

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

В методических указаниях приведены основные сведения по расчету заклепочных соединений. 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 «Сопротивление 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	10
2 Лабораторная работа «Расчет на прочность заклепочного соединения стержня фермы с фасонным листом»	11
2.1 Цель работы, задачи, инструменты	11
2.2 Исходные данные	11
2.3 Порядок выполнения работы	12
2.4 Отчет по лабораторной работе «Расчет на прочность заклепочного соединения стержня фермы с фасонным листом»	17
2.5 Контрольные вопросы	18
Список использованных источников	19

Введение

Заклепочные соединения нашли широкое применение в строительстве, машиностроении, самолетостроении и вертолетостроении ввиду своей большей надежности по сравнению со сварными соединениями. Заклепки используются для соединения листов и фасонных прокатных профилей.

Заклепочные соединения используются в металлоконструкциях (производство подъемных кранов, мостостроение, стропила, фермы), котлах и резервуарах из-за ряда достоинств таких, как высокая надежность соединения, удобство и надежность контроля качества шва, хорошая сопротивляемость вибрационным и ударным нагрузкам.

Недостатками заклепочных соединений является высокая стоимость, большой расход материала и шум при клепке.

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 «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);

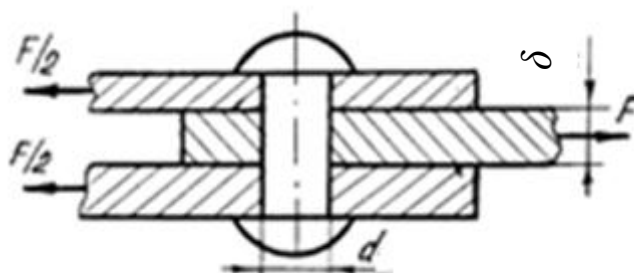
– ОПК-2 способностью выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат (направление 08.03.01 Строительство).

1 Теоретическая часть

1.1 Краткие теоретические сведения

Заклепочные соединения относятся к классу неразъемных соединений. Неразъемные соединения не позволяют разбирать узлы без разрушения и повреждения деталей.

Заклепочные соединения применяются в конструкциях, воспринимающих значительные вибрационные и ударные нагрузки; в конструкциях из несвариваемых материалов; в соединениях окончательно обработанных деталей, где недопустимо применение сварки (рисунок 1.1).



d – диаметр заклепки; δ – толщина фасонного листа.

Рисунок 1.1 – Заклепочное соединение

Заклёпка представляет собой цилиндрический металлический стержень с головкой определённой формы. Головка заклёпки, высаженная заранее, т.е. изготовленная вместе со стержнем, называется закладной, а образующаяся во время клёпки из части стержня, выступающего над поверхностью склёпываемых деталей, – замыкающей.

Заклепки изготавливают из стали (Ст2, Ст3, 09Г2, Сталь 10), латуни (Л63), меди (М3, МТ), алюминиевых сплавов (АМг5П, Д18, АД1) и других материалов. Материал заклепок должен быть достаточно пластичным для обеспечения возможности формирования головок и однородным с материалом соединяемых деталей во избежание электрохимической коррозии.

Обычно заклепками соединяют листовые конструкции. Производить можно вручную или с помощью пневматических молотков, прессов. Клепку ведут горячим и холодным способами. При горячей клепке разогретую до ярко-красного каления заклепку вставляют в отверстие и клепкой образуют замыкающую головку. Поставленная заклепка, остывая, стягивает соединяемые элементы, что существенно улучшает работу соединения на сдвигающие силы благодаря возникающим при этом силам трения. При холодной клепке, выполняемой только на заводе, металл заклепки пластически деформируется клепальной скобой, образуя замыкающую головку. Сила стягивания заклепкой соединяемых элементов при этом получается значительно меньшей, однако сам процесс клепки более прост.

Отверстия в деталях под заклепку получают сверлением или продавливанием.

Заклепки позволяют создать прочное компактное соединение двух и более деталей, выполненных из любых материалов.

