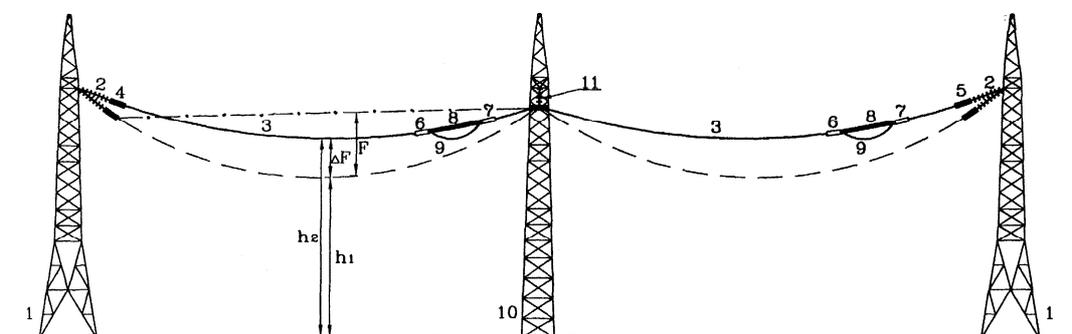


# ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

задания и методические указания  
по выполнению контрольных работ



Прикладная механика: задания и методические указания по выполнению контрольных работ/ Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; сост.: С.А. Булгаков, Е.А. Пшенов, И.В. Тихонкин, – Новосибирск, 2020. – 20 с.

Методическая разработка содержит задания и методические указания для выполнения контрольной работы по прикладной механике. Работа сопровождается примером решения и методическими указаниями по её выполнению. Содержание работы включает прочностной расчет простейшей линии электропередачи, состоящей из проводов и промежуточных одностоечных опор.

Методические указания предназначены для студентов всех направлений подготовки Инженерного института очной и заочной форм обучения (Агроинженерия, Технология транспортных процессов, Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, Профессиональное обучение (по отраслям), Техносферная безопасность) а также студентам, обучающимся по инженерным направлениям подготовки

Утверждены и рекомендованы к переизданию с исправлениями и дополнениями методическим советом Инженерного института (протокол № 2 от 22 сентября 2020 г.).

## ВВЕДЕНИЕ

Для эффективной эксплуатации сложного современного оборудования, применяемого в различных технологических процессах промышленности, бакалавр-инженер должен хорошо знать основные виды и свойства отдельных механизмов, уметь проектировать оптимальные варианты составных частей агрегатов машины в целом и выполнять прочностные расчёты отдельных элементов и деталей машины. Самостоятельное решение задач, поставленных в контрольной работе, закрепляет теоретические знания и способствует лучшему усвоению дисциплины и использованию теории на практике.

### 1 Оформление контрольной работы

Контрольная работа оформляется в виде пояснительной записки с соблюдением ГОСТ ЕСКД.

Пояснительная записка включает: титульный лист, задание для расчета, расчетную часть, список литературы.

Пример оформления титульного листа приведен на рисунке 1.

Пояснительная записка выполняется машинописным текстом или от руки черными чернилами или черной пастой с высотой цифр и букв не менее 2,5 мм на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210×297 мм). На первом листе записки помещается основная надпись формы 2 (рисунок 2), на последующих листах — формы 2а (рисунок 3) по ГОСТ 2.104-68. В графе 2 основной надписи указывается обозначение документа, выполненное по следующей схеме:

***ПМ Кр. 01 24 00. ПЗ***

- шифр документа (пояснительная записка)
- номер варианта задания (24)
- порядковый номер работы (2)
- обозначение работы (контрольная работа)
- обозначение дисциплины (прикладная механика)

Первый лист пояснительной записки должен содержать только задание для расчета: условие задачи, данные и расчетную схему.

Расчетная часть начинается со второго листа. Решение должно сопровождаться краткими, последовательными и грамотными, без сокращения слов, объяснениями, чертежами и графиками. Надо избегать многословных пояснений и пересказа учебника. Язык техники — чертеж и формула.

Все вычисления записываются по следующей схеме: символ вычисляемой величины = формула = численная подстановка всех величин в системе СИ без сокращений = окончательный результат вычислений с указанием размерности. Под формулой должны быть приведены пояснения всех символов, входящих в формулу. Не следует вычислять большое количество значащих цифр, вычисления должны соответствовать необходимой точности (обычно достаточно трех значащих цифр).



## ЗАДАНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

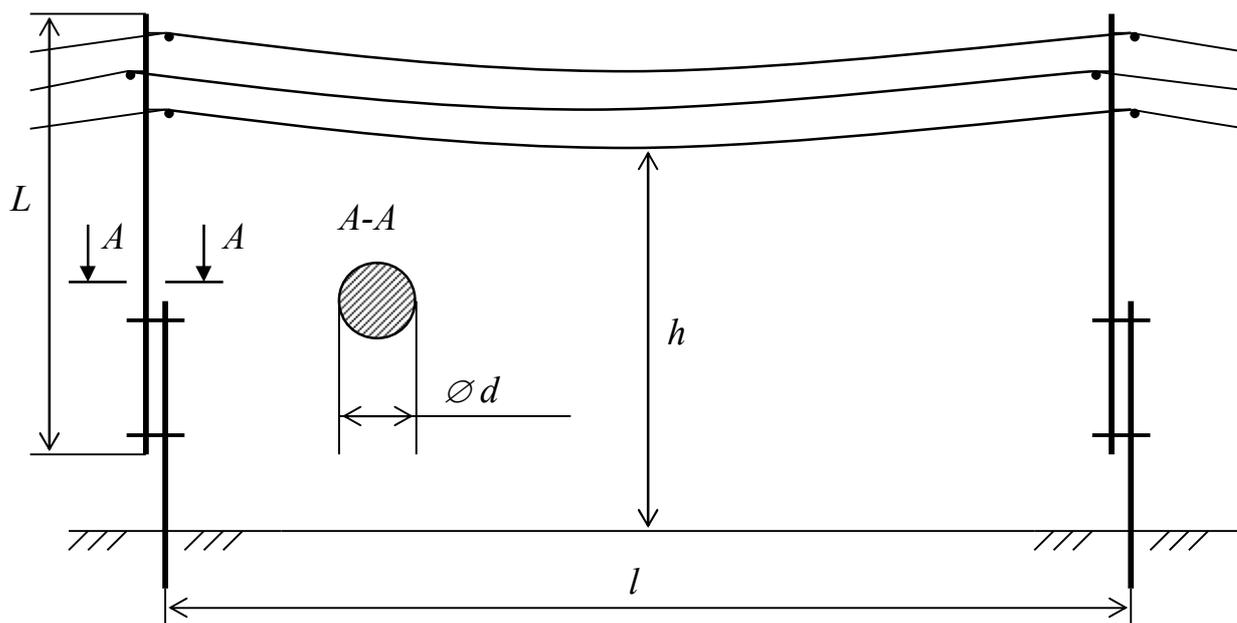


Рисунок 8

Провод диаметром  $d$  при температуре  $t_0$  симметрично подвешивается к опорам, отстоящим друг от друга на расстоянии  $l$ . Число проводов  $n=3$ .

Максимальная температура провода в жаркое время года  $t_{max}$ .

Высота расположения нижней точки провода не должна быть менее  $h_{min}=6$ м от уровня земли.

Минимальная температура зимой  $t_{min}$ .

При понижении температуры до  $t_{обл} = -5^0$  и гололеде, покрывающем провод слоем льда толщиной  $\delta=5$ мм, возможно усиление ветра до скорости  $v=25$  м/с (данные соответствуют климатическим условиям Новосибирской области).

Определить, какую следует принять начальную стрелу провисания  $f_0$  при подвешивании провода, чтобы напряжение в проводе при экстремальных условиях не превышало допустимого значения.

Кроме того, требуется определить необходимые длину деревянной части  $L$  промежуточной опоры с железобетонной приставкой и диаметр  $d$  ее поперечного сечения в аварийном случае обрыва всех проводов с одной стороны.

Материал опоры выбирается по первой цифре варианта. Сосна - нечетный вариант, Ель – для четных вариантов.

Данные для расчета выбрать из таблицы 2 в соответствии со второй цифрой варианта.

В расчете использовать характеристики реальных электрических проводов, приведенные в таблицах приложения Б.

**Таблица 2 – Данные для расчета**

Вторая цифра варианта	Марка провода*	Длина пролета $l, м$	Температура провода, $С^{\circ}$		
			при подвесе $t_0$	максимальная $t_{max}$	минимальная $t_{min}$
1	А16	31	10	30	-40
2	А25	32	11	31	-41
3	АКП16	33	14	34	-44
4	АКП25	34	15	35	-45
5	АН16	35	18	38	-48
6	АЖ25	36	19	38	-48
7	АС16/2,7	37	14	32	-43
8	ПСТ4	38	11	33	-42
9	ПС25	39	13	35	-44
0	АСК10/1,8	31	10	30	-40

Примечание.  
 В марке провода буквы обозначают материал провода, последующие цифры указывают номинальное сечение провода в квадратных миллиметрах. В обозначении стальных однопроволочных проводов ПСТ3, ПСТ4, ПСТ5 цифры соответствуют диаметру провода в миллиметрах.

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТОВ

При расчете на прочность электрических и телеграфных проводов используется *теория расчета гибких нитей* [1], основанная на допущении, что нить работает только на растяжение. В этом случае условие прочности имеет вид

$$\sigma_{max} = \frac{N_{max}}{A} \leq [\sigma]_p, \quad (1)$$

где  $N_{max}$  – максимальное значение продольной силы в сечении нити;

$A$  – площадь поперечного сечения нити;

$[\sigma]_p$  – допускаемое напряжение на растяжение для материала нити.

