

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

ПРОЕКТИРОВОЧНЫЙ РАСЧЕТ ЗАКЛЕПОЧНОГО СОЕДИНЕНИЯ

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 Проектировочный расчет заклепочного соединения: методические указания / О.А. Фролова, Е.В. Пояркова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2018. – 20 с.

В методических указаниях приведены основные сведения по расчету заклепочного соединения на прочность. 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	13
2 Лабораторная работа «Проектировочный расчет заклепочного соединения стержня с узловой фасонкой»	14
2.1 Цель работы, задачи, инструменты.....	14
2.2 Исходные данные.....	14
2.3 Порядок выполнения работы.....	15
2.4 Отчет по лабораторной работе «Проектировочный расчет заклепочного соединения стержня с узловой фасонкой»	18
2.5 Контрольные вопросы	19
Список использованных источников	20

Введение

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.

Заклепочные соединения, выполненные внахлестку, рассчитывают на прочность по нормальным напряжениям растяжения, по касательным напряжениям среза, а затем выполняют проверочный расчет соединения по нормальным напряжениям смятия.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ 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».

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 08.03.01 Строительство).

1 Теоретическая часть

1.1 Краткие теоретические сведения

Заклепочное соединение, чаще всего, используют для соединения листов или профилей. Они широко распространены в машиностроении, строительных конструкциях и приборах (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Заклепочные соединения

Заклепочное соединение производится с использованием дополнительной детали – заклепки. Форма и размеры заклепок стандартизированы. Для уменьшения массы мало нагруженных соединений используют пустотелые заклепки (пистоны).

Для изготовления заклепок применяются стали марок Ст2, Ст3, сталь 10, а также алюминиевые и медные сплавы.

Заклепочные соединения могут быть выполнены внахлест без накладки (рисунок 1.2 а), внахлест с одной накладкой (рисунок 1.2 б), внахлест с двумя накладками (рисунок 1.2 в)

По числу плоскостей среза различают:

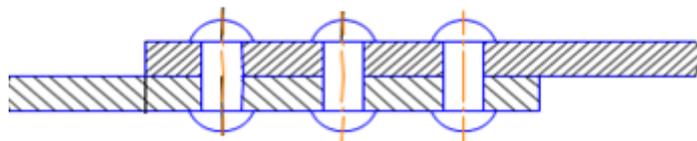
– односрезные (рисунок 1.2 а, б);

– многосрезные (рисунок 1.2 в).

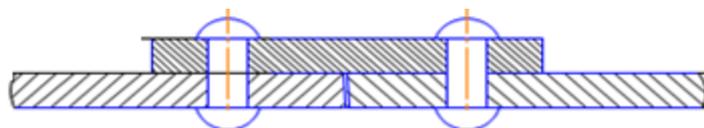
По числу рядов заклепок различают:

– однорядные;

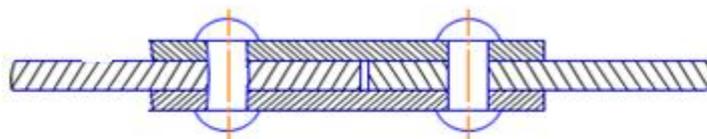
– многорядные.



а) внахлест без накладки (односрезное соединение)



б) внахлест с одной накладкой (односрезное соединение)



в) внахлест с двумя накладками (двухсрезное соединение)

Рисунок 1.2 – Виды заклепочных соединений

Преимущества заклепочных соединений:

– возможность соединения несвариваемых и плохо свариваемых деталей;

– меньшие разрушения деталей при разборке,

– меньшая концентрация напряжений.

Недостатки заклепочных соединений:

- малая производительность технологического процесса;
- повышенные затраты материалов и габариты;
- значительная стоимость;
- повышенный уровень негативного воздействия вибраций на рабочих.

При конструировании соединения нужно располагать заклепки симметрично по отношению к действующей нагрузке.

Расстояние между центрами заклепок вдоль усилия следует принимать не менее $a + 1,5d$, где a – расстояние между рядами поперек усилия, d – диаметр отверстия для заклепки.

