

Анкерная тяга АТ

Расчет на прочность

Содержание

1	Условные обозначения.....	4
2	Исходные данные для расчета.....	5
2.1	Расчетные параметры	5
2.2	Механические характеристики.....	6
2.3	Расчетные характеристики.....	6
3	Методика расчета	8
4	Расчет на прочность элементов анкерной тяги	9
4.1	Звено.....	9
4.2	Шпилька.....	10
4.3	Муфты МС, МН	12
4.4	Сварное соединение шпильки и звена.....	13
4.5	Гайка	13
4.6	Расчет анкерной тяги в условиях монтажа.....	14
5	Заключение.....	16
	Литература	17

В настоящей работе проведен расчет прочности анкерной тяги АТ.

Расчет проведен в соответствии с / 1 /.

1 Условные обозначения

1.1 Условные обозначения приняты в соответствии с / 1 /, / 3 /.

A_n – площадь сечения, мм²;

A_w – площадь поперечного сечения резьбовой части, мм²;

D – наружный диаметр, мм;

d – внутренний диаметр, мм;

d_1 – внутренний диаметр резьбы, мм;

K_1 – коэффициент полноты резьбы;

K_m – коэффициент, учитывающий изменение деформации витков по высоте гайки;

N – продольная сила, Н;

M_k – крутящий момент, действующий на шпильку при затяжке, Нмм;

$M_{кл}$ – момент на ключе при затяжке, Нмм;

R_{yn} – предел текучести стали, принимаемый равным значению предела текучести по государственным стандартам и техническим условиям на сталь, МПа;

R_{un} – временное сопротивление стали разрыву, принимаемое равным минимальному значению временного сопротивления по государственным стандартам и техническим условиям, МПа;

R_y – расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести, МПа;

R_u – расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по временному сопротивлению, МПа;

R_{wy} – расчетное сопротивление стыковых сварных соединений сжатию, растяжению и изгибу по пределу текучести, МПа;

R_{bun} – нормативное сопротивление стали болтов, принимаемое равным временному сопротивлению по государственным стандартам и техническим условиям на болты, МПа;

R_{bs} – расчетное сопротивление болтов срезу, МПа;

R_{bt} – расчетное сопротивление болтов растяжению, МПа;

γ_c – коэффициент условий работы;

γ_m – коэффициент надежности по материалу;

γ_u – коэффициент надежности в расчетах по временному сопротивлению;

σ_{mw} – напряжения растяжения в резьбовой части, МПа;

τ_p – напряжения среза в резьбовой части, МПа;

τ_{sw} – напряжения кручения, МПа.

2 Исходные данные для расчета

2.1 Расчетные параметры

2.1.1 Расчетное растягивающее усилие, действующее на анкерную тягу

$$N = 200000 \text{ кгс} = 200000 \cdot 9,81 = 1962000 \text{ Н.}$$

2.1.2 Ориентировочная масса анкерной тяги $m \approx 2500$ кг.

2.1.3 Эскиз анкерной тяги приведен на рисунке 1.1.

