Краевое Государственное автономное образовательное учреждение среднего профессионального образования «Нытвенский промышленно экономический техникум»

##### **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

для студентов

Дисциплина:Техническая механика

**Расчетно-графическая работа**

***Расчет на прочность и жесткость при растяжении-сжатии***

Базовая подготовка

Нытва 2014

Методические рекомендации к выполнению расчетно-графической работы по теме «Расчет на прочность и жесткость при растяжении и сжатии» разработаны для обучающихся по профессии 13.01.10 «Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования (по отраслям)»

|  |
| --- |
|  |
| Утверждена  Зам.директора по УМР  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Т.Г.Мялицина  «\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2014 г.  Организация разработчик:  Краевое государственное автономное образовательное учреждение среднего профессионального образования «Нытвенский промышленно-экономический техникум»  Разработчик: Губина Татьяна Николаевна, преподаватель высшей категории  Рекомендована цикловой методической комиссией,  протокол №\_\_\_от «\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2014 г.  Председатель\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/ | |

Пояснительная записка

В методических рекомендациях к выполнению расчетно-графической работы по теме «Расчет на прочность и жесткость при растяжении и сжатии» для студентов, рассматривается поверочный расчет на прочность и жесткость ступенчатого бруса.

Необходимо подобрать площади поперечных сечений стержней при заданном силовом воздействии, а также определить монтажные и температурные напряжения.

В методических рекомендациях приводятся исходные данные для выполнения расчетно-графической работы, рассмотрен пример выполнения работы, приведены контрольные вопросы и задачи для самостоятельной подготовки, а также основные справочные данные по теме: «Расчет на прочность и жесткость при растяжении-сжатии».

***РАСЧЕТ СТУПЕНЧАТОГО БРУСА***

|  |  |
| --- | --- |
| **l*1***  **l*1***  A  B  **C**  **D**  **l*2***  **l*3***  **A**  **B**  **F1**  **F2**  **F3**  **F4**  **F5**  **F6**  **F7**  **D*1***  **D*2***  **D*3***  **d*1***  **d*2***  **d*3***  Рис.1 | Для заданной расчетной схемы ступенчатого бруса (Рис.1) требуется:  1. Определить величину продольной силы N и напряжения σ на каждом участке. Проверить прочность бруса.  2. Определить абсолютное удлинение бруса Δl от заданной нагрузки и температурное удлинение Δlt. Проверить жесткость бруса в обоих случаях.  Данные взять из таблицы 1. |

Есталь= 2⋅105 МПа = 2⋅104 кН/см2, α 120⋅10-71/град

Емедь= 1⋅105 МПа = 1⋅104 кН/см2, α = 165⋅10-71/град

Еалюмин= 0.69⋅105 МПа = 0,69⋅104 кН/см2, α = 225⋅10-71/град

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Нагрузка (кН)** | | | | | | | **Длина (м)** | | | **Размеры попер. сечения, мм** | | | | | | **материал** | **[σ]**  **МПа** | **[Δl]**  **мм** |
|  | **F1** | **F2** | **F3** | **F4** | **F5** | **F6** | **F7** | **l1** | **l2** | **l3** | **D1** | **d1** | **D2** | **d2** | **D3** | **d3** |
| **1** | 36 | 8 | 2 | 12 | 25 | 6 | 0 | 1.0 | 0.6 | 0.8 | 32 | 30 | 28 | 10 | 26 | 10 | ст.2 | 140 | 2.5 |
| **2** | 20 | 2 | 30 | 10 | 15 | 20 | 8 | 1.2 | 1.0 | 0.8 | 54 | 30 | 32 | 16 | 18 | 6 | ст.3 | 160 | 2 |
| **3** | 30 | 20 | 2 | 20 | 0 | 18 | 6 | 1.2 | 1.2 | 0.8 | 50 | 48 | 48 | 26 | 24 | 12 | медь | 100 | 1 |
| **4** | 15 | 40 | 25 | 5 | 30 | 20 | 10 | 0.8 | 1.0 | 0.6 | 38 | 36 | 50 | 36 | 24 | 20 | алюм | 80 | 1.5 |
| **5** | 28 | 8 | 36 | 8 | 25 | 6 | 0 | 1.0 | 0.8 | 0.8 | 24 | 20 | 30 | 20 | 54 | 50 | ст.2 | 140 | 2 |
| **6** | 32 | 2 | 18 | 2 | 28 | 6 | 12 | 1.0 | 1.0 | 0.8 | 38 | 36 | 18 | 4 | 38 | 36 | ст.3 | 160 | 1 |
| **7** | 22 | 12 | 36 | 8 | 24 | 20 | 12 | 0.8 | 0.8 | 1.2 | 32 | 28 | 54 | 28 | 30 | 10 | медь | 100 | 2.5 |
| **8** | 24 | 20 | 36 | 10 | 0 | 12 | 2 | 0.8 | 0.6 | 0.8 | 28 | 20 | 52 | 48 | 28 | 20 | алюм | 80 | 2.5 |
| **9** | 40 | 24 | 18 | 0 | 16 | 20 | 18 | 0.8 | 0.6 | 0.6 | 26 | 20 | 16 | 10 | 42 | 20 | ст.2 | 140 | 1.5 |
| **0** | 20 | 2 | 30 | 10 | 0 | 10 | 10 | 0.6 | 0.6 | 0.8 | 16 | 0 | 24 | 20 | 26 | 20 | ст.3 | 160 | 1.5 |
|  | **А** | | | | | | | **Б** | | | **В** | | | | | | **Г** | | |

|  |  |
| --- | --- |
| ***1***  **F**  ***1***  ***2*** | ***2***  **h***1*  **h*2***  **F**  2  1 |
| ***3***  **F**  ***1***  ***2*** | ***4***  **h*1***  **h*2***  **F**  ***1***  ***2*** |
| ***5***  ***1***  ***2***  **F** | ***6***  ***1***  ***2***  **F**  **h*1*** |
| ***7***  ***1***  ***2***  **F** | ***8***  ***1***  **F**  ***2***  **h*1***  **h*2*** |
| ***9***  ***1***  ***2***  **F**  **L*1***  **L*2***  **L*3*** | ***10***  ***1***  **F**  ***2***  **h*1***  **h*2***  **L*1***  **L*2***  **L*3*** |

**ПРИМЕР РАСЧЕТА**

**РАСЧЕТ СТУПЕНЧАТОГО СТЕРЖНЯ**

**Задача 1**

|  |  |
| --- | --- |
| Дано:  F1=24 кН D1=54мм  F2=20 кН d1=30мм  F3=36 кН D2=32мм  F4=10 кН d2=16мм  F5=0 D3=18мм  F6=12 кН d3=6мм  F7=2 кН [σ]=140 МПа = 14 кН/см2  l1 =1.2 м [Δl]=0.5мм  l2 =1.0 м Е=2⋅104 кН/см2  l3=0.8 м α=120⋅10-7 1/град  Δt = 60° | D*3*  *d2*  *d3*  *d1*  F*1*  F*2*  F*3*  F*4*  F*5*  F*6*  F*7*  l*1*  l*2*  l*3*  D*1*  D*2*  Рис.2 |

Для заданной расчетной схемы ступенчатого бруса (Рис.3) требуется:

1. Определить величину продольной силы N продольного нормального напряжения σ на каждом участке и проверить прочность бруса.

2. Определить абсолютное удлинение бруса Δl от заданной нагрузки, и проверить жесткость бруса. Допускаемое удлинение [Δl] = 0.5 мм.

3. Определить температурное удлинение бруса Δlt при нагревании на Δt = 60° (внешняя нагрузка отсутствует) и проверить жесткость бруса при нагревании [Δl] = 0.5 мм.

РЕШЕНИЕ

Определяем площади поперечного сечения А1,А2, А3 на каждом участке.

1582.56 мм2 = 15.83 см2

602.88 мм2 = 6.03 см2

 226.08 мм2 = 2.26 см2

1. Определяем величину продольной силы N и напряжения σ на каждом участке.

