 839-74 по сравнению с такевой для проводов по ГОСТ 839-59, что обусловлено более высокими допускаемыми напряжениями, принятыми для них.

Анализ расчетов показывает что перетяжка при прочих равных условиях уменьшается с увеличением длины пролета и с ростом гололедного района.

Перетяжка грозозащитного троса, как правило, не превышает 5%.

Перегрузка провода рассчитывалась в трех режимах - наибольшей нагрузки, наинизшей температуры, среднегодовой температуры. Коэффициент перегрузки ($K_n = \frac{\sigma_{перегрузки}}{\sigma_{допускаемое}}$) для всего диапазона условий лежит в пределах I,0I9-I,226 для проводов по ГОСТ 839-59 и I,030 - I,272 для проводов по ГОСТ 839-74. По мере понижения монтажной температуры коэффициент перегрузки уменьшается. Перегрузка возникает не обязательно во всех трех проверяемых режимах (г, -, в). Она может иметь место лишь в одном или двух из этих режимов. В табл.5 приведено общее число случаев перегрузки и с разбивкой по градациям.

Инв. № 3471тм-т2-35

Таблица 5

Исходная температура	Режим перегрузки	Процент случаев перегрузки при наступлении условий данного режима перегрузки	Число случаев в процентах от общего со значениями коэффициентов перегрузки в пределах				
			менее I,I	I,I-I,I5	I,I5-I,20	I,20-I,25	I,25-I,30
Провода по ГОСТ 839-59							
+30°	г	82	80	2	-	-	-
	-	30	II	9	9	I	-
	э	42	I5	I8	7	2	-
0	г	78	76	2	-	-	-
	-	29	I2	II	5	I	-
	э	4I	I4	I6	8	I	-
-30°	г	77	77	-	-	-	-
	-	29	I6	9	4	-	-
	э	38	28	9	I	-	-
Провода по ГОСТ 839-74							
+30	г	90	72	I7	I	-	-
	-	33	I2	8	6	7	-
	э	38	I3	9	9	4	3

Как видно из табл.5, самое большое число случаев перегрузки имеет место в режиме наибольшей нагрузки, но размеры ее невелики и коэффициенты перегрузки не превышают I,I0-I,I5. Наибольшие размеры перегрузки имеют место в режиме среднегодовой температуры - I,225 и I,272 соответственно для проводов по ГОСТ 839-59 и 839-74.

Как указывалось выше, все расчеты выполнялись для пролетов длиной $0{,}9\,\ell_{габ}$. Для выяснения вопроса об изменении коэффициента перегрузки с изменением длины пролета был рассчитан случай (провод АСО-400, $0{,}9\ell_{габ}$ =430 м, I-й гололедный район), для которого длина

пролета уменьшалась до 50 м. Результаты расчетов приведены в табл.6.

Таблица 6

Монтажная температура	Длина пролета	Коэффициент перегрузки в режимах		
		Г	–	э
30°	430	–	–	I,076
	200	–	I,12I	I,162
	I00	–	I,25I	I,I0I
	50	–	I,2I5	I,007
0	430	–	–	I,073
	200	–	I,I92	I,I47
	I00	–	I,20I	I,0I2
	50	–	I,236	I,037
-30	430	–	–	I,055
	200	–	0,I7I	I,0I9
	I00	–	0,I95	I,034
	50	–	0,202	–

Как видно из табл.6, $K_{п}$ не превышает I,25I при любых длинах пролетов, однако тенденция к увеличению имеется. В реальных расчетах для сталеалюминиевых проводов превышение коэффициента перегрузки сверх I,25 следует ожидать весьма редко.