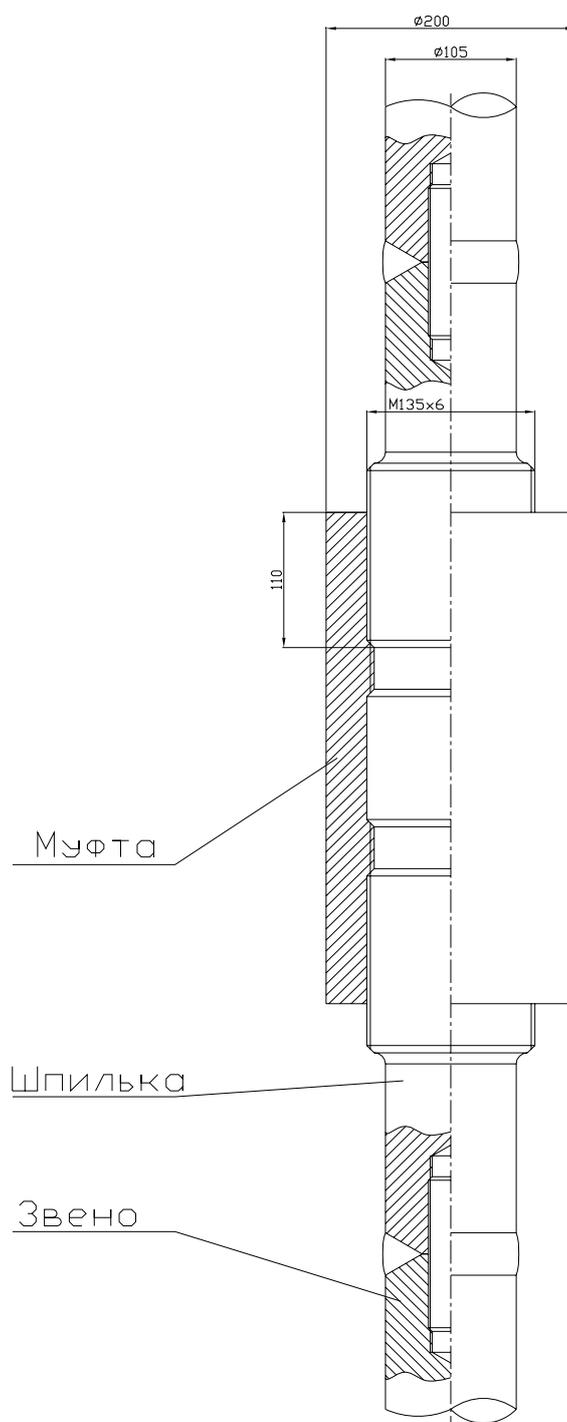


Рисунок 1.1

2.2 Механические характеристики

2.2.1 Механические характеристики материалов анкерной тяги приведены в таблице 1.1. Механические характеристики приведены для температуры 20°C.

Таблица 1.1

Элемент конструкции	Класс прочности стали, наименование стали	R_{yn} , МПа	R_{un} , МПа
Муфты МН, МС; гайка	С345 ГОСТ 27772-88	265	430
Звено, шпилька	С345 ГОСТ 19281-89	265	430

Вследствие отсутствия механических характеристик в ГОСТ 19281-89 для стали с классом прочности 345 с сечением более 20 мм механические характеристики приняты в соответствии с / 2 / для стали 09Г2С с сечением от 32 мм до 160 мм.

2.3 Расчетные характеристики

2.3.1 Расчетные сопротивления материалов анкерной тяги определены в соответствии с / 1 /.

2.3.2 Расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести / 1, таблица 1 /:

$$R_y = R_{yn} / \gamma_m,$$

где $\gamma_m = 1,025$ (для материала по ГОСТ 27772-88) / 1, таблица 2 /;

$\gamma_m = 1,05$ (для материала по ГОСТ 19281-73) / 1, таблица 2 /.

2.3.3 Расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по временному сопротивлению / 1, таблица 1 /:

$$R_u = R_{un} / \gamma_m.$$

2.3.4 Расчетные сопротивления стыковых сварных соединений, работающих на растяжение (автоматическая, полуавтоматическая или ручная сварка с физическим контролем качества швов) / 1, таблица 3 /:

по пределу текучести $R_{wy} = R_y$;

по временному сопротивлению $R_{wu} = R_u$.

Механические характеристики металла сварных швов должны быть не ниже свойств основного металла.

2.3.5 Расчетные сопротивления резьбовых соединений / 1, таблица 5 /:

на срез $R_{bs} = 0,38R_{bun}$;

на растяжение $R_{bt} = 0,38R_{bun}$.

2.3.6 Расчетные сопротивления материалов анкерной тяги приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Элемент конструкции	Класс прочности стали, наименование стали	R_y , МПа	R_u , МПа	R_{wy} , МПа	R_{wu} , МПа	R_{bs} , МПа	R_{bt} , МПа
Муфты МН, МС	С345 ГОСТ 27772-88	258	419	258	419	163	163
Звено, шпилька	345 ГОСТ 19281-89	252	409	252	409	163	163

3 Методика расчета

3.1 Расчет прочности анкерной тяги проводился по методике / 1 /.