Наибольшее распространение получили сплошные стержневые заклепки. Диаметр отверстия под заклепки устанавливают на 0,1 мм больше стержня заклепки, который при клепке осаживается и заполняет отверстие.

Для образования неподвижных соединений при помощи заклепок используется большое количество заклепок, установленных в один или несколько рядов. Такое соединение называется заклепочным швом.

По назначению заклепочные швы различают:

- прочные (металлоконструкции в мостостроении, судостроении, авиастроении);
- прочноплотные (котлы и резервуары с высоким давлением жидкости или газа);
- плотные (резервуары с небольшим давлением).

Для большей надежности плотного шва иногда выполняют чеканку (пластическое деформирование) кромок соединяемых листов с помощью пневматического молотка, оснащенного инструментом, называемым «чекан». В ряде случаев для этой же цели делают подварку соединяемых листов по кромкам.

По конструкции заклепочных швов различают следующие соединения:

- внахлестку;
- встык с одной накладкой;
- встык с двумя накладками.

Соединения внахлестку и с одной накладкой называются односрезными, а с двумя накладками – двухсрезными.

При расчетах заклепочных швов, нагруженных сдвигающей силой, принимается, что нагрузка распространяется равномерно между всеми заклепками, а сила трения в стыке деталей не учитывается. Расчет производится на срез и смятие заклепки. При этом следует учитывать, что на заклепочные соединения существуют нормативы, которые рекомендуют выбирать основные размеры в зависимости от толщины листов. Поэтому расчет приобретает проверочный характер.

Независимо от применяемых инструментов и приспособлений склёпываемые детали располагают таким образом, чтобы закладные головки заклёпок находились сверху. Это позволяет вставлять заклёпки предварительно. Необходимое количество, диаметр и длину заклёпок определяют расчётным путём.

На каждую заклепку передаются по две равные и прямо противоположные силы: одна – от первого листа, другая – от второго. Опытные исследования показывают, что одни из заклепок ряда нагружаются больше, другие – меньше. Однако к моменту разрушения усилия, передающиеся на различные заклепки, более или менее выравниваются за счет пластических деформаций. Поэтому принято считать, что все заклепки работают одинаково.

Заклепки рассчитываются на срез.

Условие прочности на срез имеет вид:

$$\tau_{cp} = \frac{4F}{n \cdot m \cdot \pi d^2} \leq [\tau_{cp}], \quad (1.1)$$

где τ_{cp} – касательное напряжение при срезе;

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

m – число плоскостей среза одной заклепки;

n – число заклепок; необходимое число заклепок.

Необходимое число заклепок из расчета на срез определяется по формуле:

$$n = \frac{4F}{m \cdot d^2 \cdot [\tau_{cp}]}. \quad (1.2)$$

Условие прочности заклепок на растяжение (отрыв головок) имеет вид:

$$\sigma_p = \frac{4F}{n \pi d^2} \leq [\sigma_p], \quad (1.3)$$

где σ_p – нормальное напряжение растяжения;

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

Фасонный лист проверяются на смятие.

Условие прочности на смятие имеет вид:

$$\sigma_{cm} = \frac{F}{n \cdot \delta \cdot d} \leq [\sigma_{cm}]. \quad (1.4)$$

где σ_{cm} – нормальное напряжение при смятии;

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

Необходимое число заклепок из расчета на смятие определяется по формуле:

$$n = \frac{F}{\delta \cdot d \cdot [\sigma_{cm}]}. \quad (1.5)$$

Условие прочности на растяжение фасонного листа имеет вид:

$$\sigma_p = \frac{F}{A_p} \leq [\sigma_p], \quad (1.6)$$

где A_p – площадь растяжения в ослабленном сечении.

Площадь поперечного сечения фасонного листа неослабленного сечениями под заклепки определяется по формуле:

$$A_{\text{брутто}} = b \cdot \delta, \quad (1.7)$$

где b – ширина фасонного листа.