1-ый участок 0 ≤ z ≤ 1.2 м

Σz=0 N1 −F1+ F2 =0

z

F1

F2

N1

z

N1 = F1 − F2 = 24 - 20 = 4 кН

σ1=Ν1/Α1=4 / 15.83 =0.253 кН/cм2

2-ой участок 1.2 ≤ z ≤ 2.2 м

Σz=0 N2 − F1 + F2 − F3+ F4 =0

F1

F2

F3

F4

N2

z

z

N2 =F1− F2 + F3 − F4 = 24−20+36−10=30кН

σ2=Ν2 /Α2=30 / 6.03 =4.976 кН/cм2

3-й участок 2.2 ≤ z ≤ 3.0 м

Σz=0 N3 − F1+ F2 −F3+ F4 −F5+ F6 =0

F1

F2

F3

F4

F5

F6

z

N3

z

N3 =F1 − F2 +F3− F4 +F5− F6 =

= 24 − 20 +36−10+0−12=18кН

σ3=Ν3 /Α3=18/2.26 =7.962 кН/cм2

2.Строим эпюры N, σ

D

C

B

F6

F5

F4

F3

F2

F1

A

F7

*1,2м*

*1м*

*0,8м*

N, *кН*

*4*

*18*

*30*

σ, *кН/см2*

*0,26*

*4.976*

*7.962*

Рис.4

3.Проверяем условие прочности.

Проверка условия прочности ⎜σmax ⎜≤ [σ],

⎜σ max ⎜= σ3 =7,962 кH/см2, [σ] = 140 МПа= 14 кH/см2

7,962 кH/см2 < 14 кH/см2. Условие прочности выполняется.

4. Определяем абсолютное удлинение бруса от заданной нагрузки



Условия жесткости  ≤ [Δl] мм; [Δl] = 0.5мм

[Δl] = 0.5825 мм > 0.5 мм

Условие жесткости от заданной нагрузки не выполняется.

5.Определяем температурное удлинение бруса при нагревании на Δt= 60° (внешняя нагрузка отсутствует).

= α l Δt = 120·10-7 (120 + 100 + 80) 60 = 0,216 см = 2,16 мм

=0,5 мм, 2,16 мм >0,5 мм.

Условие жесткости при нагревании не выполняется.

**Задача.2.** Проверить прочность [стержня](http://www.isopromat.ru/glossary/sterzhen) при [растяжении-сжатии](http://www.isopromat.ru/sopromat/teoria/rastyazhenie-szhatie), центрально нагруженного двумя сосредоточенными силами F1=100 кН и F2 = 600 кН. [Допускаемые напряжения](http://www.isopromat.ru/sopromat/teoria/dopustimoe-napryazhenie) при растяжении [σ]p = 80 МПа и сжатии [σ]c = 150 МПа.

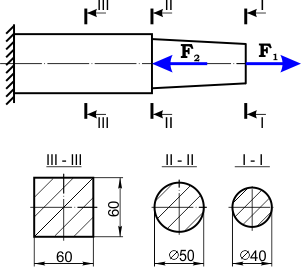


Рис. 1

**Решение**

На рис. 2 приведена [эпюра продольных сил](http://www.isopromat.ru/sopromat/teoria/epura/prodolnyh-sil) N для заданного стержня

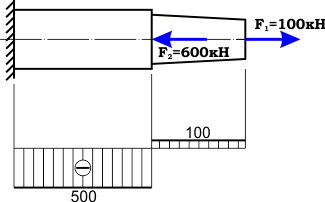


Рис. 2

Для правой части стержня опасным является сечение I-I, в котором действует растягивающая продольная сила Np = 100 кН, а площадь сечения А1 = π ⋅ 22 = 12,56 см2.

https://lh4.googleusercontent.com/-KJANyhb7kyg/T1H_C46OxuI/AAAAAAAACFs/b0eCZvK7F7I/s1600/2.PNG

В левой сжатой части стержня продольная сила по абсолютной величине равна Nc = 500 кН и все сечения равноопасны. А2 = 62 = 36 см2.

https://lh5.googleusercontent.com/-BSAFYxJHgjI/T1H_ChtsbDI/AAAAAAAACFo/e_VUyER1m6g/s1600/3.PNG

Таким образом, [условия прочности](http://www.isopromat.ru/sopromat/teoria/uslovie-prochnosti/pri-rastyazhenii-szhatii) выполняются, т.е. стержень [прочный](http://www.isopromat.ru/glossary/prochnost)

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ТЕМЕ**

1 Внутренние силовые факторы при растяжении-сжатии. Метод сечений.

2.Нормальные напряжения при растяжении.

3.Перемещения. Продольная и поперечная деформация. Коэффициент Пуассона.

4 Закон Гука. Модуль Е.

5. Диаграмма растяжения-сжатия малоуглеродистой стали.

6. Условие прочности при растяжении-сжатии.

7.Условие жесткости.

8.Статически неопределимые задачи. Общий ход решения.

9.Температурные и монтажные напряжения.

10. Метод расчета по допускаемым нагрузкам. Предельная нагрузка.

11. Поверочный и проектировочный расчет на прочность.

12. Напряжения на наклонных площадках.

**ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ РАСТЯЖЕНИЕ -СЖАТИЕ**

1.Проверить прочность ступенчатого стержня.

Р = 20 кН, А = 10 см2, [σ]=10 кН см2, а = 1м

**1.1 1.2 1.3 1.4**

***P***

***P***

***P***

***P***

***А***

***3А***

**А**

***P***

***P***

***P***

***2*А**

*а*

а

***P***

***P***

***2А***

**А**

а

***А***

***2*А**

***2*А**

а

2. Подобрать площадь А из условия прочности стержня и вычислить полное удлинение.

P = 20 кH, =10 кH/см2 a = 1м, Е=1⋅104 кH/см2

**2.1 2.2 2.3 2.4**



***P***

***3А***

***А***

***2А***

а

***2А***

***P***

***P***

***А***

а

а

***P***

***P***

***2А***

***3А***

***P***

***P***

***P***

***P***

3.Определить усилия в стержнях статически неопределимой системы. Дано: а, Р, А.

**3.1 3.2 3.3 3.4**

***P***

***А***

***P***

***P***

***А***

***2А***

а

а

***4P***

***P***

***P***

***А***

***2А***

а

***P***

***P***

***A***

***А***

***3А***

***P***

***P***

***P***

***P***

4. Определить усилия в стержнях. Дано: а, Р, А. Е1 = 2Е2, А1 = 3А2

*4.2*

*F*

*1*

*3A*

*A*

*2*

*h*

*1*

*A*

*2*

*2A*

*h*

*A*

*2A*

*F*

*1*

*h*

*4.4*

*4.3*

*F*

*1*

*h*

*2*

*h*

*2h*

*A*

*A*

*2*

*a*

*a*

*a*

*2a*

*a*

*a*

5 Определить предельную нагрузку Fпр и допускаемую нагрузку [F] .

σТ = 24 кН/см2 ,А1= 2см2 ,А2 = 2 А1

*1*

*2*

*5.1*

*1*

*F*

*2*

*1*

*F*

*1*

*A*

*1*

*2*

*F*

*5.2*

*a*

*2*

*a*

*a*

*a*

*a*

*a*

**ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ И СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ**

Осевое растяжение и сжатие прямолинейного стержня

Нормальные напряжения σ = Ν/Α

Условие прочности σmax ≤ [σ] 

Допускаемое напряжение [σ] = σпр /k k − коэффициент запаса

σпр  = σt (упруго-пластические материалы),

σпр  = σвр (хрупкие материалы )

Продольная деформация εпрод= Δl/l

Поперечная деформация εпопер = −μ εпрод μ − коэффициент Пуассона

акон Гука σ = Еε

Удлинение Δl = Nl/(E А)

Условие жесткости Δl ≤ [Δl] или ε ≤ [ε ]

Напряжения в наклонных сечениях ν- нормаль к сечению

|  |  |
| --- | --- |
| α  τν  z  ν | σν= σzcos2α  τν=sin 2α |

***ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ Е, μ, [σ]раст, [σ]сжат***

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | *Модуль упругости* Е | | *коэффициент* | *[σ]раст* | *[σ]сжат* |
| *кг/см2* | *МПа* | *Пуассона* | *МПа* | *МПа* |
| *сталь* | *2·106* | *2·105* | *0.24-0.30* | *140-160* | *140-160* |
| *алюминий* | *0.7·106* | *0.7·105* | *0.26-0.36* | *30-80* | *30-80* |
| *медь* | *1·106* | *1·105* | *0.31-0.35* | *30-120* | *30-120* |
| *чугун* | *1.15·106* | *1.15·105* | *0.23-0.27* | *------* | *120-150* |
| *бетон* | *0.15·106* | *0.15·105* | *0.16-0.18* | *0.1-0.7* | *1-9* |
| *кирпичная*  *кладка* | *0.03·106* | *0.03·105* | *--------* | *<0.7* | *6-25* |

*1 Па =1 Н/м2 1МПа = 106Па = 1Н/мм2 1МПа = 0.1кН/см2*

*1кг = 9.1Н ≈ 10Н 1кг/см2 ≈ 0.1 М Па*