При расчете на срез болтовых и заклепочных соединений приняты допущения:

- нагрузка равномерно распределяется между рядами и между отдельными болтами или заклепками в ряду;
- силы трения между стягиваемыми или склепываемыми деталями отсутствуют;
- изгибающий момент, действующий в поперечном сечении болта или заклёпки, незначителен, и его можно не учитывать.

Заклепки в соединениях, нагруженных осевой нагрузкой, рассчитываются на срез и проверяются на смятие. Под действием силы листы стремятся сдвинуться относительно друг друга, при этом на каждую заклепку от листов передаются две равные и противоположно направленные силы. В сечении каждой из заклепок возникает поперечная сила.

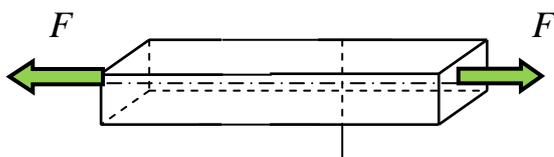
Кроме среза, поверхность заклепки испытывает напряжения смятия, а отверстия под заклепки ослабляют прочность сечения листа. Напряжения смятия возникают в результате контакта листов и заклепки. Они располагаются по цилиндрической поверхности стержня заклепки по сложному закону.

Для упрощенного расчета принимают, что нормальные напряжения смятия равномерно распределены по площади диаметрального сечения заклепки.

Величина допустимых напряжений назначается в зависимости от материала заклепок и способа обработки отверстий под них.

Отверстия под заклепки уменьшают площадь поперечного сечения листа. Продольная сила изменяется по длине соединения, так как каждый ряд заклепок снимает часть нагрузки с одного листа и передает ее на другой.

Соединяемые элементы заклепочного соединения испытывают растяжение от действия растягивающей силы F (рисунок 1.3).



F – растягивающая сила.

Рисунок 1.3 – Растяжение фасонного листа

Нормальные напряжения σ_p в плоскости поперечного сечения при растяжении определяются по формуле:

$$\sigma_p = \frac{F}{A_p}, \quad (1.1)$$

где A_p – площадь растяжения в ослабленном сечении.

Условие прочности на растяжение имеет вид:

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

где σ_p – нормальное напряжение растяжения;

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

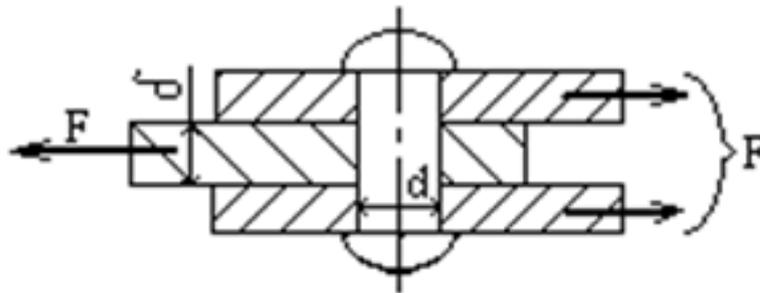
Необходимая полная площадь поперечного сечения $A_{\text{брутто}}$ больше $A_{\text{нетто}}$ на площадь ослабления в сечении, где продольная сила имеет наибольшее значение.

Принимают, что площадь ослабления составляет 15 % от $A_{\text{нетто}}$:

$$A_{\text{брутто}} = 1,15 \cdot A_{\text{нетто}} . \quad (1.3)$$

Под действием поперечных нагрузок F детали могут подвергаться деформации среза под действием касательных напряжений. Например, при соединении листов заклепками (рисунок 1.4). На срез работают штифты, заклепки, болты и шпонки.

Разрушение заклепочного соединения может произойти в результате среза заклепки по поперечному сечению, среза (выкалывания) листов за крайними заклепками или между заклепками.



δ – толщина фасонного листа; d – диаметр заклепки.

Рисунок 1.4 – Деформация среза

Усилие, передаваемое фасонному листу через каждую заклепку, равно:

$$Q = \frac{F}{n}, \quad (1.4)$$

где n – число заклепок на одной половине стыка.

Касательные напряжения $\tau_{ср}$ по плоскости среза заклепок определяются по формуле:

$$\tau_{ср} = \frac{F}{n \cdot m \cdot \frac{\pi d^2}{4}}, \quad (1.5)$$

где n – число заклепок;

m – число плоскостей среза каждой заклепки;

d – диаметр заклепки.