Площадь поперечного сечения фасонного листа, ослабленного сечениями под заклепки, определяется по формуле:

$$A_{\text{нетто}} = (b - d \cdot n) \cdot \delta. \quad (1.8)$$

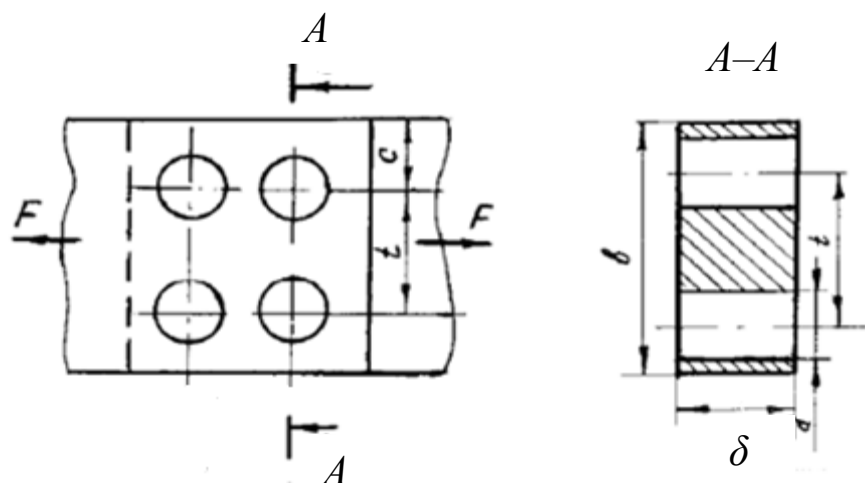
На практике пользуются следующими соотношениями (рисунок 1.2):

- $d \approx 2\delta$;
- $t = (3...6)d$.

Коэффициент прочности шва φ – число, показывающее во сколько раз прочность на растяжение детали с отверстиями под заклепки, меньше прочности на растяжение той же детали без отверстия, определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{t - d}{t}. \quad (1.9)$$

Чем больше значение коэффициент прочности шва, тем лучше использован материал склепываемых деталей.



b – ширина фасонного листа; δ – толщина фасонного листа; t – расстояние между центрами соседних заклепок; c – расстояние от центра крайних заклепок до границы соединения

Рисунок 1.2 – Чертеж заклепочного соединения

1.2 Вопросы для самопроверки

- 1 Что представляют собой заклепочные соединения?
- 2 Для чего применяются заклепочные соединения?
- 3 Из каких материалов изготавливают заклепки?
- 4 Что учитывает коэффициент прочности заклепочного шва?
- 5 Какая существует зависимость между диаметром заклепки и толщиной листа?
- 6 Какой вид имеет условие прочности при срезе?
- 7 Какой вид имеет условие прочности при смятии?
- 8 Какой вид имеет условие прочности при растяжении?
- 9 Что такое площадь брутто?
- 10 Что такое площадь нетто?
- 11 Что показывает коэффициент прочности шва?

2 Лабораторная работа «Расчет на прочность заклепочного соединения стержня фермы с фасонным листом»

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 необходимого количества заклепок n ;
- расчет на прочность элементов соединения;
- определение коэффициента прочности шва φ .

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

2.2 Исходные данные

Стержень 1 фермы, соединенный с фасонным листом (косынкой) 2 заклепками 3, растягивается осевой силой F (рисунок 2.1).

Стержень состоит из двух швеллеров № 18 У (ГОСТ 8240-97. Швеллеры стальные горячекатаные).

Растягивающая сила $F=500$ кН.