3.2 Расчет прочности резьбового соединения анкерной тяги проводился по методике / 1 /, / 3 /.

4 Расчет на прочность элементов анкерной тяги

4.1 Звено

4.1.1 Расчет центральной части звена, подверженной растяжению, проводится по формуле / 1, формула 5 /:

$$\frac{N}{A_n} \leq R_y \gamma_c.$$

Площадь поперечного сечения звена в центральной части:

$$A_n = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{3,14}{4} 105^2 = 8655 \text{ мм}^2,$$

где $D = 105$ мм – наружный диаметр звена.

Коэффициент условий работы / 1, таблица 6 /: $\gamma_c = 0,9$.

$$\frac{N}{A_n} = \frac{1962000}{8655} = 227 \text{ МПа.}$$

$$R_y \gamma_c = 252 \cdot 0,9 = 227 \text{ МПа.}$$

$$\frac{N}{A_n} = 227 \text{ МПа} = R_y \gamma_c = 227 \text{ МПа} \quad - \text{ условие прочности центральной части звена}$$

выполнено.

4.1.2 Расчет звена в зоне сварного соединения

Площадь поперечного сечения звена в зоне сварного соединения:

$$A_n = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \frac{3,14}{4} (105^2 - 40^2) = 7399 \text{ мм}^2,$$

где $D = 105$ мм – наружный диаметр звена;

$d = 40$ мм – внутренний диаметр звена в зоне сварного соединения.

Напряжение в звене в зоне сварного соединения

$$\frac{N}{A_n} = \frac{1962000}{7399} = 265 \text{ МПа.}$$

Учитывая, что напряжение растяжения не превышает предел текучести материала звена $R_{yn} = 265$ МПа, а эксплуатация анкерной тяги возможна и после его достижения, расчет прочности звена проводится по формуле / 1, формула 6 /:

$$\frac{N}{A_n} \leq \frac{R_u \gamma_c}{\gamma_u}.$$

Коэффициент надежности при расчетах по временному сопротивлению:

$$\gamma_u = 1,3 / 1, \text{ раздел 4 /}.$$

$$\frac{R_u \gamma_c}{\gamma_u} = \frac{409 \cdot 0,9}{1,3} = 283 \text{ МПа.}$$

$$\frac{N}{A_n} = 265 \text{ МПа} \leq \frac{R_u \gamma_c}{\gamma_u} = 283 \text{ МПа} - \text{условие прочности звена в зоне сварного соединения}$$

выполнено.

4.2 Шпилька

4.2.1 Расчет шпильки в зоне сварного соединения

Площадь поперечного сечения шпильки в зоне сварного соединения:

$$A_n = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \frac{3,14}{4} (105^2 - 40^2) = 7399 \text{ мм}^2,$$

где $D = 105$ мм – наружный диаметр шпильки в зоне сварного соединения;

$d = 40$ мм – внутренний диаметр шпильки в зоне сварного соединения.

Коэффициент условий работы / 1, таблица 6 /: $\gamma_c = 0,9$.

Коэффициент надежности при расчетах по временному сопротивлению:

$$\gamma_u = 1,3 / 1, \text{ раздел 4 /.}$$

Напряжение растяжения в шпильке в зоне сварного соединения

$$\frac{N}{A_n} = \frac{1962000}{7399} = 265 \text{ МПа.}$$

Учитывая, что напряжение растяжения не превышает предел текучести материала шпильки $R_{yn} = 265$ МПа, а эксплуатация анкерной тяги возможна и после его достижения, расчет прочности шпильки проводится по формуле / 1, формула 6 /:

$$\frac{N}{A_n} \leq \frac{R_u \gamma_c}{\gamma_u}.$$

$$\frac{R_u \gamma_c}{\gamma_u} = \frac{409 \cdot 0,9}{1,3} = 283 \text{ МПа.}$$

$$\frac{N}{A_n} = 265 \text{ МПа} \leq \frac{R_u \gamma_c}{\gamma_u} = 283 \text{ МПа} - \text{условие прочности шпильки в зоне сварного}$$

соединения выполнено.