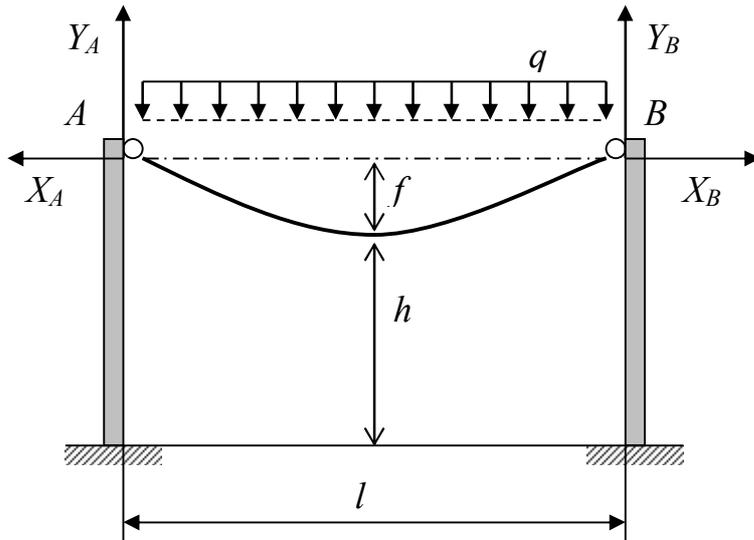


Рисунок 4

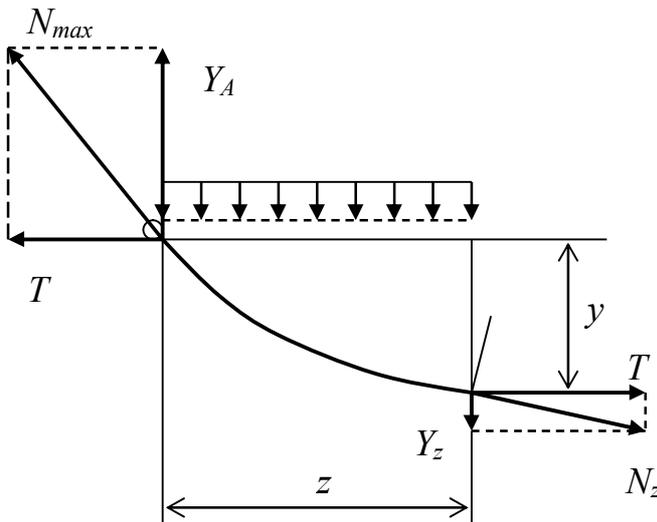


Рисунок 5

Нить считается пологой кривой, поэтому нагрузка  $q$ , действующая на нить, принимается равномерно распределенной по длине пролета (рисунок 4).

Рассмотрим случай, когда точки подвеса нити находятся на одном уровне.

Из условия равновесия провода

$$\sum Y = Y_A + Y_B - ql = 0$$

получаем

$$Y_A = Y_B = ql/2.$$

Горизонтальные составляющие  $X_A$  и  $X_B$  реакций в точках подвески отсюда определить нельзя, то есть расчетная схема гибкой нити один раз статически неопределима.

Используя метод сечений (рисунок 5), можно сделать следующие выводы:

– Горизонтальная составляющая  $T$  продольной силы в любом сечении нити остается постоянной. Она называется *натяжением нити*.

Максимальная продольная сила  $N_{max}$ , по которой нить рассчитывается на прочность, возникает в точках

крепления нити к опорам:

$$N_{max} = \sqrt{(Y_A)^2 + (T)^2} = \sqrt{\left(\frac{ql}{2}\right)^2 + (T)^2}. \quad (2)$$

– Уравнение кривой провисания нити имеет вид квадратичной параболы

$$y = \frac{q}{2T}(lz - z^2). \quad (3)$$

– Максимальное провисание (*стрела провисания f*) будет в середине пролета

$$f = \frac{ql^2}{8T}. \quad (4)$$

– Чтобы найти натяжение нити  $T$ , необходимо знать стрелу провисания  $f$

$$T = \frac{ql^2}{8f}. \quad (5)$$

Рассматривая геометрическую сторону задачи, получим уравнение совместности деформаций в виде

$$L = l + \frac{q^2 l^3}{24T^2} - \frac{Tl}{EA} - \alpha l \cdot (t - t_0), \quad (6)$$

где  $L$  – длина неподвешенной нити;

$E$  – модуль упругости материала нити;

$A$  – площадь поперечного сечения нити;

$\alpha$  – коэффициент линейного расширения материала;

$t_0$  – температура при подвешивании нити;

$t$  – расчетное значение температуры.

Совместное решение уравнений (5) и (6) позволяет найти стрелу провисания  $f$  и натяжение нити  $T$  при температуре  $t$  градусов. Затем определяется максимальное значение продольной силы (2) и проверяется условие прочности (1).

На практике часто приходится учитывать влияние на напряжение и стрелу провисания нити изменения температуры и нагрузки по сравнению с первоначальным состоянием в момент подвеса нити. Обозначим: первоначальные параметры нити в момент ее подвеса –  $t_0, q_0, f_0, T_0, \sigma_0$ ; параметры в любом другом состоянии –  $t_1, q_1, f_1, T_1, \sigma_1$ . Уравнение, связывающее параметры двух состояний, называется **уравнением состояния нити**:

$$f_1^3 - \left[ f_0^2 + \frac{3}{8} \alpha l^2 (t_1 - t_0) - \frac{3}{64} \frac{\gamma_0 l^4}{E f_0} \right] f_1 - \frac{3}{64} \frac{\gamma_1 l^4}{E} = 0, \quad (7)$$

где введены обозначения:

$$\gamma_0 = \frac{q_0}{A}; \quad \gamma_1 = \frac{q_1}{A}.$$

Уравнение (7) можно представить в виде

$$f_1^3 - a f_1 - b = 0, \quad (8)$$

где  $a$  и  $b$  – известные числа.

Уравнение (8) легко решается графически. Для этого необходимо построить графики кубической параболы  $y = f_1^3$  и прямой  $y = a f_1 + b$ ; абсцисса точки их пересечения даст значение искомого провисания  $f_1$ .

При расчете проводов на прочность необходимо учитывать случаи наиболее неблагоприятных сочетаний климатических воздействий. К ним следует отнести два основных расчетных режима:

- обледенение проводов в сочетании с сильным ветром;
- понижение температуры до минимальной отметки в зимний период.

Какой из этих двух случаев наиболее опасен, можно приближенно определить, сопоставляя длину пролета  $l$  с расчетной величиной

$$L_{кр} = [\sigma]_p \sqrt{\frac{24\alpha(t_{обл} - t_{min})}{\gamma_{max}^2 - \gamma_0^2}}, \quad (9)$$

где  $t_{обл}$  – температура обледенения провода (обычно  $t_{обл} = -5^\circ\text{C}$ );

$t_{min}$  – минимальная температура в данном регионе;

$$\gamma_{max} = \frac{q_{max}}{A};$$

$q_{max}$  – интенсивность наибольшей распределенной нагрузки на провод с учетом его обледенения и бокового ветра;

$$\gamma_0 = \frac{q_0}{A};$$

$q_0 = q_n$  – интенсивность распределенной нагрузки от собственного веса провода.