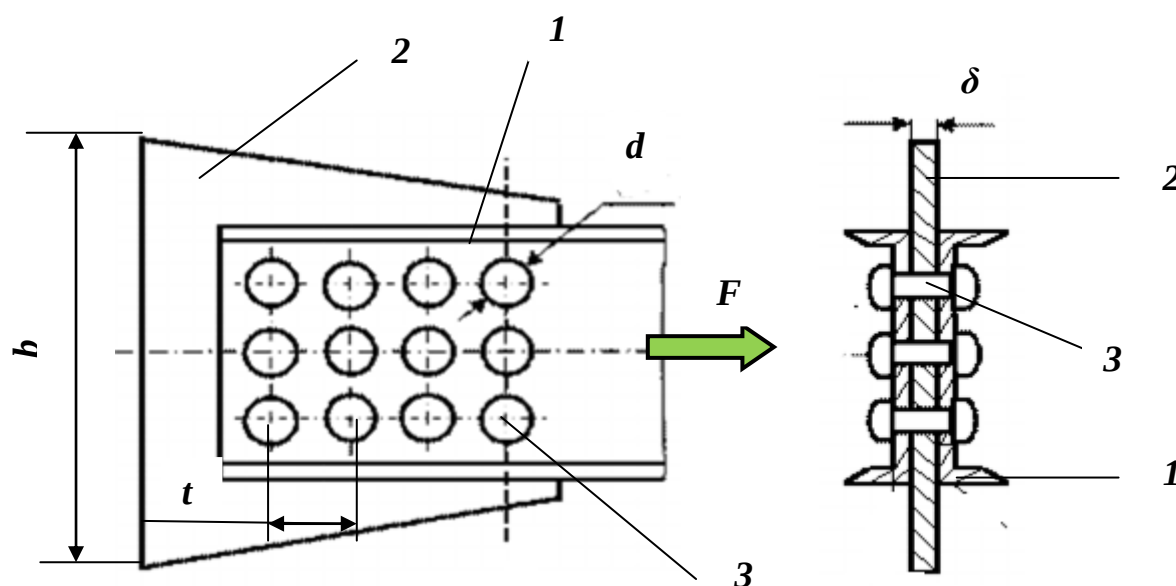
Толщина фасонного листа $\delta=10$ мм; ширина фасонного листа $b=400$ мм.

Диаметр заклепок $d=20$ мм; количество заклепок $n=12$; расстояние между центрами соседних заклепок $t=60$ мм.

Допускаемые напряжения:

- на растяжение $[\sigma_p] = 160$ МПа;
- на срез $[\tau_{ср}] = 140$ МПа;

– на смятие $[\sigma_{см}] = 320 \text{ МПа}$.



1 – стержень; 2 – фасонный лист (косынка); 3 – заклепки;

δ – толщина фасонного листа; b – ширина фасонного листа;

d – диаметр заклепки; t – расстояние между центрами соседних заклепок.

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.

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

4 Измерить при помощи штангенциркуля размеры деталей соединения и представить их в отчете в таблице 2.1.

5 Выполнить расчет на прочность деталей соединения и результаты расчета представить в отчете (таблицы 2.2, 2.3).

5.1 Расчет необходимого количества заклепок.

Последовательность действий:

– из условия прочности на срез определить допускаемую силу на одну заклепку по формуле ($n=1$, $m=2$):

$$[F_{cp}] = n \cdot m \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot [\tau_{cp}]; \quad (2.1)$$

– из условия прочности на смятие определить допускаемую силу на одну заклепку по формуле ($n=1$):

$$[F_{cm}] = n \cdot d \cdot \delta \cdot [\sigma_{cm}]; \quad (2.1)$$

– сравнить допускаемые силы на срез F_{cp} и смятие F_{cm} ;

– если допускаемая сила на срез меньше допускаемые силы на смятие $F_{cp} \leq F_{cm}$, то требуемое число заклепок определить из условия среза:

$$n = \frac{4F}{m \cdot d^2 \cdot [\tau_{cp}]}; \quad (2.2)$$

– если допускаемая сила на смятие меньше допускаемой силы на срез $F_{cm} \leq F_{cp}$, то требуемое число заклепок определить из условия смятия:

$$n = \frac{F}{\delta \cdot d \cdot [\sigma_{cm}]}; \quad (2.3)$$

Полученное значение округлить в большую сторону до ближайшего целого числа.

5.2 Расчет заклепок на прочность.

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

Последовательность действий:

– определить площадь среза заклепок по формуле:

$$A_{cp} = \frac{4F}{n \cdot \pi \cdot d^2}; \quad (2.7)$$

– определить касательное напряжение среза заклепок по формуле:

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

– выполнить проверку прочности стержня на растяжение по формуле:

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

– сделать вывод о выполнении/невыполнении условия прочности при срезе заклепок.