Условие прочности на срез имеет вид:

$$\tau_{cp} = \frac{F}{n \cdot m \cdot \frac{\pi d^2}{4}} \leq [\tau_{cp}], \quad (1.6)$$

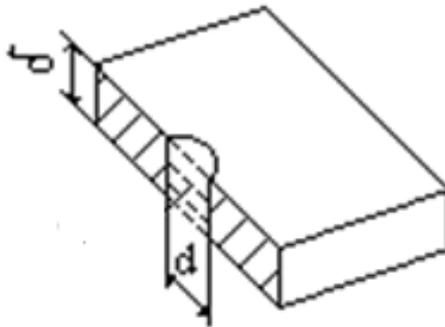
где $[\tau_{cp}]$ – допускаемое напряжение на срез.

Необходимое число заклепок определяется по формуле:

$$n = \frac{4F}{m \cdot d^2 \cdot [\tau_{cp}]}. \quad (1.7)$$

Причиной разрушения заклепочного соединения может быть смятие листов по цилиндрической поверхности контакта этих листов с заклепками.

Смятие – это местная деформация сжатия от давления между поверхностями соединительной детали и отверстия (рисунок 1.5).



δ – толщина фасонного листа; d – диаметр отверстия под заклепку.

Рисунок 1.5 – Деформация смятия

При расчете на смятие болтовых и заклепочных соединений приняты допущения:

1 Нагрузка равномерно распределяется между рядами и между отдельными болтами или заклепками в ряду.

2 Силы трения между стягиваемыми или склепываемыми деталями отсутствуют.

3 Давления распределяются равномерно по площади проекции цилиндрической поверхности контакта на диаметральную плоскость.

4 Изгибающий момент, действующий в поперечном сечении болта или заклёпки незначителен, и его можно не учитывать.

Нормальные напряжения $\sigma_{см}$ по плоскости смятия определяются по формуле:

$$\sigma_{см} = \frac{F}{n \cdot \delta \cdot d}. \quad (1.8)$$

Условие прочности на смятие имеет вид:

$$\sigma_{см} = \frac{F}{n \cdot \delta \cdot d} \leq [\sigma_{см}], \quad (1.9)$$

где δ – толщина фасонного листа;

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

Толщина фасонного листа δ определяется по формуле:

$$\delta = \frac{F}{n \cdot d \cdot [\sigma_{см}]}. \quad (1.10)$$

Если толщина фасонного листа δ не задана, то необходимое число заклепок n находится из условия прочности на срез (1.6). Далее из выражения (1.9) находят толщину листа.

Если толщина фасонного листа δ задана, то необходимое число заклепок n находится из условия прочности на смятие из выражения (1.9):

$$n = \frac{F}{\delta \cdot d \cdot [\sigma_{см}]} \quad (1.11)$$

Далее выбирается большее значение числа заклепок, которые нужно установить с каждой стороны стыка, из выражений (1.6) и (1.9).

Для большинства материалов допускаемые касательные напряжения составляют от 60 % до 80 % допускаемых растягивающих напряжений, а допускаемые напряжения смятия – от 170 % до 200 %.

Соотношение между отдельными размерами ряда конструкций устанавливаются специальными нормами. Например, для заклепочных соединений установлено расстояние от центра крайней заклепки до края листа, равное 1,5–2 диаметра заклепки, и расстояние между заклепками (в одном ряду) – равное трем диаметрам.

Болтовые и заклепочные соединения, выполненные внахлестку, рассчитывают на прочность по касательным напряжениям среза, а затем выполняют проверочный расчет соединения по нормальным напряжениям смятия.

Ширина фасонного листа c в сечении, в котором действует максимальная продольная сила, определяется из условия прочности его на растяжение, которое при заклепках, расположенных в один ряд, имеет вид:

$$\sigma = \frac{F}{(c - d) \cdot \delta} \leq [\sigma] \quad (1.12)$$

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 Как рассчитывается необходимое число заклепок из условия прочности на срез?
- 13 Какое состояние называется смятием?
- 14 Какой вид имеет условие прочности при смятии?
- 15 Какие задачи решаются по условию прочности при смятии?
- 16 Как рассчитывается необходимое число заклепок из условия прочности на смятие?
- 17 Как рассчитывается толщина фасонного листа из условия прочности на смятие?
- 18 Какие бывают виды заклепочных соединений?
- 19 Какие допущения принимаются при расчетах на срез и смятие?
- 20 Как определить ширину фасонного листа?

