

Министерство энергетики и электрификации СССР
Главныйпроект
Ордена Октябрьской революции УЭПИ и НИИ
Энергосетьпроект
Среднеазиатское отделение

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

Том II

Полонительная записка

Иив. № 3471-тн-т2

Главный инженер

И. Бурнаев Бурнаев

Нач. технического отдела

А. Турлет А. Турлет

Зав. лабораторией горных
линий электропередачи

А. Касалиман А. Касалиман

Руководитель группы

А. Яновский А. Яновский

Ташкент, 1976

Министерство энергетики и электрификации СССР
Главный проект
Ордена Октябрьской революции УЭПИ и НИИ
Энергосетьпроект
Среднеазиатское отделение

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

Том II

Полонительная записка

Ивв. № 3471-тн-т2

Главный инженер

И. Бурнаев Бурнаев

Нач. технического отдела

А. Турлет А. Турлет

Зав. лабораторией горных
линий электропередачи

А. Касалиман А. Касалиман

Рун. группы

А. Яновский А. Яновский

Ташкент, 1976

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
1. Введение	4
2. Нагрузочно-разгрузочная диаграмма растяжения провода	8
3. Вывод расчетных формул	13
4. О максимальных деформациях по длине и ее интенсивности	18
5. Параметр K_p	22
6. Перегрузка провода	24
7. Анализ коэффициентов перетяжки и перегрузки проводов	30
ЛИТЕРАТУРА	38

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) обмятием проводов при приложении продольных усилий,
- б) свойством неупругости металлов, проявляющееся 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, являлись недостаточные габариты от проводов до земли, что потребовало перемонтажа проводов.

Аналогичные явления имели место за рубежом. В [1.9] отмечаются тяжелые последствия произошедшей в США аварии с прекращением электрообеспечения 13 млн. потребителей из-за перекрытия проводов перегруженной магистральной линии с проводами пересекавшей линии, причиной которого являлась неучтенная деформация проводов.

Исследования ползучести проводов в лабораторных условиях и на реальных пролетах показывают, что этот процесс продолжается в очень 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 О5 СИГРО [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 сталеалюминевых проводов при монтаже (уменьшение стрел провеса) в размере 10-12%, как рекомендовано в книге Глазунова А.А. "Основы механической части ВЛ", т.1, 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 распяленной фазы приложением максимального тяжения в течение трех суток.

В [л.10] описывается опыт предварительной вытяжки тросом, 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 Болневильской энергосистемы, основанный на зависимости удлинений ползучести провода от времени вида

$$\epsilon = FT^{\pi} \quad (1)$$

где ϵ - относительное удлинение провода,
 F - относительное удлинение за начальный отрезок времени,
 T - время,
 π - показатель степени.

Коэффициенты F и π , 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]

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

$$\epsilon = kH^m T^n, \quad (2)$$

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 названных методов отмечается, что получение надежных экспериментальных

Ивв. № 3471тм-т2-7

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

В СССР аналитический метод учета остаточных деформаций проводов был впервые предложен Отделением дальних передач "Теплоэлектропроекта" при проектировании БЛ 400 кВ Кульскиева ГЭС - Москва.

Он основан на использовании понятия монтажного модуля упругости E_m , величина которого меньше установившегося модуля упругости провода E , и остаточного удлинения от ползучести ϵ_p . Расчет приводит к некоторой перетяжке провода за счет сокращения длины провода в пролете на величину, соответствующую ϵ_p и разности относительных удлинений, определяемых модулями E_m и E . Этот метод сыграл положительную роль, обеспечив прикладную точность монтажа проводов БЛ 400 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: конструкции и материал проводов, условия монтажа, величину пролета и расчетные климатические условия.

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

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

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

проводов в Советском Союзе и некоторые материалы из зарубежных исследований.

В связи с тем, что испытание проводов в СССР проводилось 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 тяжения.

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 [2.1,2,3] показывают, что как нагрузочные так и разгрузочные характеристики диаграммы растяжения в системе координат $\sigma - \epsilon$ (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.