5.3 Расчет стержня на прочность.

Стержень под действием растягивающей силы испытывает **растяжение**.

Последовательность действий:

– определить площадь растяжения ослабленного поперечного сечения стержня по формуле:

$$A_p = 2A_{ш} - 6d \cdot s, \quad (2.4)$$

где $A_{ш}$ – площадь швеллера;

s – толщина стенки (стойки) швеллера;

– определить нормальное напряжение растяжения стержня по формуле:

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

– выполнить проверку прочности стержня на растяжение по формуле:

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

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

Стержень под действием давления заклепок испытывает **смятие**.

Последовательность действий:

– определить площадь смятия стержня по формуле:

$$A_{см} = n \cdot d \cdot s; \quad (2.4)$$

– определить нормальное напряжение растяжения стержня по формуле:

$$\sigma_{см} = \frac{F}{A_{см}}; \quad (2.5)$$

– выполнить проверку прочности стержня на растяжение по формуле:

$$\sigma_{см} \leq [\sigma_{см}]; \quad (2.6)$$

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

5.4 Расчет фасонного листа на прочность.

Фасонный лист под действием растягивающей силы испытывает **растяжение**.

Последовательность действий:

– определить ослабленную площадь растяжения фасонного листа по формуле:

$$A_p = (b - 3d) \cdot \delta; \quad (2.7)$$

– определить нормальное напряжение растяжения фасонного листа по формуле:

$$\sigma_p = \frac{F}{A_p}; \quad (2.8)$$

– выполнить проверку прочности на растяжение фасонного листа по формуле:

$$\sigma_p \leq [\sigma_p]; \quad (2.9)$$

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

Фасонный лист под действием давления заклепок испытывает **смятие**.

Последовательность действий:

– определить площадь смятия фасонного листа по формуле:

$$A_{см} = n \cdot d \cdot \delta; \quad (2.10)$$

– определить нормальное напряжение смятия фасонного листа по формуле:

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

– выполнить проверку прочности фасонного листа на смятие по формуле:

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

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

5.5 Определить коэффициент прочности шва по формуле:

$$\varphi = \frac{t - d}{t}. \quad (2.13.)$$

2.4 Отчет по лабораторной работе «Расчет на прочность заклепочного соединения стержня фермы с фасонным листом»

В отчет по лабораторной работе включить схему соединения, таблицы результатов расчета 2.1, 2.2, 2.3 и вывод по работе.

Таблица 2.1 – Размеры деталей и вид деформации

Деталь соединения	Размеры деталей соединения, мм		
	Диаметр поперечного сечения d	Число заклепок n , шт	Расстояние между центрами соседних заклепок t
Заклепки			
Стержень	Номер профиля сечения (швеллер № 22У, ГОСТ 8240–97)		
Фасонный лист (косынка)	Толщина δ	Ширина b	

Таблица 2.2 – Результаты расчета заклепок

Допускаемая сила на одну заклепку из условия прочности на срез $F_{ср}$, кН	Допускаемая сила на одну заклепку из условия прочности на смятие $F_{см}$, кН	Необходимое число заклепок n , шт

Таблица 2.3 – Результаты проверочного расчета на прочность

Деталь соединения	Вид деформации	Площадь сечения, мм ²	Напряжение, МПа	Проверка условия прочности
Заклепки				
Стержень				
Фасонный лист				
Коэффициент прочности шва $\varphi =$				

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 фасонный лист (косынка)?
- 7 Как записывается условие прочности при растяжении, срезе и смятии?
- 8 Какое количество заклепок требуется для соединения?
- 9 По какому условию определялось число заклепок?
- 10 Обеспечивается ли прочность соединения?
- 11 Чему равен коэффициент прочности шва?

Список использованных источников

1 ГОСТ 8240-97. Швеллеры стальные горячекатаные. – Введ. 2002–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 7 с. – Режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/1200019824>.

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.: с. 577–584. – ISBN 978-5-7038-3024-6.

3 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.

4 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.

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