При  $l < L_{кр}$  наибольшие напряжения в проводе будут возникать при минимальной температуре; в случае  $l > L_{кр}$  наиболее опасным будет являться обледенение провода.

### Нагрузки, действующие на провод

Основной нагрузкой, действующей на провод с площадью поперечного сечения  $A$  из материала с плотностью  $\rho_n$ , является собственный вес, имеющий погонную интенсивность

$$q_n = \rho_n g A = \rho_n g (\pi d^2 / 4), \quad (10)$$

где  $d$  – диаметр провода, м. Диаметр (необходимая площадь сечения) провода определяется из электрических соотношений;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения.

Для реальных электрических проводов можно использовать табличные характеристики:

$$q_n = (m / 1000) \cdot g, \quad (11)$$

где  $m$  – масса 1 км провода (приложение Б).

При обледенении провода (толщина льда может достигать 2,5 см) к весу материала добавляется сила веса льда, имеющая интенсивность

$$q_l = \rho_l g A_l = \rho_l g [\pi(D^2 - d^2) / 4], \quad (12)$$

где  $\rho_l$  – плотность льда,  $\text{кг/м}^3$ ;

$D$  – диаметр обледеневшего провода, м.

Давление ветра (напор) на обледеневший провод в горизонтальной плоскости будет иметь интенсивность

$$q_v = K \cdot C \cdot (v^2 / 1,6) D, \quad (13)$$

где  $K = 1,2$  – коэффициент неравномерности воздушного потока;

$C = 0,85$  – аэродинамический коэффициент;

$v$  – скорость ветра, м/с.

Суммарная интенсивность нагрузки на провод будет определяться по формуле

$$q_{max} = \sqrt{(q_n + q_l)^2 + q_g^2} . \quad (14)$$

## ПРИМЕР РАСЧЕТА ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

### Задание

Провода диаметром  $d=4$ мм при температуре  $t_0=15^\circ\text{C}$  подвешиваются к промежуточным опорам, отстоящим друг от друга на расстоянии  $l=50$ м. Материал провода – оцинкованная сталь СтЗ. Число проводов  $n=3$ . Промежуточные опоры – одностоечные; состоят из деревянной стойки (сосна) и железобетонной приставки.

Максимальная температура провода в жаркое время года может достигать  $t_{max} = +50^\circ\text{C}$ , при этом высота расположения нижней точки провода не должна быть менее  $h = 6$ м.

В зимних условиях возможно понижение температуры до  $t_{min} = -50^\circ\text{C}$ .

При понижении температуры до  $t_{обл} = -5^0$  и гололеде, покрывающем провод слоем льда толщиной  $\delta=0,5$ см, возможно усиление ветра до скорости  $v=30$ м/с.

Определить, какую следует принять начальную стрелу провисания  $f_0$  при подвешивании провода, чтобы напряжение в проводе при экстремальных условиях не превышало допустимого значения.

Кроме того, требуется определить необходимую длину деревянной стойки опоры и диаметр ее поперечного сечения при аварийном случае обрыва проводов с одной стороны опоры.

**Справочные данные (приложение А):**

- плотность стали  $\rho_n=7,85 \cdot 10^3 \text{кг/м}^3$ ;
- плотность льда  $\rho_l=0,917 \cdot 10^3 \text{кг/м}^3$ ;
- допустимое напряжение на растяжение при статической нагрузке для стального провода  $[\sigma]_p=150 \text{МПа}$ ;
- допустимое напряжение на изгиб при аварийном режиме для пропитанной сосны  $[\sigma]_{изг}=25 \text{МПа}$ .

### Решение

#### 1 Расчет провода.

Площадь сечения провода

$$A = \pi d^2 / 4 = \pi (0,004)^2 / 4 = 1,25 \cdot 10^{-5} \text{м}^2.$$

Площадь сечения обледенения

$$A_l = \pi (d + 2\delta)^2 / 4 - \pi d^2 / 4 = \pi (0,004 + 2 \cdot 0,005)^2 / 4 - 1,25 \cdot 10^{-5} = 1,41 \cdot 10^{-4} \text{м}^2.$$

Определяем интенсивность нагрузки, действующей на провод:

- вес провода (10)

$$q_n = \rho_n g A = 7,85 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 1,25 \cdot 10^{-5} = 0,963 \text{Н/м};$$

- вес льда (11)

$$q_l = \rho_l g A_l = 0,917 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 1,41 \cdot 10^{-4} = 1,27 \text{Н/м};$$

- ветровая горизонтальная нагрузка в условиях обледенения (13)  
 $q_e = K \cdot C \cdot (\nu^2 / l, 6) (d + 2\delta) = 0,85 \cdot 1,2 \cdot (30^2 / 1,6) \cdot (0,004 + 2 \cdot 0,005) = 7,86 \text{ Н/м};$
- суммарная нагрузка (14)

$$q_{max} = \sqrt{(q_{II} + q_{II})^2 + q_B^2} = \sqrt{(0,963 + 1,27)^2 + (7,86)^2} = 8,17 \text{ Н/м}.$$

Находим относительные нагрузки:

$$\gamma_0 = q_n / A = 0,963 / (1,25 \cdot 10^{-5}) = 7,70 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3;$$

$$\gamma_{max} = q_{max} / A = 8,17 / (1,25 \cdot 10^{-5}) = 6,54 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^3.$$

Определяем, какое из двух состояний (низкая температура зимой или обледенение провода при сильном боковом ветре) будет для провода наиболее опасным.

$$L_{кр} = [\sigma]_p \sqrt{\frac{24\alpha(t_{обл} - t_{min})}{\gamma_{max}^2 - \gamma_0^2}} = 150 \cdot 10^6 \sqrt{\frac{24 \cdot 1,25 \cdot 10^{-5} [-5 - (-50)]}{(6,54 \cdot 10^5)^2 - (7,70 \cdot 10^4)^2}} = 26,8 \text{ м}.$$

Сравнивая величину пролета  $l = 50 \text{ м}$  с величиной  $L_{кр} = 26,8 \text{ м}$  ( $l > L_{кр}$ ), делаем вывод, что наиболее опасным для провода является его обледенение в сочетании с сильным боковым ветром. Это состояние провода принимаем за основное, определяющее прочность провода, **расчетное состояние 1**.

Из условия прочности провода на растяжение (1) определяем максимальное допускаемое значение продольной силы в сечении провода

$$N_I = A \cdot [\sigma]_p = 1,25 \cdot 10^{-5} \cdot 150 \cdot 10^6 = 1875 \text{ Н}.$$

Считая с достаточной для практических расчетов степенью точности, что продольная сила примерно равна натяжению нити  $N_I \cong T_I$ , из равенства (5) вычисляем стрелу провисания провода в определяющем расчетном состоянии

$$f_I = q_I l^2 / 8 T_I = 8,17 \cdot (50)^2 / (8 \cdot 1875) = 1,36 \text{ м},$$

где  $q_I = q_{max}$  – интенсивность распределенной нагрузки на провод в определяющем расчетном состоянии.

Теперь из уравнения состояния провода можно определить величину стрелы провисания провода  $f_0$  при его подвешивании при заданной температуре  $t_0 = 15^\circ \text{C}$  (**расчетное состояние 0**). Для этого уравнение (7) преобразуем относительно  $f_0$  к виду

$$f_0^3 - \left[ f_I^2 + \frac{3}{8} \alpha \ell^2 (t_0 - t_I) - \frac{3}{64} \frac{\gamma_1 \ell^4}{E f_I} \right] f_0 - \frac{3}{64} \frac{\gamma_0 \ell^4}{E} = 0,$$

где  $\gamma_I = \gamma_{max}$  – относительная нагрузка на провод в определяющем расчетном состоянии;

$t_I = t_{обл}$  – температура при определяющем состоянии.

Подставляя числовые значения,

$$f_0^3 - \left[ 1,36^2 + \frac{3}{8} \cdot 1,25 \cdot 10^{-5} \cdot 50^2 \cdot (15 - (-5)) - \frac{3 \cdot 6,45 \cdot 10^5 \cdot 50^4}{64 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 1,36} \right] f_0 - \frac{3 \cdot 7,70 \cdot 10^4 \cdot 50^4}{64 \cdot 2 \cdot 10^{11}} = 0$$

или

$$f_0^3 - 1,389 f_0 - 0,113 = 0. \quad (*)$$

Уравнение (\*) решаем графически. Для этого на листе миллиметровки (рисунок б) строим графики кубической параболы  $y = f_0^3$  (линия “Кубы”) и прямой

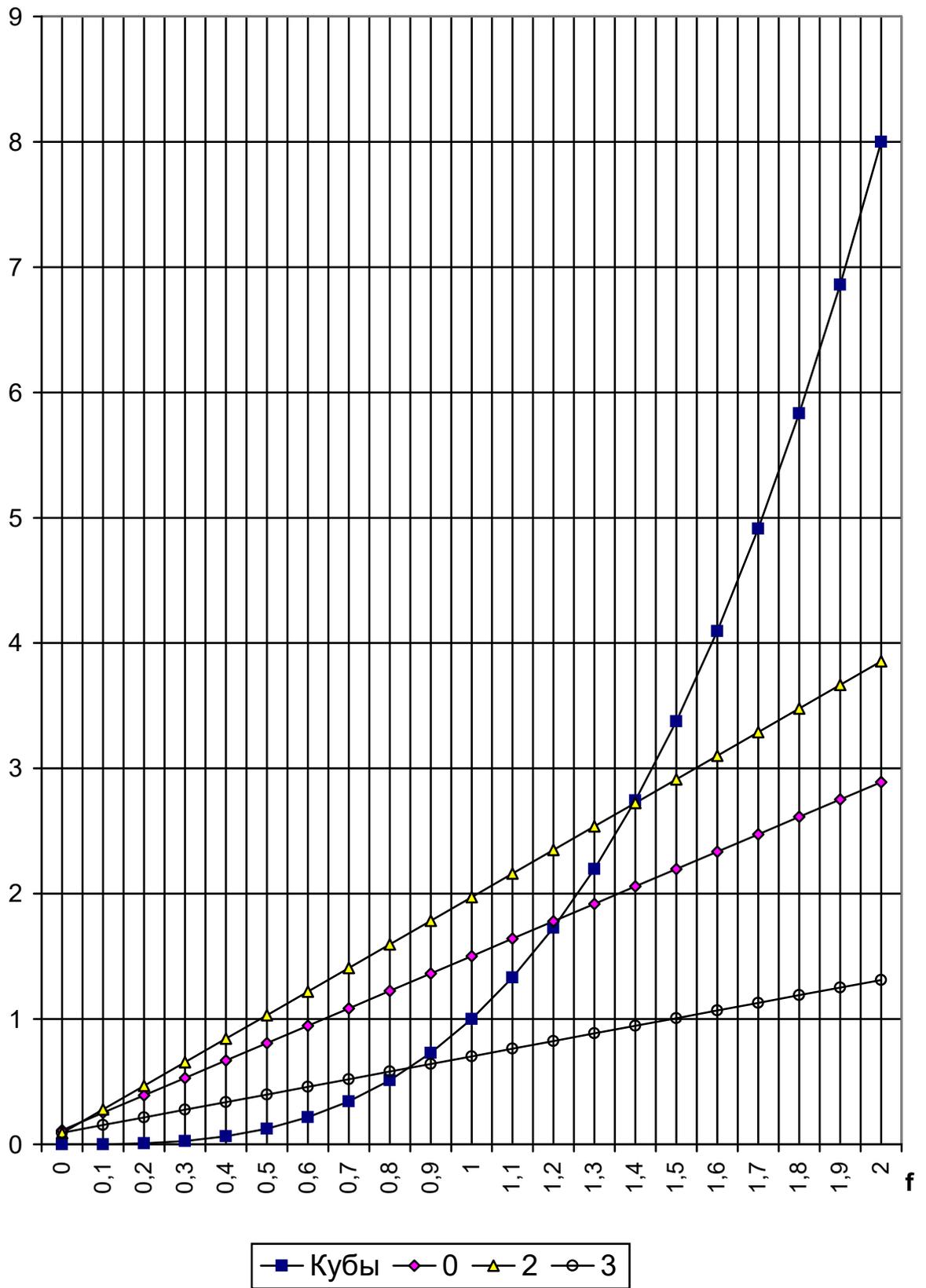


Рисунок 6

$y=1,389f_0+0,113$  (линия 0). Абсцисса точки пересечения двух графиков является решением уравнения (\*):  $f_0=1,21$ м.

Итак, при подвешивании провода должна быть обеспечена первоначальная стрела провиса  $f_0=1,21$ м. При этом в проводе возникает первоначальное натяжение (5)

$$T_0=q_0 l^2/8f_0=0,963 \cdot 50^2/(8 \cdot 1,21)=249\text{Н},$$

где  $q_0=q_n$  – интенсивность нагрузки на провод при подвешивании.

Первоначальное напряжение

$$\sigma_0 \cong T_0/A=249/(1,25 \cdot 10^{-5})=19,9\text{МПа}.$$

Определяем параметры провода в летний период при максимальной температуре (**расчетное состояние 2**). Записываем уравнение (7) для состояния провода 2:

$$f_2^3 - \left[ f_0^2 + \frac{3}{8} \alpha l^2 (t_2 - t_0) - \frac{3}{64} \frac{\gamma_0 l^4}{E f_0} \right] f_2 - \frac{3}{64} \frac{\gamma_2 l^4}{E} = 0,$$

где  $t_2=t_{max}$ ;  $\gamma_2=\gamma_0$ .

После числовой подстановки

$$f_2^3 - 1,882 f_2 - 0,0932 = 0.$$

Графическое решение этого уравнения (рисунок 6, линия 2) дает значение  $f_2=1,39$ м.

Тогда

$$T_2=q_2 l^2/8f_2=0,963 \cdot 50^2/(8 \cdot 1,39)=217\text{Н};$$

$$\sigma_2 \cong T_2/A=217/(1,25 \cdot 10^{-5})=17,3\text{Мпа},$$

где  $q_2=q_0$ .

Определим параметры провода в зимний период при минимальной температуре (**расчетное состояние 3**).

Уравнение состояния (7)

$$f_3^3 - \left[ f_0^2 + \frac{3}{8} \alpha l^2 (t_3 - t_0) - \frac{3}{64} \frac{\gamma_0 l^4}{E f_0} \right] f_3 - \frac{3}{64} \frac{\gamma_3 l^4}{E} = 0,$$

где  $t_3=t_{min}$ ;  $\gamma_3=\gamma_0$ .

Или после числовой подстановки

$$f_3^3 - 0,6092 f_3 - 0,0932 = 0.$$

Графическое решение этого уравнения (рисунок 6, линия 3) дает значение  $f_3=0,85$ м. Тогда

$$T_3=q_3 l^2/8f_3=0,963 \cdot 50^2/(8 \cdot 0,85)=354\text{Н};$$

$$\sigma_3 \cong T_3/A=354/(1,25 \cdot 10^{-5})=28,3\text{Мпа},$$

где  $q_3=q_0$ .

Таким образом, рассмотрены все предложенные условием задачи состояния провода.

Результаты расчета сводим в таблицу.

Таблица 1– Результаты расчета провода

Состояние		Параметры состояния		
№	Характеристика	Натяжение $T, Н$	Стрела провисания $f, м$	Напряжение $\sigma, МПа$
0	Температура +15°C	249	1,21	19,9
1	Температура -5°C, обледенение при сильном боковом ветре	1875	1,36	150
2	Температура +50°C	217	1,39	17,3
3	Температура -50°C	354	0,85	28,3

## 2 Расчет промежуточной опоры.

Одностоечная промежуточная опора (рисунок 7а) состоит из деревянной стойки (бревна) и железобетонной приставки.

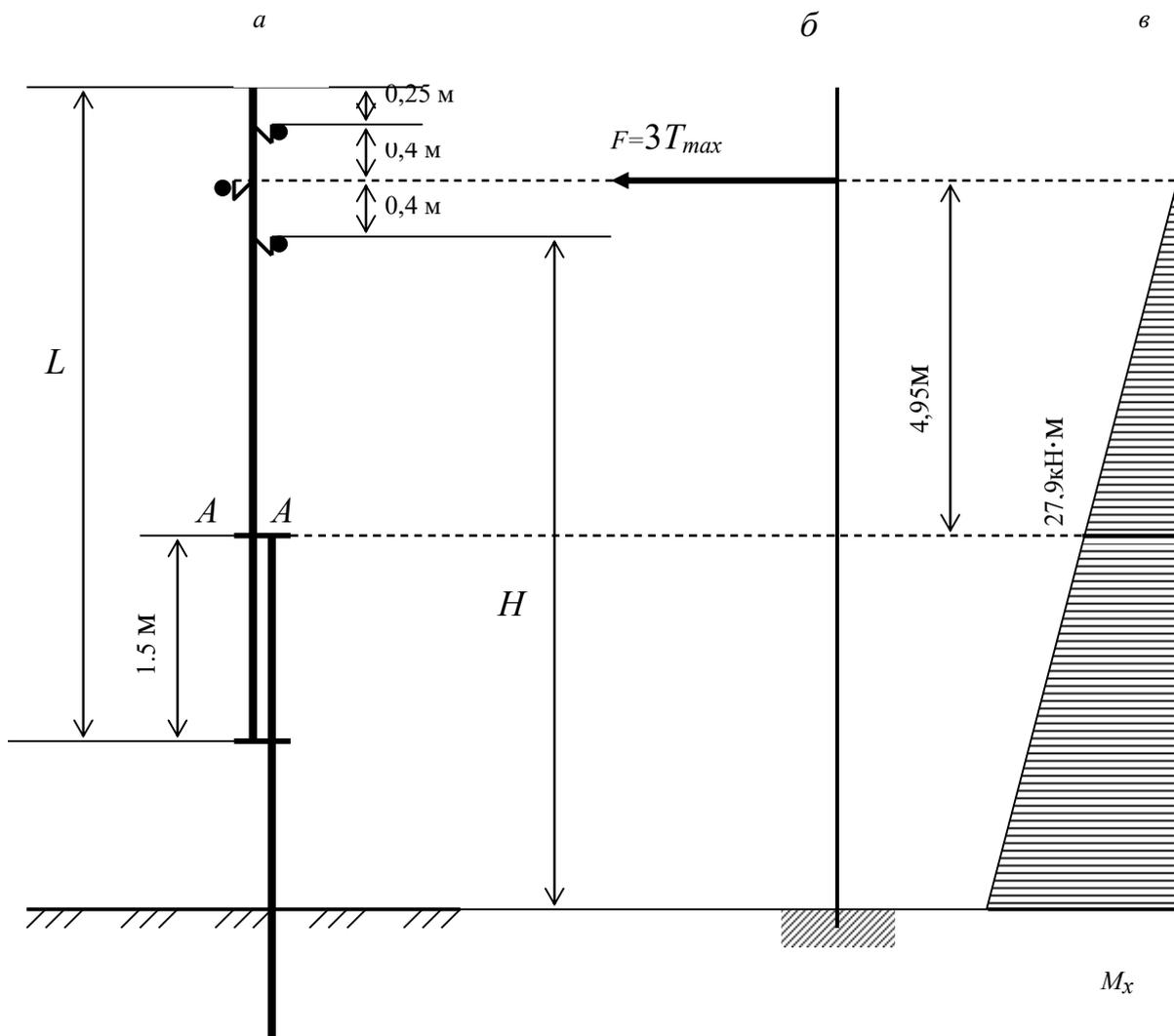


Рисунок 7

Расстояние от вершины опоры до места крепления верхнего провода принимается равным (0,2...0,3)м; расстояние между проводами для линий напряжением до 1 кВ должно быть не менее 40 см; длина перекрытия стойки и приставки составляет 1,5м [3].

При таких исходных данных длина деревянной стойки будет равна:

$$L = h_{min} + f_{max} + 0,4 + 0,4 + 0,25 - 1,5 = 6 + 1,39 + 0,4 + 0,4 + 0,25 - 1,5 = 7,04 \text{ м.}$$

Принимаем длину деревянной стойки  $L = 7,1 \text{ м}$ .

Диаметр сечения стойки определяем из условия прочности на изгиб (14) в предположении обрыва всех проводов с одной стороны столба

$$\sigma_{max} = \frac{|M_x|_{max}}{W_x} \leq [\sigma]_{изг}, \quad (14)$$

где  $|M_x|_{max}$  – абсолютная величина максимального изгибающего момента;

$W_x$  – осевой момент сопротивления сечения;

$[\sigma]_{изг}$  – величина допускаемого напряжения при изгибе.

Расчетная схема опоры представлена на рисунке 7б.

Сила  $F$ , изгибающая опору при обрыве проводов, равна сумме максимального натяжения всех проводов с противоположной стороны

$$F = T_{max} \cdot n = 1875 \cdot 3 = 5,63 \text{ кН,}$$

и приложена, очевидно, на уровне крепления среднего провода.

Эпюра изгибающего момента представлена на рисунке 7в. Максимальный изгибающий момент в деревянной стойке возникает в сечении А-А по оси верхнего бандажа, соединяющего стойку с приставкой.

$$|M_x|_{max} = F (L - 0,25 - 0,4 - 1,5) = 5,63 \cdot (7,1 - 0,25 - 0,4 - 1,5) = 27,9 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Подставив в условие прочности (14) выражение для момента сопротивления круглого сечения

$$W_x = \frac{\pi \cdot d^3}{32},$$

получим формулу

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{32 |M_x|_{max}}{\pi [\sigma]_{изг}}},$$

по которой определяем необходимый диаметр столба

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 27,9 \cdot 10^3}{\pi \cdot 25 \cdot 10^6}} = 0,225 \text{ м.}$$

Принимаем диаметр столба  $D = 24 \text{ см}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. - Киев: Наукова думка, 1975.
2. Королев П.Г. Сопротивление материалов: Справочник по расчетно-проектировочным работам. - Киев: Вища школа, 1974.
3. Будзко И.А., Лещинская Т.Б., Сукманов В.И. Электроснабжение сельского хозяйства. - М.: Колос, 2000.