4.2.2 Расчет резьбовой части шпильки

4.2.2.1 Расчет напряжений растяжения в резьбовой части шпильки

Площадь поперечного сечения резьбовой части шпильки:

$$A_n = \frac{\pi}{4} d_1^2 = \frac{3,14}{4} 128,505^2 = 12963 \text{ мм}^2,$$

где $d_1 = 128,505$ мм – внутренний диаметр резьбы М135х6 / 4 /.

Напряжения растяжения в резьбовой части шпильки

$$\sigma_{mw} = \frac{N}{A_n} = \frac{1962000}{12963} = 151 \text{ МПа} < R_{bt} = 163 \text{ МПа}.$$

4.2.2.2 Расчет напряжения среза в резьбе / 3 /:

$$\tau_p = \frac{N}{\pi d_1 h K_1 K_m} = \frac{1962000}{3,14 \cdot 128,505 \cdot 110 \cdot 0,75 \cdot 0,6} = 98,2 \text{ МПа} < R_{bs} = 163 \text{ МПа},$$

где $K_1 = 0,75 / 3 /$;

$K_m = 0,6 / 3 /$;

$h = 110$ мм - рабочая высота резьбы шпильки и муфты.

4.2.2.3 Крутящий момент, действующий на шпильку при затяжке для создания в анкерной тяге усилия 1962000 Н (200000 кгс) / 3 /:

$$M_k = \zeta N d_0 = 0,13 \cdot 1962000 \cdot 135 = 3,44 \cdot 10^7 \text{ Н мм},$$

где $\zeta = 0,13$ (затяг со смазкой),

$d_0 = 135$ мм - наружный диаметр резьбы шпильки.

4.2.2.4 Напряжение кручения в шпильке в наиболее ослабленном сечении (зона сварного соединения) / 3 /:

$$\tau_{sw} = \frac{M_k}{W_k} = \frac{3,44 \cdot 10^7}{2,224 \cdot 10^5} = 155 \text{ МПа} < R_{bs} = 163 \text{ МПа},$$

$$\text{где } W_k = \frac{\pi D^3}{16} \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right) = \frac{3,14 \cdot 105^3}{16} \left(1 - \frac{40^4}{105^4}\right) = 2,224 \cdot 10^5 \text{ мм}^3.$$

Условие прочности шпильки выполнено.

4.2.2.5 Момент на ключе при затяжке для создания в анкерной тяге усилия 1962000 Н (200000 кгс) (затяг со смазкой) / 3 /:

$$M_{кл} = \zeta_1 F_{0w} d_0 = 0,26 \cdot 1962000 \cdot 135 = 6,887 \cdot 10^7 \text{ Н мм} = 7000 \text{ кгс} \cdot \text{м},$$

где $\zeta_1 = 0,26 / 3 /$.

Внимание! В данном расчете не рассматривался вопрос о способе создания на муфте указанного момента.

4.3 Муфты МС, МН

4.3.1 Расчет центральной части муфты, подверженной растяжению, проводится по формуле / 1, формула 5 /:

$$\frac{N}{A_n} \leq R_y \gamma_c.$$

Площадь поперечного сечения муфты в центральной части:

$$A_n = \frac{\pi}{4}(D^2 - d_0^2) = \frac{3,14}{4}(200^2 - 135^2) = 17093 \text{ мм}^2,$$

где $D = 200$ мм – наружный диаметр муфты.

Коэффициент условий работы / 1, таблица 6 /: $\gamma_c = 0,9$.

$$\frac{N}{A_n} = \frac{1962000}{17093} = 115 \text{ МПа.}$$

$$R_y \gamma_c = 258 \cdot 0,9 = 232 \text{ МПа.}$$

$$\frac{N}{A_n} = 115 \text{ МПа} \leq R_y \gamma_c = 232 \text{ МПа} \quad - \quad \text{условие прочности центральной части муфты}$$

выполнено.