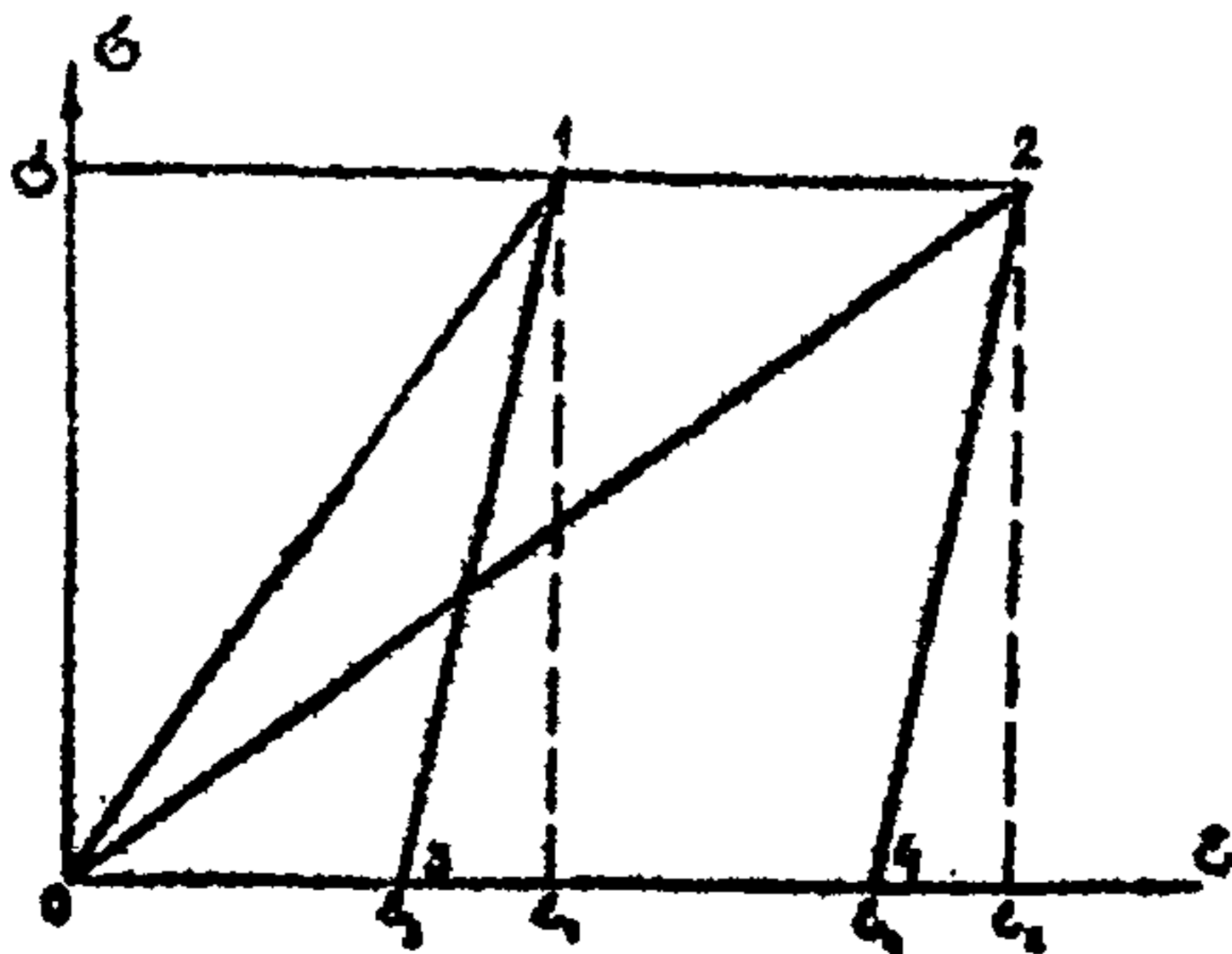


Рис. 1

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, получаемыми 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- ϵ_1 (см. рис.1), после же разгрузки - отрезку 0- ϵ_2 . Остаточное (необратимое) удлинение провода 0 - ϵ_2 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- ϵ_2 , а после разгрузки - отрезку 0- ϵ_4 . Дополнительное остаточное удлинение провода $\epsilon_2 - \epsilon_4$ 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.

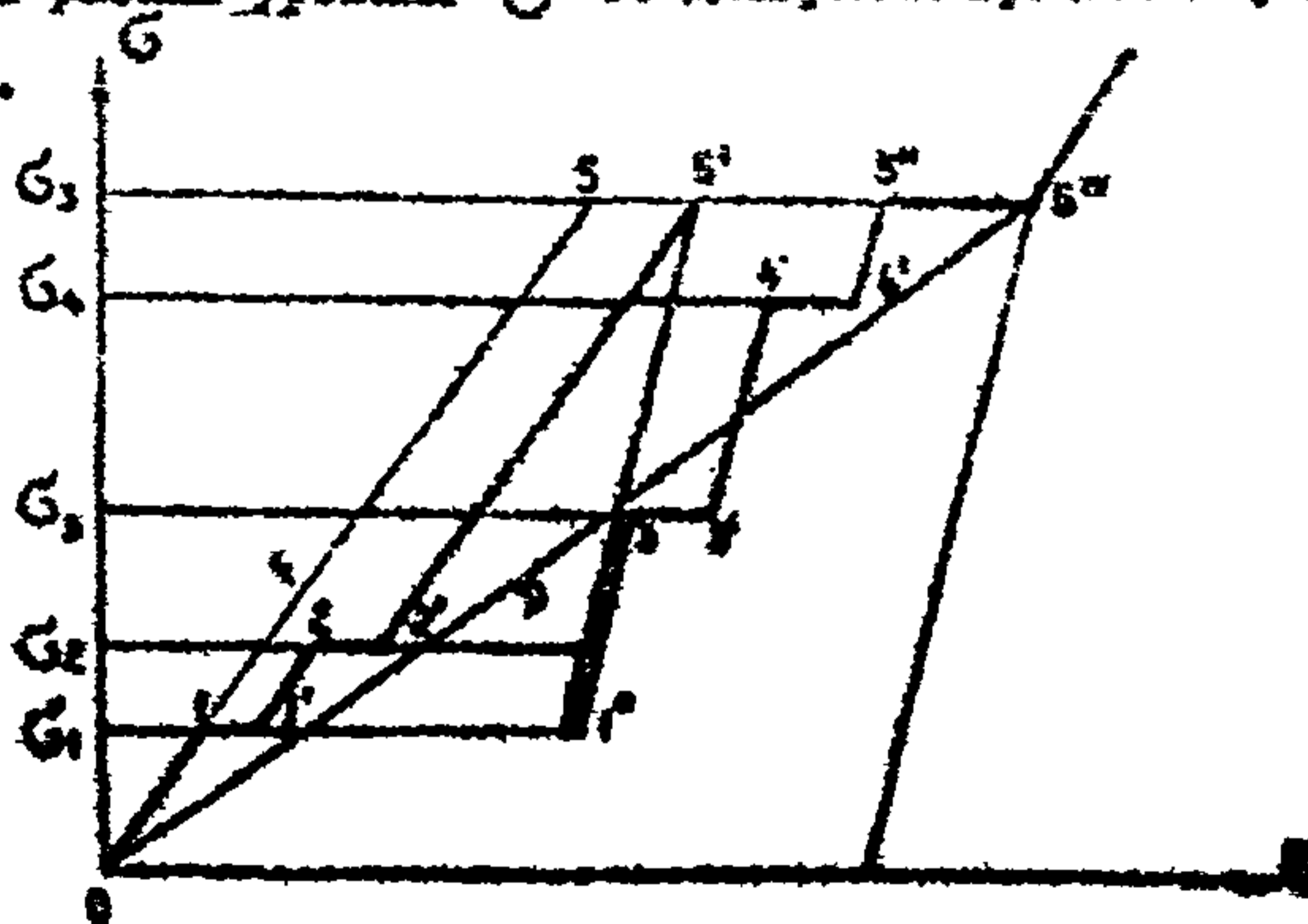


Рис.2

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_2 , удлинение провода будет соответствовать точке 3 разгрузочной характеристики, а при сохранении длительно напряжения σ_2 дополнительное удлинение провода составит отрезок 3-3'.