## ВОПРОСЫ для защиты контрольной работы

1. Какие элементы конструкций называют гибкими нитями?
2. Что означает термин “пологая нить”?
3. Какой вид деформации испытывает воздушный электрический провод?
4. Какие конструкции называют статически неопределимыми?
5. В чем заключается метод раскрытия статической неопределимости конструкции?
6. Написать условие прочности при растяжении и назвать величины, входящие в него.
7. В каком сечении нити возникает максимальная продольная сила?
8. Какая величина называется натяжением нити?
9. Какая величина называется стрелой провисания?
10. Как найти натяжение нити через стрелу провисания?
11. Назвать величины, входящие в уравнение состояния нити; для чего оно используется?
12. Объяснить графическое решение уравнения состояния нити.
13. Какие материалы используются для проводов воздушных электрических линий?
14. Объяснить маркировку электрических проводов.
15. Какие механические нагрузки действуют на воздушные электрические провода?
16. Как найти интенсивность собственного веса провода?
17. Как найти интенсивность нагрузки при обледенении провода?
18. Как найти интенсивность ветровой нагрузки на провод?
19. Назвать наиболее неблагоприятные климатические воздействия на провод.
20. Как определить, какое из экстремальных воздействий (обледенение или низкая температура) для провода является более опасным?
21. Назвать основные виды опор воздушных линий.
22. Какие материалы используются для опор воздушных линий?
23. Какие виды деформации испытывают опоры воздушных линий?
24. Какой аварийный случай принимается в качестве расчетного для промежуточных опор?
25. Написать условие прочности при изгибе и назвать входящие в него величины.
26. Какие сечения составных опор являются наиболее опасными?

## Приложение А

(справочное)

### Физико-механические свойства материалов и электрических проводов

Таблица А.1 – Физическо-механические свойства некоторых материалов

Материал провода	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент линейного расширения $\alpha$ , $\times 10^{-5}$ 1/град	Модуль упругости $E$ , $\times 10^{11}$ Па	Допускаемое напряжение на растяжение $[\sigma]_p$ , МПа
Сталь	7850	1,0÷1,3	2,0	150
Медь	8960	1,65÷1,75	1,1	80
Алюминий	2700	2,4÷2,6	0,7	70
Лед	917	-	-	-

Таблица А.2 - Физико-механические характеристики проводов и тросов

Провода и тросы	Коэффициент линейного расширения $\alpha$ , $\times 10^{-5}$ 1/град	Модуль упругости $E$ , $\times 10^{11}$ Па
Алюминиевые		
А, АКП	2,3	0,63
АН, АЖ	2,3	0,65
Сталеалюминиевые		
АС, АСКС, АСКП, АСК		
при соотношении А/С:		
6,0...6,25	1,92	0,825
0,95	1,45	1,34
0,65	1,39	1,46
4,29...4,39	1,83	0,89
7,71...8,04	1,98	0,77
1,46	1,55	1,14
12,22; 17,93; 18,09	2,12	0,665
Стальные		
ПС	1,2	2,0
ТК	1,2	2,0

Таблица А.3 – Механические свойства пропитанной древесины (стоек) при расчете в аварийном режиме

Порода дерева	Модуль упругости вдоль волокон $E$ , $\times 10^9$ Па	Допускаемое напряжение на изгиб $[\sigma]_{изг}$ , МПа
Сосна	1	25
Лиственница	1	30
Ель	1	22

**Приложение Б**  
(справочное)  
**Характеристики электрических проводов**

**Таблица Б.1 - Характеристики алюминиевых проводов марок А и АКП**

Диаметр провода $d$ , мм	Площадь сечения $A$ , мм <sup>2</sup>	Масса 1 км провода, кг	Допускаемое напряжение на разрыв $[\sigma]_p$ , МПа
5,1	15,9	43	55
6,4	24,9	68	55
7,5	34,3	94	55
9,0	49,5	135	55

**Таблица Б.2 - Характеристики алюминиевых проводов марок АН и АЖ**

Диаметр провода $d$ , мм	Площадь сечения $A$ , мм <sup>2</sup>	Масса 1 км провода, кг	Допускаемое напряжение на разрыв $[\sigma]_p$ , МПа	
			АН	АЖ
5,1	15,9	43	80	110
6,4	24,9	68	80	110
7,5	34,3	94	80	110
9,0	49,5	135	80	110

**Таблица Б.3 - Характеристики сталеалюминиевых проводов марок АС, АСК**

Диаметр провода $d$ , мм	Площадь сечения $A$ , мм <sup>2</sup>	Масса 1 км провода, кг			Допускаемое напряжение на разрыв $[\sigma]_p$ , МПа
		провода	алюминия	стали	
4,5	12,37	42,7	28,9	13,8	120
5,6	18,79	65	44,0	20,9	130
6,9	29,05	100	67,9	32,4	120
8,4	43,05	149	100	48,0	110
9,6	56,24	194	132	63,0	100

**Таблица Б.4 – Характеристики стальных проводов**

Марка провода	Площадь сечения $A$ , мм <sup>2</sup>	Расчетный диаметр провода $d$ , мм	Масса 1 км провода, кг	Допускаемое напряжение на разрыв $[\sigma]_p$ , МПа
ПСТ3	7,1	3,0	56	185
ПСТ4	12,6	4,0	99	185
ПСТ5	19,6	5,0	154	185
ПС25	24,6	6,8	194	185
ПС35	34,4	7,5	272	185
ПС50	49,4	9,2	382	185



Составители: *Булгаков Сергей Алексеевич*  
*Пшенов Евгений Александрович*  
*Тихонкин Игорь Васильевич*

**ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА**  
**задания и методические указания по**  
**выполнению контрольных работ**

Редактор                      Н.К. Крупина  
Компьютерная вёрстка С.А.Булгаков

Подписано в печать 22 сентября 2020 г.  
Формат 84×108/32. Объем 1,25 уч.-изд. л  
Тираж 100 экз.

Издательский центр Новосибирский ГАУ  
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160