2 Лабораторная работа «Проектировочный расчет заклепочного соединения стержня с узловой фасонкой»

2.1 Цель работы, задачи, инструменты

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

Задачи:

- изучение работы соединения;
- определение деформаций элементов соединения;
- подбор размеров поперечного сечения стержня из условия прочности;
- расчет из условия прочности при срезе необходимого количества заклепок n ;
- расчет из условия прочности при смятии толщины листа узловой фасонки δ .

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

2.2 Исходные данные

Стержень 1 растягивается силой F . Стержень 1 крепится к узловой фасонке 2 с помощью заклепок 3.

Поперечное сечение стержня представляет собой два равнобоких уголка (рисунок 2.1).

Растягивающая сила $F=300$ кН.

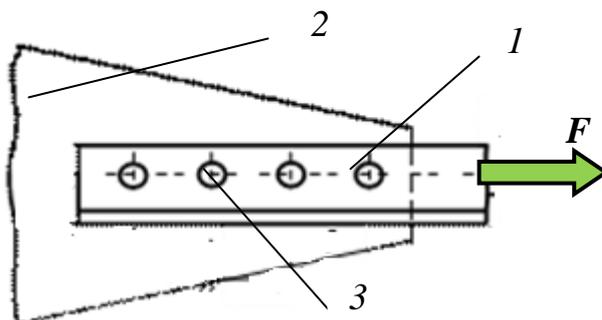
Диаметр заклепок $d=18$ мм.

Допускаемые напряжения:

- расчетное сопротивление на растяжение $R_{bt} = 200$ МПа;
- расчетное сопротивление на срез $R_{bs} = 160$ МПа;

– расчетное сопротивление на смятие $R_{bp} = 400$ МПа.

Коэффициент условий работы соединения $\gamma_b = 0,75$.



1 – стержень; 2 – узловая фанонка; 3 – заклепки.

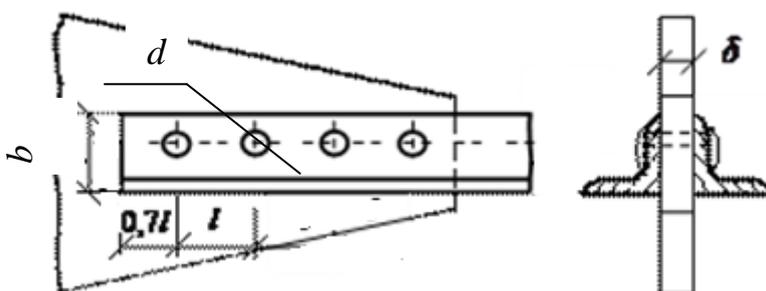
Рисунок 2.1 – Схема соединения

2.3 Порядок выполнения работы

Для выполнения работы необходимо выполнить последовательно следующие действия:

1 Ознакомиться с конструкцией соединения.

2 Выяснить назначение всех деталей (рисунок 2.2).



d – диаметр заклепок; l – расстояние между центрами соседних заклепок; δ – толщина узловой фанонки; b – высота полки уголка.

Рисунок 2.2 – Чертеж заклепочного соединения

3 Выяснить, какие деформации испытывает каждая деталь соединения, и какие плоскости контакта деталей этому соответствуют.

4 Выполнить расчет на прочность деталей соединения и результаты расчета представить в отчете в таблицах 2.1, 2.2.

4.1 Проектировочный расчет стержня.

Стержень работает на **растяжение** под действием растягивающей силы F .

Последовательность действий:

– определить требуемую площадь растяжения поперечного сечения стержня из условия прочности по формуле:

$$A_{mp} = \frac{F}{R_{bt} \cdot \gamma_b}; \quad (2.1)$$

– учитывая предстоящее ослабление стержня отверстиями для заклепок, следует добавить к требуемой площади поперечного сечения 15 % и определить площадь растяжения по формуле:

$$A_p = 1,15 \cdot A_{mp}; \quad (2.2)$$

– подобрать по ГОСТ 8509-93. Уголки стальные горячекатаные равнополочные [1] симметричное сечение из двух равнобоких уголков.