При дальнейших повышениях нагрузки до уровня σ_3 , 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_3 , 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 БНМЭ последних лет [д.3] окончание процесса вытяжки провода фиксировалось во 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 ($\sigma - \epsilon$, см. 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 $\sigma - \epsilon$ (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

Ишв. 347Иш-т2-12

обозначениями, в РУ приняты названия модулей: модуль начального и предельного растяжения. Преимуществом этих параметров является возможность их аналитического определения для комбинированных проводов например, сталесплавы-алюминевых в целом по модулям компонентов, на основе экспериментальных диаграмм растяжения провода, по формулам [л.2]:

$$E = \frac{E_c + k E_a}{1 + k} \quad (3)$$

$$F = \frac{F_c + k F_a}{1 + k} \quad (4)$$

$$D = \frac{D_c - k D_a}{1 + k} \quad (5)$$

где индекс "с" и "а" относятся соответственно к модулям стальных и алюминиевых проводов.

k — отношение сечений алюминия и стали.

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

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

$D_c = 4,0 \cdot 10^3 \text{ кгс/мм}^2$ — для алюминиевых проводов диаметром менее или равных 2,5 — 3 мм;

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

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

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

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

Изм. № 3471гм-т2-13

в табл.7 стр37 пояснительной записки для проводов по ГОСТ 139-59.

Модуль E в таблице I РУ скорректирован в соответствии с Решением № Э-12/76 ГПУЭ и директивным указанием института "Энергосеть-проект" № 26/1 от 2/IX-1975 г.

Описанная диаграмма растяжения не может служить основой для вывода уравнения состояния по расчету проводов с учетом остаточных деформаций в особых гололедных районах, где допускаются 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 напряжения и отбоя 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

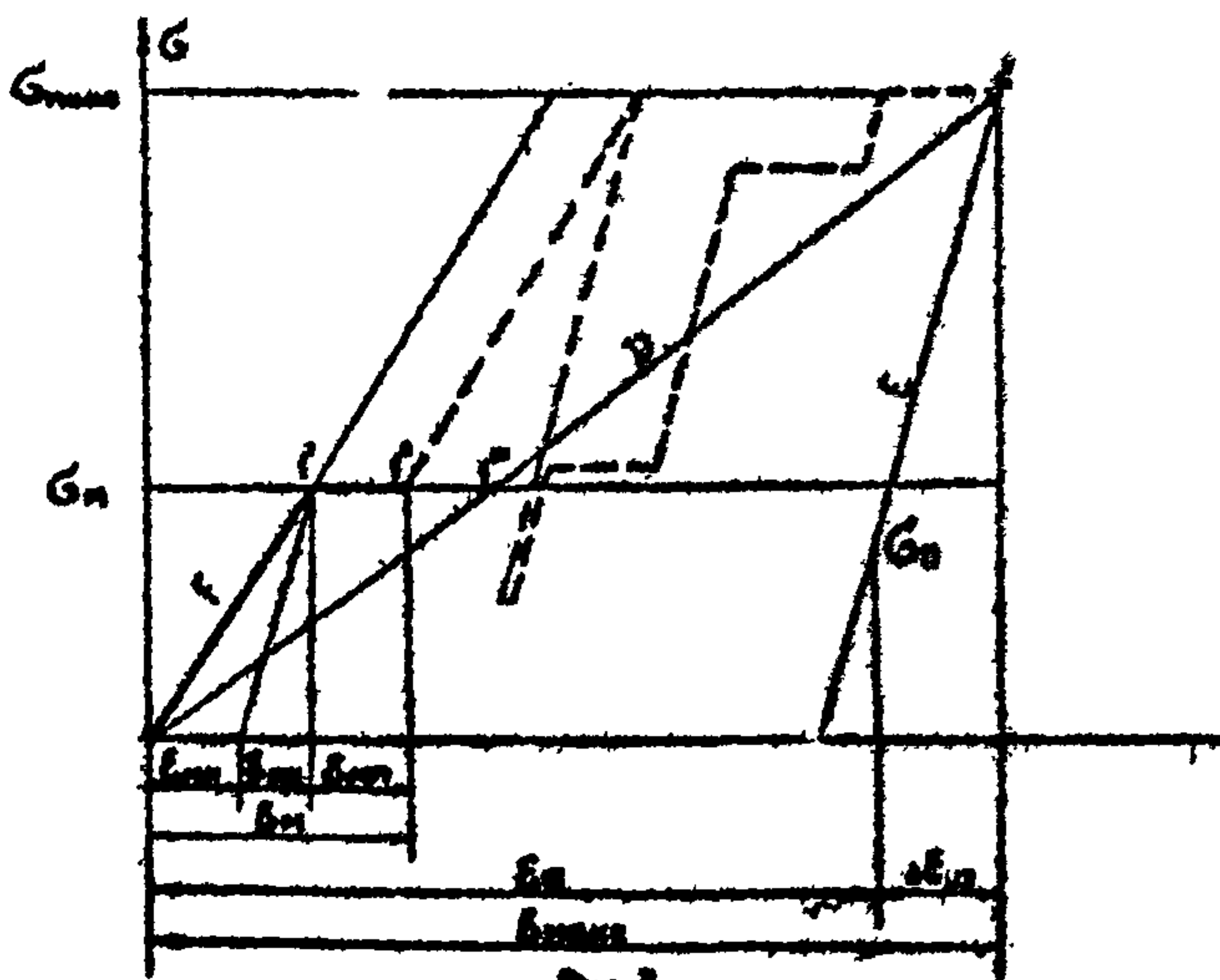


Рис.3

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 "л" при одной и той же температуре связывается уравнением

$$L_m = L_n (1 + \epsilon_{мек})$$

где $\epsilon_{мек}$ - разность относительных удлинений провода от механической силы в двух состояниях.

Однако, так как $\sigma_n = \widehat{\sigma} - \Delta \sigma_{nm}$ (рис.3), т.е. оно может быть выражено только через наибольшее удлинение $\widehat{\epsilon}$ соответствующее режиму наибольшего напряжения (точка 2), то представляется возможным в уравнении состояния связывать режимы "м" и "л", не между собой, а с режимом максимума "∧" (точкой 2). Тогда напряжение в режиме "л" 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 "∧" обозначает величины режима наибольшего напряжения. В правой части уравнения (6) могут использоваться также величины одного из соседних режимов.

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

$$L_n = \widehat{L} (1 + \epsilon_{мек} + \epsilon_n), \quad (7)$$

где

$$L_n = l + \frac{\gamma_n^2 l^3}{24 \sigma_n^2},$$

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

Изм. № 3471тм-т2-15

δ_m - удельная нагрузка провода при монтаже, кгс/д.мм²;
 $\bar{\delta}$ - то же, в режиме наибольшего напряжения;
 $\bar{\epsilon}$ - длина пролета, м;

$$\epsilon_{\text{неч}} = \epsilon_m - \bar{\epsilon}$$

$$\epsilon_m = \alpha(t_m - t)$$

Выразим относительно удлинения от механических сил через параметры диаграммы растяжения.

Из рис.3 следует:

$$\bar{\epsilon} = \frac{\bar{\delta}}{D}$$

$$\epsilon_m = \epsilon_{\text{нч}} + \epsilon_{\text{нэ}} + \epsilon_{\text{нп}}$$

Составляющая $\epsilon_{\text{нч}}$ представляет собой неупругое удлинение (остаточное) на уровне напряжения σ_m , составляющая $\epsilon_{\text{нэ}}$ - упругое удлинение при том же напряжении, их сумма равна

$$\epsilon_{\text{нч}} + \epsilon_{\text{нэ}} = \frac{\sigma_m}{E}$$

Составляющая $\epsilon_{\text{нп}}$ - относительное удлинение ползучести, накопившееся к моменту монтажа (регулирования отрезка провода), оно равно

$$\epsilon_{\text{нп}} = K_p \cdot \epsilon_n$$

где K_p - коэффициент реализации ползучести на момент монтажа;

Ивв. № 3471тм-т2-16.

ϵ_n — полное удлинение ползунов на уровне σ_m , которое равно отрезку $I-I'$ (см. рис. 3).

Из рис. 3 следует, что

$$\epsilon_n = \frac{\sigma_m}{D} - \frac{\sigma_m}{F},$$

тогда

$$\sigma_m = \sigma_n K_p \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{F} \right)$$

Подставляя значения для прогиба и получаемые значения удлинения в (7) и пренебрегая малыми величинами высшего порядка, получим

$$\frac{\delta_n^2 \ell^2}{24 \sigma_m^2} = \frac{\bar{\delta}^2 \ell^2}{24 \bar{\sigma}^2} + \sigma_m \left[\frac{1}{F} + K_p \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{F} \right) \right] - \frac{\bar{\sigma}}{D} + \alpha (t_n - \bar{t})$$

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

$$\sigma_m \left[\frac{D}{F} + K_p \left(1 - \frac{D}{F} \right) \right] - \frac{\delta_n^2 \ell^2 D}{24 \sigma_m^2} = \bar{\sigma} - \frac{\bar{\delta}^2 \ell^2 D}{24 \bar{\sigma}^2} - \alpha D (t_n - \bar{t})$$

Обозначим

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

тогда окончательный вид уравнения будет:

$$\sigma_m - \frac{\delta_n^2 \ell^2 D}{24 \sigma_m^2 \Delta} = \frac{1}{\Delta} \left[\bar{\sigma} - \frac{\bar{\delta}^2 \ell^2 D}{24 \bar{\sigma}^2} - \alpha D (t_n - \bar{t}) \right] \quad (9)$$

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

Аналогично может быть получено уравнение для нахождения σ_n по напряжению σ_n устанавливаемого режима после полной реализации остаточных деформаций провода. Оно имеет вид

$$\sigma_n - \frac{\gamma_n^2 \ell^2 D}{24 \sigma_n^2 \Delta} = \frac{1}{\Delta} \left[\bar{\sigma} - \frac{D}{E} (\bar{\sigma} - \sigma_n) - \frac{\gamma_n^2 \ell^2 D}{24 \sigma_n^2 \Delta} \right]. \quad (10)$$

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 устанавливаемом режиме после полной реализации остаточных деформаций провода

$$f_n = \frac{\gamma_n \ell^2}{8 \sigma_n}, \quad (11)$$

в режиме монтажа

$$f_m = \frac{\gamma_m \ell^2}{8 \sigma_m}. \quad (12)$$

Так как нагрузка провода в обоих режимах соответствует своей собственной массе, то

$$\gamma_n = \gamma_m = \gamma_s.$$

Обращается особое внимание на то, что в (9) и (10) $\bar{\sigma}$, $\bar{\gamma}$, \bar{t} соответствует режиму наибольшего напряжения, а не наоборот, к я зависимости от формы огибающей (см. рис. I БУ) могут соответствовать

параметрам:

- а) $\bar{\gamma} = \gamma_r, \bar{t} = t_r$ - режим наибольшей нагрузки;
 б) $\bar{\gamma} = \gamma_1, \bar{t} = t_1$ - режим наибольшей температуры

Если од уравнения состояния для расчета напряжений с учетом остаточных деформаций и их вид могут быть выполнены другим способом, предложенным Ф.П.Матвеевым [д.15]. Вместо безразмерного коэффициента Δ Ф.П.Матвеевым предлагается использовать параметр "монтажный модуль" F_m , определяемый по формуле

$$F_m = \frac{FD}{K_p F + (1 - K_p) D}$$

Как нетрудно убедиться, коэффициент Δ и "монтажный модуль" F_m связаны между собой соотношением $F_m \Delta = D$. С помощью этого соотношения предлагаемые в настоящем РУ уравнения состояния могут быть приведены к виду в [д.15] и наоборот. В РУ отдаю 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 максимальных деформациях ползучести и ее интенсивности.

Все остаточное удлинение, которое провод получит во время эксплуатации, зависит от наклона характеристик растяжения, т.е. от параметров E, F, D .

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

Многочисленные опыты проводов в СССР [д.3] позволяют считать характеристики E и F достаточно стабильными и принимать их значения однозначными.

Модуль упругости E определяется в процессе исследования зависимости ϵ от σ на пробы, ранее подвергнутой 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 действительности приложения нагрузки каждой ступени при испытаниях.

Если D находить из соотношения (рис.1).

$$D = \frac{\sigma}{\epsilon_2},$$

то представляется возможным сравнить данные различных испытаний.

По данным СЭО Энергосетьпроект (изм.№ 1043гм-т1), основывающихся на результатах испытания Л.В.Торосяна [л.1], параметр D (см.таблицу I) имеет наибольшее значение по сравнению с данными других коса довяки, 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 стале-алюминиевых 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]

Марка провода	Параметр D по данным			
	[л.1]	[л.2]	[л.3]	[л.4,7]
А	$3,86 \cdot 10^3$	$3,9 \cdot 10^3$	$(2,9+3,6) \cdot 10^3$ ж)	$(1,75+2,65) \cdot 10^3$ ж)
АСО	$5,54 \cdot 10^3$	$5,3 \cdot 10^3$	$(5,4+5,5) \cdot 10^3$ ж)	$(3,75+4,21) \cdot 10^3$ ж)
АС	$5,32 \cdot 10^3$	$(5,8+6,0) \cdot 10^3$	$6,1 \cdot 10^3$ ж)	$(3,74+5,09) \cdot 10^3$ ж)
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 АCSR -795-ИСМ (близкий к АСО-400), провод сталеалюминиевый калибра № 8 (АС-6).

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

Принятое для расчетов напряжения в проводе уравнение (9) использует в качестве отправной точки предельную деформацию ползучести в точке 2 (рис.1), соответствующую максимальной 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 $\bar{\sigma}$ 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 деформации ползучести по крайней мере не будут завышенными, так как время осуществления 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 проводов, 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 [а.14] относительных удлинений проводов различных марок от диаметров алюминиевых проводов. Как показывают расчеты, выполненные в соответствии с рекомендациями ВНИИЭ [а.14] для проводов с малыми диаметрами алюминиевых проводов ($\leq 2,5$ мм) модуль D должен быть увеличен по сравнению со значениями, рекомендуемыми в [а.2].

С учетом указанных замечаний рекомендуемые значения параметра для проводов по ГОСТ 869-74 приведены в таблице I РУ, в которой провода, выполненные с использованием алюминиевых проводов диаметром до 2,5 мм и более 2,5 мм имеют различные значения модуля D . Аналогичные

параметры проводов по ГОСТ 839-59, п. введенные в т. 1а.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 его приложения за период раскатки, установки соединителей, регулировки отрез провода. Суммарное время монтажа провода в анкерном 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 ϵ_{m} 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 σ_m .

Для оценки соответствия величины K_p определенному периоду приложения данного напряжения во время монтажа, воспользуемся зависимостью из [1.6]:

$$\epsilon_{\tau} = \epsilon_{1час} \cdot \tau^n, \quad (13)$$

где ϵ_{τ} — относительное удлинение ползучести за время τ ,

$\epsilon_{1час}$ — то же, за первый час работы провода,

n — показатель степени, принимаемый ориентировочно для стале-алюминевых проводов 0,18 (по данным [1.6]).

Коэффициент K_p может быть представлен зависимостью

$$K_p = \frac{\epsilon_{\tau}}{\epsilon_T},$$

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

Тогда с учетом (13) получим:

$$K_p = \frac{C_{\text{час}} \tau^n}{C_{\text{час}} T^n} = \left(\frac{\tau}{T}\right)^n \quad (14)$$

Параметр D в таблице I РУ соответствует времени $T = 700$ часов. Вычислим по (14) K_p при разных значениях τ принимая $T = 700$, а $n = 0,18$. Получим следующие значения:

τ часов	1	10	24	100	400	700
K_p	0,3	0,46	0,54	0,7	0,9	1,0

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

Были выполнены расчеты монтажных стрел провода для нескольких марок проводов при K_p равных 0,3 и 0,5. При $K_p = 0,5$ увеличение стрел провода по сравнению с $K_p = 0,3$ составляет для проводов малых сечений (до АС-150) 0-2,8%, для проводов больших сечений 0-3,7%. В связи со слабым влиянием изменения K_p в небольших пределах на результаты расчетов, что было показано и в [л.4], рекомендуется при проектировании принимать для всех марок проводов $K_p = 0,3$.

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

Предполагается, что длительность монтажных операций с проводом от

момента раскаты его по монтажным ролям до закрепления в захватах 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 находится под напряжением близким к монтажному длительное, 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 допустимым в этом режиме, когда к проводу, смонтированному с монтажным напряжением σ_m , непосредственно после монтажа приложить сочетание условий, соответствующее этому исходному режиму:

Перегрузка определяется в следующих режимах:

1. $\gamma_r; t_r$ - в режиме наибольшей нагрузки;
2. $\gamma_1; t_-$ - в режиме наименьшей температуры;
3. $\delta_1; t_0$ - в режиме среднегодовой температуры.

Если напряжение в проводе в условиях перегрузки увеличивается по сравнению с монтажным, то провод расстает по характеристике $F(\sigma_m; \sigma_{gr})$, если уменьшается - по характеристике $E(\sigma_{gr})$ (рис. 4).

