

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра механики материалов, конструкций и машин

О.А. Фролова, Е.В. Пояркова

# **РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ СТЕРЖНЯ И ТЯГИ С ПРОУШИНОЙ**

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 15.03.01 Машиностроение, 08.03.01 Строительство

Оренбург  
2018

УДК 669.15  
ББК 34.5  
Ф 22

Рецензент – доцент, доктор технических наук Ю.А. Чирков

**Фролова, О.А.**

Ф 22 Расчет на прочность соединения стержня и тяги с проушиной: методические указания / О.А. Фролова, Е.В. Пояркова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2018. – 19 с.

В методических указаниях приведены краткие теоретические сведения по расчету соединений на срез и смятие. Приведены исходные данные, порядок выполнения работы. Представлены контрольные вопросы для самопроверки.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы и организации самостоятельной работы обучающихся по образовательным программам высшего образования направлений подготовки 15.03.01 Машиностроение по дисциплине «Машиноведение», 08.03.01 Строительство по дисциплине «Соппротивление материалов».

УДК 669.15  
ББК 34.5

© Фролова О.А.,  
© Пояркова Е.В., 2018  
© ОГУ, 2018

## Содержание

Введение .....	4
1 Теоретическая часть .....	5
1.1 Краткие теоретические сведения .....	5
1.2 Вопросы для самопроверки .....	11
2 Лабораторная работа «Расчет на прочность соединения стержня и тяги с проушиной» .....	11
2.1 Цель работы, задачи, инструменты .....	11
2.2 Исходные данные .....	12
2.3 Порядок выполнения работы .....	13
2.4 Отчет по лабораторной работе «Расчет на прочность соединения стержня и тяги с проушиной» .....	17
2.5 Контрольные вопросы .....	18
Список использованных источников .....	19

## Введение

Элементы болтовых соединений рассчитывают на прочность по нормальным напряжениям растяжения, по касательным напряжениям среза и по нормальным напряжениям смятия.

В некоторых конструкциях по отдельным сечениям действуют значительные касательные и нормальные напряжения. Так как нормальные напряжения в них значительно меньше касательных, то в приближенных расчетах учитываются лишь касательные напряжения, а указанные сечения при этом рассматриваются как площадки чистого сдвига. Такие расчеты называются расчетами на срез или смятие.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы и организации самостоятельной работы обучающихся по образовательной программе высшего образования направлений подготовки 15.03.01 Машиностроение по дисциплине «Машиноведение», 08.03.01 Строительство по дисциплине «Сопротивление материалов».

Результаты освоения дисциплин направлены на формирование компетенций:

– ОПК-1 умением использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (направление 15.03.01 Машиностроение);

– ОПК-2 способностью выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат (направление подготовки 08.03.01 Строительство).

# 1 Теоретическая часть

## 1.1 Краткие теоретические сведения

Болтовые соединения применяют в наиболее нагруженных, ответвленных местах конструкции – стыковка секций, отсеков, агрегатов, крепление стыковых узлов, профилей, кронштейнов, фитингов, а также для крепления съемных панелей, лючков, крышек, подвесок.

Объем болтовых соединений составляет от 5 % до 8 % от всех соединений. Болтовые соединения металлических конструкций по сравнению со сварными соединениями более металлоемки. Отверстия для болтов ослабляют сечение соединяемых элементов, но их использование значительно проще, так как не требует сварочного оборудования.

Различают два вида болтовых соединений:

- соединения с постановкой болтов с натягом; болты работают на срез в растяжение (требуют совместной разделки отверстий в сопрягаемых деталях);
- соединения с постановкой с зазором; болты работают на растяжение, перерезывающую силу воспринимают за счет сил трения на контактных поверхностях деталей (требуют равномерной затяжки болтов с определенным уровнем напряжений).

Достоинства болтовых соединений:

- высокая прочность, надежность в эксплуатации;
- возможность повторной сборки-разборки конструкции.

Недостатки болтовых соединений:

- большой привес конструкции, что обусловлено необходимостью компенсации ослабления деталей конструкции отверстиями и собственно весом крепежа (головки болтов, гайки, шайбы, контривка); основной путь уменьшения привеса – применение материалов с большой удельной прочностью (титановые болты, болты из ВКС);

– сравнительно высокая стоимость и трудоемкость выполнения, что обусловлено многодетальностью крепежа, спецификой его изготовления и постановки.

Болты, как и заклепки, работают на срез, смятие и растяжение. Однако существенное отличие болтового соединения от заклепочного заключается в его большей податливости, являющейся следствием меньшего предварительного натяжения болтов (в результате затяжки гаек), а также наличия зазоров между болтом и отверстием.

В соединениях, работающих на сдвиг, расчет ведут на срез болта и на смятие болтами металла соединяемых элементов. При расчете на растяжение проводят расчет прочности на растяжение болтов, при этом учитывают площадь болта нетто (по диаметру нарезанной части).

Центральное растяжение (сжатие) – такой вид нагружения стержня, при котором в его поперечных сечениях из шести внутренних силовых факторов (ВСФ) возникают только продольные (нормальные) силы (рисунок 1.1).

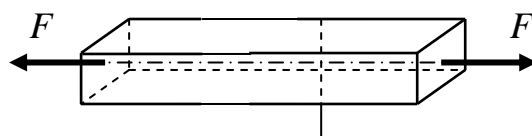


Рисунок 1.1 – Растяжение стержня

Из условия надежности работы деталей и конструкций величину максимального напряжения, возникающего в опасном (наиболее напряженном) сечении бруса, необходимо ограничивать некоторыми значениями. Напряжение, при котором обеспечивается безопасная работа конструкции, называется допусковым напряжением  $[\sigma]$ . Допускаемое напряжение зависит от вида материала.

Допускаемое напряжение равно отношению предельного напряжения к нормативному коэффициенту запаса прочности:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{пред}}{[n]}, \quad (1.1)$$

где  $[n]$  – нормативный (допускаемый) коэффициент запаса прочности, зависящий от вида рассчитываемой конструкции, условий ее работы, точности расчета, свойств материала;

$\sigma_{пред}$  – напряжение, при котором материал разрушается или в нем возникают заметные пластические деформации.

Под действием продольной силы  $F$  в сечении стержня возникает нормальное напряжение  $\sigma_p$ :

$$\sigma_p = \frac{F}{A_p}, \quad (1.2)$$

где  $A_p$  – площадь растяжения.

Условие прочности выражается неравенством:

$$\sigma_p \leq [\sigma_p], \quad (1.3)$$

где  $[\sigma_p]$  – допускаемое напряжение на растяжение.

Прочность элемента конструкции обеспечивается, если наибольшее напряжение, возникающее в нем, не превышает допускаемого. Наибольшее расчетное нормальное напряжение считается неопасным, если оно превышает допускаемое не более чем на 5 %. Если расчетное напряжение значительно ниже допускаемого, то это свидетельствует о нерациональности конструкции.

В зависимости от поставленной задачи различают следующие виды расчета на прочность при растяжении (сжатии) стержня:

– проверочный расчет (проверка расчетного напряжения в стержне)

$$\sigma_p = \frac{F}{A_p} \leq [\sigma_p]; \quad (1.4)$$

– проектный расчет (подбор размеров поперечного сечения стержня)

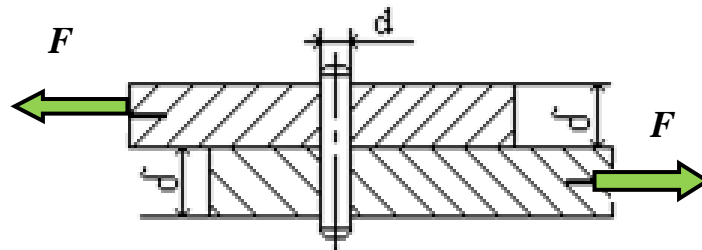
$$A_p \geq \frac{|F|}{[\sigma_p]}; \quad (1.5)$$

– определение допускаемого значения продольной силы

$$F \leq A_p \cdot [\sigma_p]. \quad (1.6)$$

Срез – разрушение соединительных деталей под действием поперечных нагрузок (перпендикулярных осям этих деталей) (рисунок 1.2).

Например, разрушение штифта может произойти при штифтовом соединении двух деталей, которые нагружены двумя противоположно направленными силами. Вместо штифта может быть шпонка, болт, шпилька, заклепка.



$\delta$  – толщина листа;  $d$  – диаметр стержня.

Рисунок 1.2 – Срез стержня

Под действием внешней силы  $F$ , действующей на соединенные листы, стержень (болт) испытывает деформацию среза по поперечному сечению.

Под действием поперечной силы в сечении возникает касательное напряжение среза  $\tau_{ср}$ :

$$\tau_{ср} = \frac{F}{n \cdot m \cdot A_{ср}}, \quad (1.7)$$

где  $A_{ср}$  – площадь среза;



$n$  – число соединительных деталей (болтов, штифтов, заклепок);

$m$  – число плоскостей срезов.

Условие прочности на срез имеет вид:

$$\tau_{cp} \leq [\tau_{cp}]; \quad (1.8)$$

где  $[\tau_{cp}]$  – допускаемое напряжение на срез.

В зависимости от поставленной задачи различают следующие виды расчета на прочность при срезе:

– проверочный расчет (проверка расчетного напряжения в стержне)

$$\tau_{cp} = \frac{F}{n \cdot m \cdot A_{cp}} \leq [\tau_{cp}]; \quad (1.9)$$

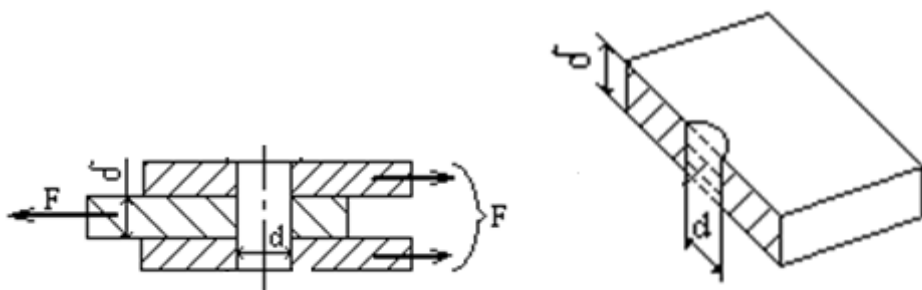
– проектный расчет (подбор размеров поперечного сечения стержня)

$$A_{cp} \geq \frac{|F|}{n \cdot m \cdot [\tau_{cp}]; \quad (1.10)$$

– определение допускаемого значения продольной силы

$$F \leq n \cdot A_{cp} \cdot [\tau_{cp}]. \quad (1.12)$$

Смятие – это местная деформация сжатия от давления между поверхностями соединительной детали и отверстия (рисунок 1.3).



$\delta$  – толщина листа;  $d$  – диаметр стержня.

Рисунок 1.3 – Смятие стержня

Расчёты на срез обеспечивают прочность соединительных элементов, но не гарантируют надёжности конструкции (узла) в целом. Если толщина соединяемых элементов недостаточна, то давления, возникающие между стенками их отверстий и соединительными деталями, получаются недопустимо большими. В результате стенки отверстий обминаются, и соединение становится ненадёжным.

На боковой поверхности болта возникает нормальное напряжение смятия  $\sigma_{см}$ :

$$\sigma_{см} = \frac{F}{n \cdot A_{см}}, \quad (1.13)$$

где  $A_{см}$  – площадь смятия;

$n$  – число соединительных элементов.

Условие прочности на смятие имеет вид:

$$\sigma_{см} \leq [\sigma_{см}]. \quad (1.14)$$

где  $[\sigma_{см}]$  – допускаемое напряжение на смятие.

В зависимости от поставленной задачи различают следующие виды расчета на прочность при смятии:

– проверочный расчет (проверка расчетного напряжения в стержне)

$$\sigma_{см} = \frac{F}{n \cdot A_{см}} \leq [\sigma_{см}]; \quad (1.15)$$

– проектный расчет (подбор размеров поперечного сечения стержня)

$$A_{см} \geq \frac{|F|}{n \cdot [\sigma_{см}]}; \quad (1.16)$$

– определение допускаемого значения продольной силы

$$F \leq n \cdot A_{cm} \cdot [\sigma_{cm}]. \quad (1.17)$$

## 1.2 Вопросы для самопроверки

- 1 Какое состояние называется растяжением (сжатием)?
- 2 Какова формула для определения нормальных напряжений при растяжении (сжатии)?
- 3 Как распределяются нормальные напряжения при растяжении-сжатии по сечению?
- 4 Какое напряжение называется допускаемым?
- 5 Какое напряжение называется опасным?
- 6 Что показывает коэффициент запаса прочности?
- 7 Какой вид имеет условие прочности при растяжении (сжатии)?
- 8 Какие задачи решаются по условию прочности при растяжении (сжатии)?
- 9 Какое состояние называется срезом?
- 10 Какой вид имеет условие прочности при срезе?
- 11 Какие задачи решаются по условию прочности при срезе?
- 12 Какое состояние называется смятием?
- 13 Какой вид имеет условие прочности при смятии?
- 14 Какие задачи решаются по условию прочности при смятии?

## 2 Лабораторная работа «Расчет на прочность соединения стержня и тяги с проушиной»

### 2.1 Цель работы, задачи, инструменты

Цель работы – оценка прочности соединения при действии растягивающего осевого усилия.

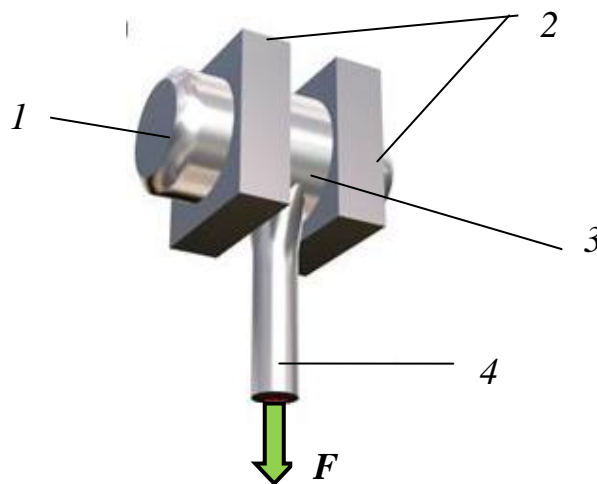
Задачи:

- изучение работы соединения;
- определение деформаций элементов соединения;
- расчет на прочность элементов соединения.

Инструменты: детали соединения, штангенциркуль, линейка, карандаш, микрокалькулятор, журнал лабораторных работ.

#### 4.2 Исходные данные

Стержень 1 установлен между пластинами 2. На стержень 1 одета проушина 3 с тягой 4. К тяге 4 приложена растягивающая сила  $F$  (рисунок 2.1).



1 – стержень; 2 – пластины; 3 – проушина; 4 – тяга.

Рисунок 2.1 – Схема соединения

Растягивающая сила  $F=70$  кН.

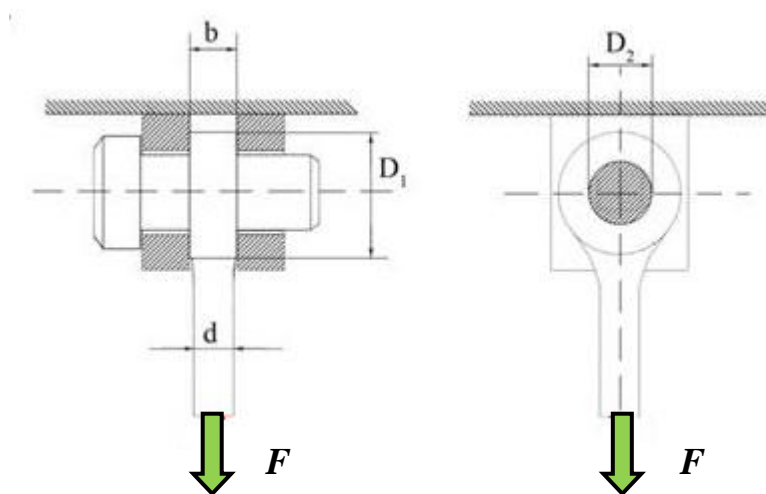
Допускаемые напряжения:

- на растяжение  $[\sigma_p] = 130$  МПа;
- на срез  $[\tau_{ср}] = 80$  МПа;
- на смятие  $[\sigma_{см}] = 230$  МПа.

## 2.3 Порядок выполнения работы

Для выполнения работы необходимо выполнить последовательно следующие действия:

- 1 Ознакомиться с конструкцией соединения.
- 2 Выяснить назначение всех деталей.
- 3 Измерить при помощи штангенциркуля размеры деталей соединения (рисунок 2.2).



$d$  – диаметр тяги;  $D_1$  – наружный диаметр проушины;  
 $D_2$  – внутренний диаметр проушины;  $b$  – ширина проушины.

Рисунок 2.2 –Чертеж соединения

- 4 Размеры деталей соединения и их чертежи представить в отчете.
- 5 Выяснить, какие деформации испытывает каждая деталь конструкции, и какие плоскости контакта деталей этому соответствуют (рисунок 2.3).

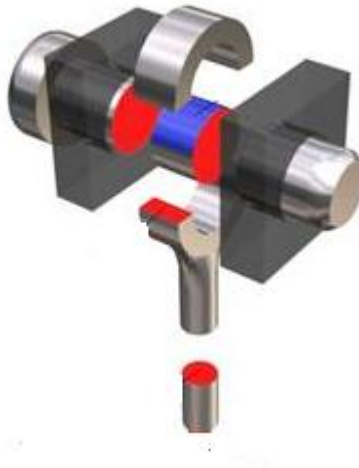


Рисунок 2.3 – Схема площадей контакта деталей соединения

6 Выполнить расчет на прочность деталей соединения и результаты расчета представить в отчете в таблице 2.2.

#### 6.1 Расчет тяги.

Тяга под действием растягивающей силы  $F$  испытывает **растяжение** (рисунок 2.3).

Последовательность действий:

– определить площадь растяжения поперечного сечения тяги по формуле:

$$A_p = \frac{\pi d^2}{4}; \quad (2.1)$$

– определить нормальное напряжение растяжения тяги по формуле:

$$\sigma_p = \frac{F}{A_p}; \quad (2.2)$$

– выполнить проверку прочности на растяжение тяги по формуле:

$$\sigma_p \leq [\sigma_p]; \quad (2.3)$$

– сделать вывод о выполнении/невыполнении условия прочности при растяжении тяги.

## 6.2 Расчет проушины.

Проушина под действием растягивающей силы  $F$  испытывает **растяжение** (рисунок 2.3).

Последовательность действий:

– определить площадь растяжения проушины по формуле:

$$A_p = (D_1 - D_2)b; \quad (2.4)$$

– определить нормальное напряжение растяжения проушины по формуле:

$$\sigma_p = \frac{F}{A_p}; \quad (2.5)$$

– выполнить проверку прочности на растяжение проушины по формуле:

$$\sigma_p \leq [\sigma_p]; \quad (2.6)$$

– сделать вывод о выполнении/невыполнении условия прочности при растяжении проушины.

## 6.3 Расчет стержня.

Стержень испытывает деформацию **среза** по двум плоскостям ( $m=2$ ) (рисунок 2.3).

Последовательность действий:

– определить площадь среза стержня по формуле:

$$A_{cp} = \frac{2\pi D_2^2}{4}; \quad (2.7)$$

– определить касательное напряжение среза стержня по формуле:

$$\tau_{cp} = \frac{F}{A_{cp}}; \quad (2.8)$$

– выполнить проверку прочности стержень на срез по формуле:

$$\tau_{cp} \leq [\tau_{cp}]; \quad (2.9)$$

– сделать вывод о выполнении/невыполнении условия прочности стержня на срез.

Цилиндрическая поверхность стержня испытывает деформацию **смятия** от давления внутренней части проушины (рисунок 2.3).

Последовательность действий:

– определить площадь смятия стержня по формуле:

$$A_{cm} = \pi \cdot D_2 \cdot b; \quad (2.10)$$

– определить нормальное напряжение смятия стержня по формуле:

$$\sigma_{cm} = \frac{F}{A_{cm}}; \quad (2.11)$$

– выполнить проверку прочности стержня на смятие по формуле:

$$\sigma_{cm} \leq [\sigma_{cm}]; \quad (2.12)$$

– сделать вывод о выполнении/невыполнении условия прочности стержня при смятии.



## 2.4 Отчет по лабораторной работе «Расчет на прочность соединения стержня и тяги с проушиной»

В отчет по лабораторной работе включить таблицы результатов расчета 2.1 и 2.2 и вывод по работе.

Таблица 2.1 – Размеры деталей соединения и их чертежи

Деталь соединения	Размеры, мм			Чертеж детали
Тяга	Диаметр $d$			
Проушина	Наружный диаметр $D_1$	Внутренний диаметр $D_2$	Ширина $b$	
Стержень	Диаметр поперечного сечения $D_2$			

Таблица 2.2 – Результаты расчета

Деталь соединения	Вид деформации	Площадь сечения (площадь контакта), мм <sup>2</sup>	Напряжение, МПа	Проверка условия прочности
Тяга				
Проушина				
Стержень				

Вывод:

## 2.5 Контрольные вопросы

После выполнения лабораторной работы при подготовке к защите необходимо (устно) ответить на контрольные вопросы:

- 1 Какова цель работы?
- 2 Каковы поставленные задачи?
- 3 Из каких деталей состоит рассчитываемое соединение?
- 4 Какие виды деформаций испытывает стержень?
- 5 Какие виды деформаций испытывает проушина?
- 6 Какие виды деформаций испытывает тяга?
- 7 По каким поверхностям контакта деформируется каждая деталь соединения?
- 8 Как записывается условие прочности при растяжении?
- 9 Как записывается условие прочности при срезе и смятии?
- 10 Обеспечивается ли прочность рассчитываемого соединения?

## Список использованных источников

1 Феодосьев, В. И. Сопротивление материалов: учебник / В. И. Феодосьев. – 14-е изд., испр. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 592 с. – Предм. указ.: с. 577–584. – ISBN 978-5-7038-3024-6.

2 Александров, А. В. Сопротивление материалов. Основы теории упругости и пластичности / А. В. Александров. – М.: Высш. шк., 2002. – 400 с.

3 Степин, П.А. Сопротивление материалов. [Электронный ресурс]: учеб. – Электрон.дан. – СПб.: Лань, 2014. – 320 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/3179> – Загл. с экрана.

4 Сопротивление материалов [Электронный ресурс]: пособие по решению задач / Миролюбов И.Н. [и др.]. – Электрон. текстовые дан. – СПб.: «Лань», 2009. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/668/>.

5 Ромашов, Р.В. Сопротивление материалов: учеб. пособие для вузов / Р.В. Ромашов; М-во образования Рос. Федерации, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования "Оренбург. гос. ун-т". – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009. – 286 с.: ил. – Библиогр.: с. 284. – ISBN 978-5-7410-0948-2.

6 Пояркова, Е. В. Механика материалов (методы механических испытаний материалов) / В.И. Грызунов, Е. В. Пояркова, И. Р. Кузеев. – Орск: Изд-во ОГТИ (филиала) ОГУ, 2012. – 227 с.

7 Фролова, О. А. Центральное растяжение и сжатие стержня: методические указания к выполнению расчетно-проектировочной работы /О. А. Фролова, В. С. Гарипов. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009. – 26 с.

8 Сайт, содержащий важные сведения по сопротивлению материалов, имеющий удобную навигацию, содержащий много справочной информации, полезной студентам технических направлений подготовки. – Режим доступа: <http://sopromat.ru/>