4.2 Расчет необходимого количества заклепок.

Заклепки под действием силы F испытывают деформацию **среза**.

Последовательность действий:

– определить требуемую площадь поперечных сечений заклепок из условия прочности на срез по формуле (учесть, что соединение двухсрезное $m=2$):

$$A_{cp} \geq \frac{F}{R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot m}; \quad (2.3)$$

– исходя из того, что площадь сечения заклепок равна $A = n \frac{\pi d^2}{4}$, определить необходимое число заклепок по формуле:

$$n = \frac{4F}{\pi d^2 \cdot m \cdot R_{bs} \cdot \gamma_b}. \quad (2.4)$$

Полученное значение округлить в большую сторону до ближайшего целого числа.

4.3 Проектировочный расчет узловой фасонки.

Узловая фасонка под действием давления заклепок испытывает **смятие**.

Последовательность действий:

– определить требуемую площадь смятия узловой фасонки из условия прочности на смятие по формуле:

$$A_{см} \geq \frac{F}{R_{bp} \cdot \gamma_b}; \quad (2.5)$$

– исходя из того, что площадь смятия узловой фасонки равна $A = n \cdot \delta \cdot d$, определить требуемую толщину узловой фасонки по формуле:

$$\delta \geq \frac{F}{n \cdot d \cdot R_{bp} \cdot \gamma_b}. \quad (2.6)$$

4.4 Расчет расположения заклепок.

Последовательность действий:

– определить привязку линии размещения заклепок в один ряд по формуле:

$$k = b/2 + 5 \text{ мм}; \quad (2.7)$$

– определить минимальное расстояние между центрами соседних заклепок по формуле:

$$l = 3d; \quad (2.8)$$

– определить расстояние от центра крайних заклепок до границы соединения по формуле:

$$l' = 0,7l. \quad (2.9)$$

При выполнении условия $b \geq 12$ см заклепки размещают в две линии в шахматном порядке (рисунок 2.3).

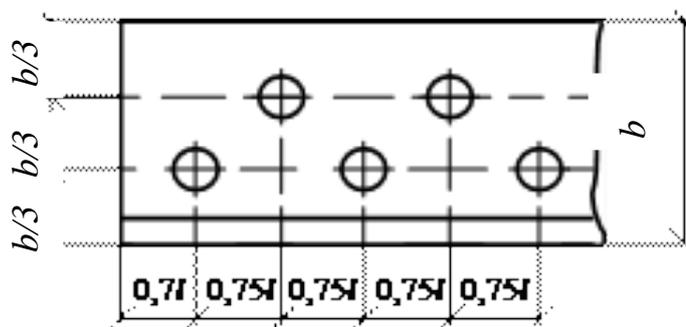


Рисунок 2.3 – Расположение заклепок

2.4 Отчет по лабораторной работе «Проектировочный расчет заклепочного соединения стержня с узловой фасонкой»

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

Таблица 2.1 – Результаты расчета

Деталь соединения	Вид деформации	Требуемая площадь сечения, мм ²	Размеры деталей соединения, мм
1	2	3	4
Стержень			Номер профиля сечения (равнобокие уголки, ГОСТ 8509–93)
Заклепки			Диаметр d

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4
Узловая фасока			Толщина δ

Таблица 2.2 – Параметры соединения

Параметры соединения			
Количество заклепок n , шт	Привязка линии размещения заклепок в один ряд k , мм	Минимальное расстояние между центрами соседних заклепок l , мм	Расстояние от центра крайних заклепок до границы соединения l' , мм

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 испытывают заклепки?
- 6 Какие виды деформаций испытывает узловая фасонка?
- 7 Как записывается условие прочности при растяжении?
- 8 Как записывается условие прочности при срезе?
- 9 Как записывается условие прочности при смятии?
- 10 Каковы параметры соединения?

Список использованных источников

1 ГОСТ 8509-93. Уголки стальные горячекатаные равнополочные. – Введ. 1997–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1997. – 5 с. – Режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/1200001025>.

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

3 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/>.

4 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.

5 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.

6 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.

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