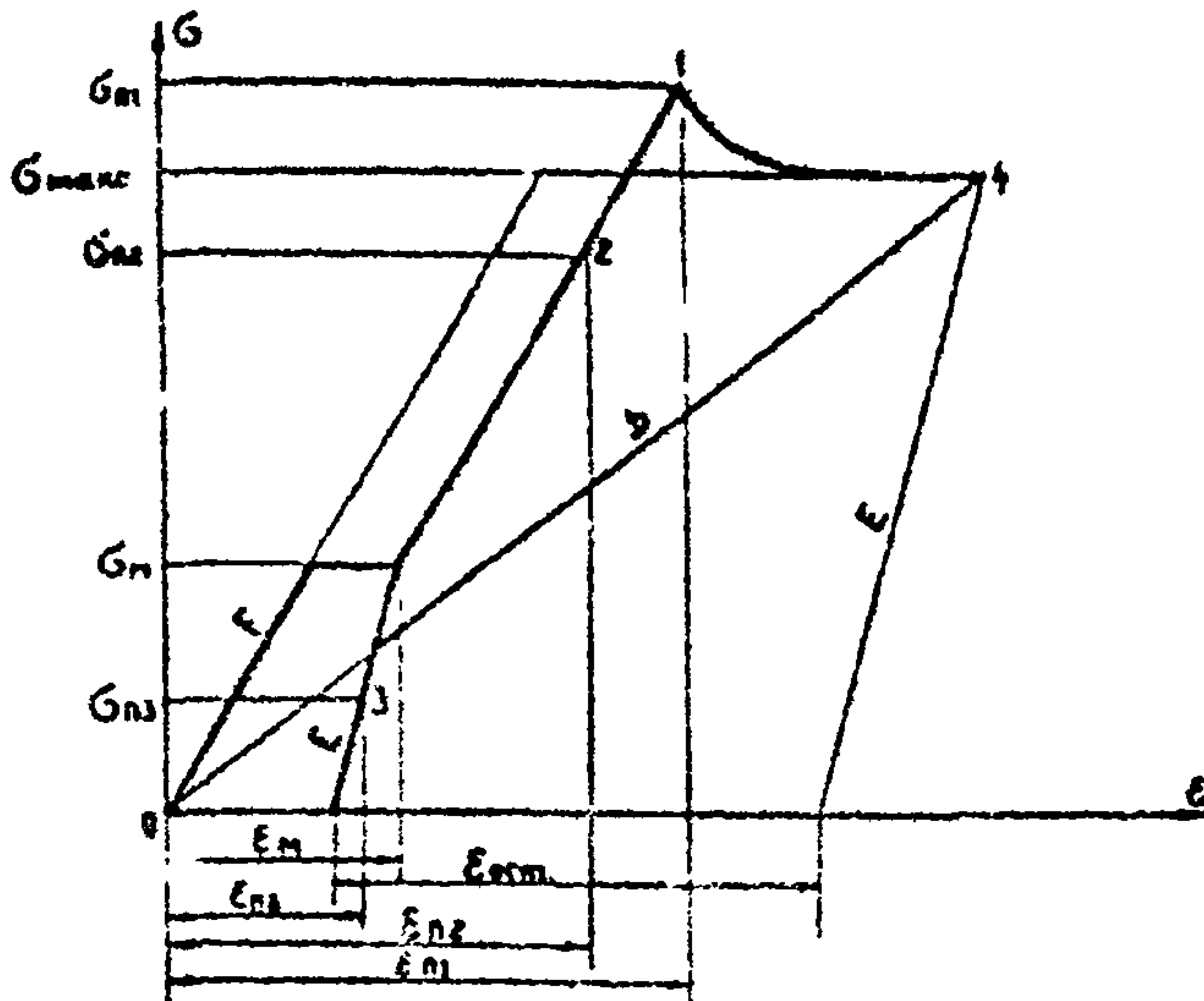


Рис. 4

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

$$\epsilon_{\text{мех}} = \epsilon_{\text{п}} - \epsilon_{\text{н}} = \frac{G_{\text{п}} - G_{\text{н}}}{F}$$

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

$$\epsilon_{\text{мех}} = \epsilon_{\text{п}} - \epsilon_{\text{н}} = \frac{G_{\text{п}} - G_{\text{н}}}{E}$$

Из равенства $L_{\text{п}} = L_{\text{н}}(1 + \epsilon_{\text{мех}} + \beta t)$ после соответствующих подстановок получим уравнение для расчета напряжений в режимах перегрузки.

$$G_{\text{п}} - \frac{\gamma_{\text{п}}^2 \rho^2 F}{24G_{\text{п}}^2} = G_{\text{н}} - \frac{\gamma_{\text{н}}^2 \rho^2 F}{24G_{\text{н}}^2} - \alpha F(t_{\text{п}} - t_{\text{н}}), \quad (15)$$

$$\sigma_n - \frac{\gamma_n^2 l^2 E}{24 \sigma_n^2} = \sigma_m - \frac{\gamma_m^2 l^2 E}{24 \sigma_m^2} - \alpha E (t_n - t_m), \quad (16)$$

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-му (15) должна быть $\sigma_n > \sigma_m$, а по (16) $\sigma_n < \sigma_m$.

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

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

напряжение перегрузки в режиме среднегодовой температуры $\sigma_{ог}$ определяется по уравнению (15), если $t_s < t_m$, и по (16), если $t_s > t_m$. В случае, если $t_s = t_m$, то $\sigma_{ог} = \sigma_m$.

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 (16) 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 σ_m .

Перегрузка провода в режимах гололеда с ветром и наименьшей 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 сталеалюминевых проводов достигает величины 22,6%. Расчеты же проводов по ГОСТ 839-74 с допускаемыми напряжениями согласно Решению № 3-12/75 дали коэффициенты перегрузки до 27,2%.

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

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

Стальные тросы не имеют удлинения 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 максимальной температуры, напряжение в тросе либо будет равно 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 требованием 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: 1) 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 1,5 раза, а через 1-2 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 неопасна. В опорах имеется запас, соответствующий коэффициенту перегрузки при определении расчетных нагрузок на опоры, который для троса в проводе равен 1,3+1,4.