Таблица 7

Расчетные параметры сталеалюминиевых и алюминиевых проводов по ГОСТ 839-59 и стальных тросов

Наименование провода и троса	Модуль упругости E, кгс/мм²	Модуль начального растяжения F, кгс/мм²	Модуль предельного растяжения Ф, кгс/мм²	Коэффициент температурного линейного расширения α, 1/град
А-16 — А-35	$6,3 \cdot 10^3$	$5,4 \cdot 10^3$	$4,0 \cdot 10^3$	$23,0 \cdot 10^{-6}$
А-50 — А-600			$3,6 \cdot 10^3$	
АСО-150 — АСО-700	$7,85 \cdot 10^3$	$6,9 \cdot 10^3$	$5,3 \cdot 10^3$	$19,6 \cdot 10^{-6}$
АС-16 — АС-35	$8,25 \cdot 10^3$	$7,3 \cdot 10^3$	$6,2 \cdot 10^3$	$19,2 \cdot 10^{-6}$
АС-50 — АС-95			$5,8 \cdot 10^3$	
АС-120 — АС-185	$8,45 \cdot 10^3$	$7,5 \cdot 10^3$	$6,4 \cdot 10^3$	$18,9 \cdot 10^{-6}$
АС-240 — АС-400			$6,0 \cdot 10^3$	
АСУ-120 — АСУ-185	$8,9 \cdot 10^3$	$8,0 \cdot 10^3$	$6,8 \cdot 10^3$	$18,3 \cdot 10^{-6}$
АСУ-240 — АСУ-400			$6,5 \cdot 10^3$	
Стальные тросы всех наименований	$20,0 \cdot 10^3$	$18,9 \cdot 10^3$	$18,9 \cdot 10^3$	$12 \cdot 10^{-6}$

Инв.№ 3471ТМ-т2-36

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.В. Торосян. Исследование механических свойств проводов. Труды Всесоюзной электротехнической ассоциации Пт,ОНТИ,1935г.

2. Ф.П.Моёвсов. Работа на растяжение сталеалюминиевых проводов и их компонентов."Электрические станции",№ II,1969г.,стр.60-65.

3. Е.П.Никифоров.Экспериментальное исследование механических характеристик сталеалюминиевых проводов.Труды ВНИИЭ,вып.XXXIУ "Энергия",1969г.,стр.124-136.

4. Л.М.Косенькова.О расчете проводов с учетом вытяжки."Электрические станции",№4,1971г. стр.46-48.

5. Руководящие указания по расчету проводов и тросов воздушных линий электропередачи,М.Л."Энергия",1965г.

6. P.F.Winkelman .Механические расчеты и полевые измерения,произведенные Бонневильским Энергоуправлением.- Sag-tension computations and field measurements of Bonneville Power Administration. - IEEE Trans. Power Appar. and Syst., 1960, pp. 15 - 16.

7. Ограничение при натягивании и регулировке стрелы провеса проводов.Отчет комитета IEEE ,ноябрь,I2,1964,стр.73-76. Limitations on stringing and sagging conductors. - IEEE Committee Report (1230). IEEE Trans. Power. Appar. and Syst., 1964, No. 24.

8. Практический метод определения вытяжки проводов ЛЭП. Une methode pratique de determination du fluage des conducteurs. "Electra" (France), 1972,№24,стр.105-108,110-137(РЖ"Электротехника и энергетика" 2IE,1973,4Е 265).

9. Измерение вытяжки проводов "ЭП № 5283, стр. 105 (РЖ "Электротехника и энергетика", 21Т, 1968, 2Е195).

10. Строительство участка ЭП 500 кВ Бонневилльская энергосистема-Калифорния. 1967, 19, № 7, стр.42-45 (РЖ "Электротехника и энергетика" 21Е, 1968, 3Е215).

11. Монтаж на линии электропередачи второго провода в фазе с применением предварительной форсированной вытяжки. Титаренко М.М., Шапиро И.М., Сирота Н.А. В сб."Энерг.стр-во" № 4 (118). М., "Энергия", 1971, стр.47-49 (РЖ "Электротехника и энергетика" 21Е, 1971, 9Е298).

12. Рабочая группа 5 СИГРЭ. Вытяжка проводов, 1972, № 24, стр.54-56 (РЖ "Электротехника и энергетика", 1972, 4Е266).

13. Учет вытяжки при монтаже проводов, 1972, 177, № 10, стр. 66-68 (РЖ "Электротехника и энергетика", 1972, 11Е171).

14. Е.П.Никифоров. Исследование механических характеристик сталеалюминиевых проводов новых конструкций. Научно-технический отчет по теме 4-20/64, ЬЕПИЭ, 1969 г.

15. Ф.П.Матвеев. Механический расчет сталеалюминиевых проводов с учетом остаточных удлинений. "Электрические станции" № 4, 1971.

gost.e-ecolog.ru