4.3.2 Расчет напряжения среза в резьбе муфты / 3 /.

$$\tau_p = \frac{N}{\pi d_1 h K_1 K_m} = \frac{1962000}{3,14 \cdot 128,505 \cdot 110 \cdot 0,87 \cdot 0,6} = 85 \text{ МПа} < R_{bs} = 163 \text{ МПа,}$$

где $K_1 = 0,87 / 3 /$.

Условие прочности резьбовой части муфты выполнено.

Внимание! В данном расчете не рассматривался вопрос прочности муфты с учетом способа создания на ней момента, приведенного в п.4.2.2.5.

4.4 Сварное соединение шпильки и звена

4.4.1 Площадь поперечного сечения сварного соединения:

$$A_n = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) = \frac{3,14}{4}(105^2 - 40^2) = 7399 \text{ мм}^2.$$

$$\frac{N}{A_n} = \frac{1962000}{7399} = 265 \text{ МПа}.$$

Учитывая, что напряжение растяжения не превышает предел текучести материала шпильки и звена $R_{yn} = 265$ МПа, а эксплуатация анкерной тяги возможна после его достижения, расчет прочности стыкового сварного соединения проводится по формуле / 1, формула 6 /:

$$\frac{N}{A_n} \leq \frac{R_{wu} \gamma_c}{\gamma_u}$$

Коэффициент условий работы / 1, таблица 6 /: $\gamma_c = 0,9$.

Коэффициент надежности при расчетах по временному сопротивлению:

$$\gamma_u = 1,3 / 1, \text{ раздел 4 /}.$$

$$\frac{R_{wu} \gamma_c}{\gamma_u} = \frac{409 \cdot 0,9}{1,3} = 283 \text{ МПа}.$$

$$\frac{N}{A_n} = 265 \text{ МПа} \leq \frac{R_{wu} \gamma_c}{\gamma_u} = 283 \text{ МПа} - \text{условие прочности сварного соединения шпильки и}$$

звена выполнено.

4.5 Гайка

4.5.1 Гайка М135х6 должна быть изготовлена из стали 09Г2С с высотой резьбовой части 110 мм (как в муфте МН).

4.5.2 Напряжение среза в резьбе гайки / 3 /

$$\tau_p = \frac{N}{\pi d_1 h K_1 K_m} = \frac{1962000}{3,14 \cdot 128,505 \cdot 110 \cdot 0,87 \cdot 0,6} = 85 \text{ МПа} < R_{bs} = 163 \text{ МПа},$$

где $K_1 = 0,87 / 3 /$,

$h = 110$ мм – рабочая высота резьбы гайки.

Условие прочности резьбы гайки выполнено.

4.6 Расчет анкерной тяги в условиях монтажа

4.6.1 При расчете анкерная тяга заменялась стержневым элементом постоянного сечения с диаметром 105 мм. Целью расчета являлось определение максимальных напряжений в стержне и рациональное расположение точек подвеса балки. Коэффициент перегрузки при подъеме и монтаже стержня принимался равным 2.

Площадь поперечного сечения стержня:

$$A_n = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{3,14}{4} 105^2 = 8655 \text{ мм}^2.$$

Момент сопротивления сечения при изгибе:

$$W = \frac{\pi}{32} D^3 = \frac{3,14}{32} 105^3 = 1,136 \cdot 10^5 \text{ мм}^3 = 0,0001136 \text{ м}^3.$$

На стержень действует распределенная нагрузка, учитывающая собственную массу стержня $m \approx 2500$ кг и коэффициент перегрузки 2:

$$q = mgk / L = 2500 \cdot 9,81 \cdot 2 / 33,65 = 1458 \text{ Н/м},$$

где $L = 33,65$ м – длина стержня.

4.6.2 Расчетный случай 1. Стержень опирается на две опоры. Опоры располагались таким образом, чтобы максимально разгрузить стержень. Расчетная схема приведена на рисунке 4.1.