При использовании опор действующей унификации неопасна 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 G. По согласованию с БИИИ (протокол от 24 июля 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 напряжений в соответствующих режимах.

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

Естественно, снижая монтажное напряжение и, следовательно, превышая допустимых напряжений перегрузки, в процессе эксплуатации может оказаться, что установившаяся 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 $+30^{\circ}\text{C}$. 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 (15), в котором неизвестным является напряжение σ_m , а σ_n известно и равно допускаемому напряжению перегрузки ($1,25 \sigma_r$, или $1,25 \sigma_s$, или $1,15 \sigma_r$).

Для определения сниженного монтажного напряжения при других температурах можно поступить двояко. 1) 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 (15), если напряжение перегрузки выше монтажного напряжения, или уравнение (16), 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 $+30^{\circ}$, что подтверждается выполненными расчетами.

2) Новое величину напряжения перегрузки не определяется, а сниженные монтажные напряжения находятся по ранее вычисленной величине сниженного монтажного напряжения при $t_m = 30^{\circ}$. В этом способе сниженное напряжение получается меньшим, чем требуется в действительности по I-му способу, так как она обусловлена максимальным размером перегрузки.

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

$$\sigma_{н.н(t)} = \frac{\rho_1 \epsilon^2 D}{24 \sigma_{н.н(t_0)}^2 \Delta} = \sigma_{н.н(t_0)} \frac{\gamma^2 \epsilon^2 D}{24 \sigma_{н.н(t_0)}^2 \Delta} - \frac{\alpha D}{\Delta} (t - t_0), \quad (17)$$

в котором обозначено

$\sigma_{н.н(t)}$ — сниженное монтажное напряжение при температуре и этапе t ,

$\sigma_{н.н(t_0)}$ — сниженное монтажное напряжение при температуре монтажа t_0 , найденное по (15) при сниженном 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 деформации 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 параметров 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 БЭ с унифицированными деревянными, стальными и железобетонными опорами 35-500 кВ и проводами по ГОСТ 839-59, на подвеску которых расч. для этих опор: АС-50, АС-70, АС-95, АС-120, АС-150, АС-185, АС-240, АС-300, АС-400, АС-500. Наибольшие напряжения в проводах принимались такими же, как при расчете унифицированных опор, т.е. по ПУЭ-66.

Кроме того, в целях выявления влияния изменяющихся 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 теми же нагрузками.

Климатические условия соответствовали I+IV районам гололедности (δ - 5, 10, 15, 20 мм) с максимальным скоростным напором ветра 50, 55 и 70 кгс/м².

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

Для расчетов проводов по ГОСТ 839-5, были приняты три значения монтажной температуры t_m - 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 $K_p = 0,3$

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

Все расчеты произведены в соответствии с РУ.

Учв. В 3471тм-т2-32

Сводка количества произведенных расчетов дана в табл.2

Таблица 2

Монтажная температура	Общее количество расчетов	Количество расчетов, выполненных применительно к различным опорам ВЛ, напряжением, кВ					
		35	110	150	220	330	500
<u>С проводами по ГОСТ 839-59</u>							
40	410	III	131	72	42	23	31
0	410	III	131	72	42	23	31
30	410	III	131	72	42	23	31
<u>С проводами по ГОСТ 839-74</u>							
30	380	III	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, (перетяжка), т.е. относительное

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

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.

№ в.р.	Марка провода	Типы опор	Класс напряжения	0,9 P _н м	Гонимая нагрузка См кгс/мм ²	Нагрузка в усложн. режиме С _у кгс/мм ²	Корр. коэф. напряжения провода К _к %	Напряжение перегрузки в режиме С _д кгс/мм ²			Корр. коэф. пере- грузки в режиме К п %		
								9	10	11	12	13	14
1	АС 300/30	ПД 220-1, ПЗ 220-3	I	240	7,22	5,75	20,3	14,15	11,38	9,72	20,9	-	24,6
2		П 220-1, П 220-3	I	400	7,47	6,80	8,1	10,74	11,20	8,59	-	-	10,1
3		П 220-2	I	409	7,40	6,71	9,3	11,33	11,19	8,73	-	-	11,9
4		П 330-3, П 330-5	I	433	7,43	6,78	8,7	11,03	11,19	8,66	-	-	11,0
5		П 330-2	I	380	7,35	6,60	10,3	11,72	11,18	8,83	0,2	-	13,2
6		ПБ 220-1	I	274	7,37	6,08	17,5	13,76	11,48	9,63	17,6	-	23,4
7		ПБ 220-1	I	310	7,35	6,28	14,5	13,03	11,35	9,31	11,4	-	19,3
8		ПБ 330-1	I	321	7,35	6,34	13,7	12,81	11,37	9,22	9,3	-	18,2
9		ПД 220-1, ПЗ 220-3	II	240	7,22	5,75	20,3	14,15	12,73	9,72	20,9	8,8	24,6
10		П 220-1, П 220-3	II	429	6,72	6,09	9,4	9,61	12,54	7,70	-	7,1	-
11		П 220-2	II	386	6,86	6,10	11,2	10,56	12,67	8,10	-	8,3	3,8
12		П 330-3, П 330-5	II	407	6,79	6,09	10,3	10,07	12,60	7,89	-	7,7	1,2
13		П 330-2	II	361	6,97	6,10	12,4	11,72	12,70	8,39	-	9,1	7,5
14		ПБ 220-1	II	271	7,38	6,06	17,6	13,84	13,04	9,67	18,3	11,4	24,0
15		ПБ 220-1	II	302	7,29	6,12	16,0	13,00	13,03	9,28	11,6	11,3	16,9

Таблица 4

Монтаж- : Число случаев в процентах от общего количества расчетов,
ная тем- : в которых уменьшение с реж провеса составляет
пература:

Менее : 10-15% : 15-20% : 20-25% : 25-30% : 30-35%
10%

		<u>Провода по ГОСТ 839-59</u>				
+30	43,7	42,2	11,7	2,4	-	-
0	29,3	43,0	22,3	4,7	0,7	-
-30	26,0	44,0	21,8	7,0	1,2	-
		<u>Провода по ГОСТ 839-74</u>				
+30	19,0	33,0	23,0	20,0	3,7	1,3

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

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

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

Перегрузка провода рассчитывалась в трех режимах - наибольшей нагрузки, наименьшей температуры, среднегодовой температуры. Коэффициент перегрузки ($K_n = \frac{\sigma_{перегрузки}}{\sigma_{допускаемое}}$) для всего диапазона условий лежит в пределах 1,019-1,226 для проводов по ГОСТ 839-59 и 1,030 - 1,272 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 обш в число случаев перегрузки и с разбивкой по градациям.

Таблица 5

Мо-тампная температура	Режимы перегрузки	Процент случаев перегрузки при наступлении уло-ний дан-ного режи-ма пере-грузки	Число случаев в процентах от общего со значительными коэффициентами пере-грузки в пределах				
			менее 1,1	1,1-1,15	1,15-1,20	1,20-1,25	1,25-1,30
<u>Провода по ГОСТ 639-59</u>							
+30°	г	32	8	2	-	-	-
	-	30	11	9	9	1	-
	в	42	15	18	7	2	-
0	г	78	76	2	-	-	-
	-	29	12	11	5	1	-
	в	41	14	16	8	1	-
-30°	г	77	77	-	-	-	-
	-	29	16	9	4	-	-
	в	38	28	9	1	-	-
<u>Провода по ГОСТ 839-74</u>							
+30	г	90	77	17	1	-	-
	-	33	12	8	6	7	-
	в	38	13	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 1,10-1,15. Наибольшие размеры перегрузки имеет место в режиме среднегодовой температуры - 1,226 и 1,272 соответственно для проводов по ГОСТ 639-59 и 839-74.

Как указывалось выше, все расчеты выполнялись для пролетов дли-нов $0,9 \ell_{\text{гос}}$. Для выяснения вопроса об изменении коэффициента пере-грузки с изменением длины пролета был рассчитан случай (провод АСО-400, $0,9 \ell_{\text{гос}} = 430$ 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	б	в	д
30°	430	-	-	1,076	
	200	-	1,121	1,162	
	100	-	1,251	1,101	
	50	-	1,215	1,007	
0	430	-	-	1,073	
	200	-	1,192	1,147	
	100	-	1,201	1,012	
	50	-	1,236	1,037	
-30	430	-	-	1,055	
	200	-	0,171	1,019	
	100	-	0,195	1,034	
	50	-	0,202	-	

Как видно из табл.6, K_{II} не превышает 1,251 при любых длинах пролетов, однако тенденция к увеличению имеется. В реальных расчетах для сталеалюминевых проводов превышение коэффициента перегрузки сверх 1,25 следует ожидать весьма редко.

Таблица 7

по ГОСТ 839-59

Расчетные параметры сталеалюминиевых и алюминиевых проводов и стальных тросов

Наименование провода и троса	Модуль упругости E , кгс/мм ²	Модуль начального растяжения F , кгс/мм ²	Модуль предельного растяжения D , кгс/мм ²	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	$20,0 \cdot 10^3$	$18,9 \cdot 10^3$	$18,9 \cdot 10^3$	$12 \cdot 10^{-6}$

34717М-12-37

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Д.В. Торосян. Исследования механических свойств проводов. Труды Всесоюзной электротехнической ассоциации Лт, ОНТИ, 1935г.
2. О.П. Мазуров. Работа на растяжение сталеалюминевых проводов и их коэффициентов. "Электрические станции", № 11, 1969г., стр. 60-65.
3. Е.П. Никифоров. Экспериментальное исследование механических характеристик сталеалюминевых проводов. Труды ВНИИЭ, вып. XXXIV "Энергия", 1969г., стр. 124-136.
4. А.М. Косельман. 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. R.F. Winkelmann. Механические расчеты и полевые измерения, проведенные Бонновильским Энергоуправлением. - Sag-tension computations and field measurements of Bonneville Power Administration. - IEEE Trans. Power Appar. and Syst., 1960, pp. 15 - 16.
7. Ограничения при натяжении и регулировке стрелы проводов. Отчет комитета IEEE, ноябрь, 12, 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 ИЭИ. Une methode pratique de determination du fluage des conducteurs. "Electra" (France), 1972, № 24, стр. 105-108, 110-137 (РЖ "Электротехника и энергетика" ЗИВ, 1973, № 265).

9. Измерение вытяжки проводов "ЭД № 5283, стр. 105 (РЖ "Электротехника и энергетика", 218, 1968, 2E195).
10. Строительство участка ЛЭП 500 кВ Боневилльская энергосистема-Калифорния. 1967, 19, № 7, стр.42-45 (РЖ "Электротехника и энергетика" 218, 1968, 3E215).
11. Монтаж на линии электропередачи второго провода в фазе с применением предварительной форсированной вытяжки. Титаряко М.И., Шапиро И.М., Сярова Д.А. В сб. "Энерг. стр-во" № 4 (118). М., "Энергия", 1971, стр.47-49 (РЖ "Электротехника и энергетика" 218, 1971, 9E298).
12. Рабочая группа 5 СЭПЭ. Вытяжка проводов, 1972, № 24, стр.54-56 (РЖ "Электротехника и энергетика", 1972, 4E266).
13. Учет вытяжки при монтаже проводов, 1972, 177, № 10, стр. 66-68 (РЖ "Электротехника и энергетика", 1972, 11E171).
14. В.П.Никифоров. Исследование механических характеристик сталеалюминиевых проводов новых конструкций. Научно-технический отчет по теме 4-20/64. БЭИЭ, 1969 г.
15. Ф.П.Матвеев. Механический расчет сталеалюминиевых проводов с учетом остаточных удлинений. "Электрические станции" № 4, 1971.