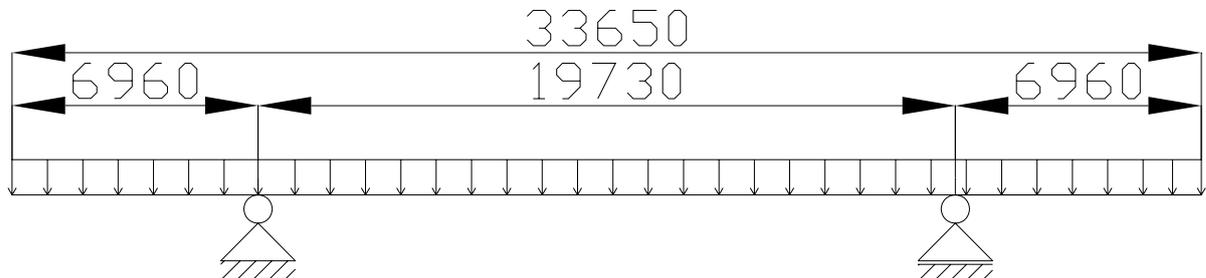


Рисунок 4.1

Максимальный изгибающий момент, действующий на стержень:

$$M = qL^2 / 46,6 = 1458 \cdot 33,65^2 / 46,6 = 35428 \text{ Нм}.$$

Максимальные напряжения в стержне:

$$\sigma = M / W = 35428 / 0,0001136 = 3,12 \cdot 10^8 \text{ Па} = 312 \text{ МПа} > R_y = 252 \text{ МПа}.$$

Условие прочности анкерной тяги в условиях монтажа при подвесе за две точки не выполнено.

4.6.3 Расчетный случай 2. Стержень опирается на три опоры. Опоры располагались таким образом, чтобы максимально разгрузить стержень. Расчетная схема приведена на рисунке 4.2.

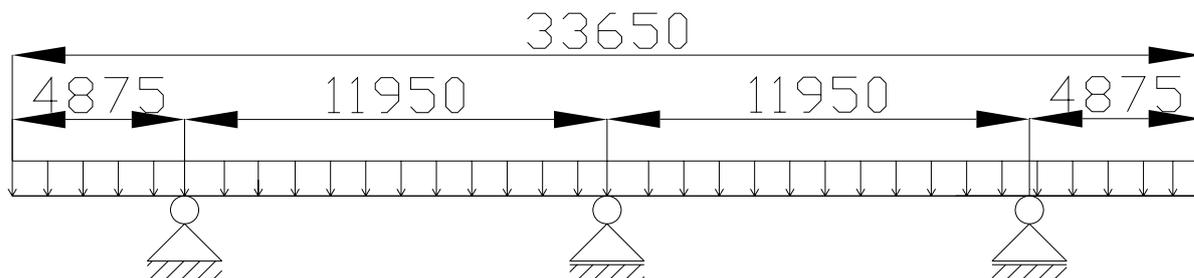


Рисунок 4.2

Максимальный изгибающий момент, действующий на стержень:

$$M = ql^2 / 12 = 1458 \cdot 11,95^2 / 12 = 17351 \text{ Нм.}$$

Максимальные напряжения в стержне:

$$\sigma = M / W = 17351 / 0,0001136 = 1,53 \cdot 10^8 \text{ Па} = 153 \text{ МПа} < R_y = 252 \text{ МПа.}$$

Условие прочности анкерной тяги в условиях монтажа при подвесе за три точки выполнено.

5 Заключение

5.1 Проведенный расчет прочности элементов анкерной тяги АТ подтверждает их прочность в соответствии с требованиями / 1 /.

5.2 Решение о способе создания в анкерной тяге усилия 200000 кгс должно быть принято конструкторской организацией, после чего должно быть принято окончательное решение о конструкции муфты МС.

Литература

- 1 СНиП II-23-81. Стальные конструкции.
- 2 Марочник сталей и сплавов / М.М.Колосков, Е.Т.Долбенко, Ю.В.Каширский и др.; Под общей ред. А.С.Зубченко – М.: Машиностроение, 2001. 672с.:илл.
- 3 Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г-7-002-86) / Госатомэнергонадзор СССР.– М.: Энергоатомиздат, 1989.
- 4 В.И.Анурьев. Справочник конструктора-машиностроителя. Изд. 3-е, переработ. М., изд-во «Машиностроение», 1968.
- 5 ГОСТ 27772-88 Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия.
- 6 ГОСТ 19281-89 Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия.