

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Воронежский государственный технический университет

Кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к выполнению лабораторных работ
по направлению 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
всех форм обучения*

Воронеж 2022

УДК 624.014(07)
ББК 38.54я7

Составитель А. И. Калинина

Металлические конструкции: методические указания к выполнению лабораторных работ по направлению 21.03.01 «Нефтегазовое дело» всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: А. И. Калинина. Изд-во ВГТУ, 2022. – 32 с.

Изложены конструктивные особенности и техника обслуживания лабораторного оборудования. Рассмотрены расчеты и испытания элементов с разными схемами загрузки. Описана технология сварки и технология определения деформации соединений. Изложена методика подготовки и выполнения лабораторных работ. Даны указания по оформлению работ, форме представления полученных данных и сдаче отчетов по выполненным работам. Дан список рекомендуемой учебно-методической и нормативно-технической литературы.

Предназначены для студентов направления 21.03.01 «Нефтегазовое дело» всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ_НГД_ЛР_МК.pdf.

Ил. 20. Табл. 2. Библиогр.: 8 назв.

УДК 624.014(07)
ББК 38.54я7

***Рецензент** – А. В. Кретинин, д-р техн. наук, профессор
кафедры нефтегазового оборудования и транспортировки ВГТУ*

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

Оглавление

Введение	4
Лабораторная работа № 1. Сталь, как материал для строительных конструкций.....	5
Лабораторная работа № 2. Расчет и испытание центрально-сжатого стержня.....	8
Лабораторная работа № 3. Расчет и испытание внецентренно-растянутого элемента.....	17
Лабораторная работа № 4. Расчет прочности, технология сварки и определение деформаций стыковых соединений.....	19
Лабораторная работа № 5. Расчет и испытание угловых сварных швов на срез	21
Лабораторная работа № 6. Расчет и испытание модели подкрановой балки.	23
Библиографический список	31

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания составлены в соответствии с программами курсов для выполнения лабораторных работ.

Целью каждой лабораторной работы является более глубокое усвоение материала по соответствующему разделу курса, а также приобретение необходимых навыков при работе с лабораторным оборудованием, постановке и проведении экспериментов, обработке их результатов.

К работе допускаются студенты, изучившие:

- соответствующие разделы специальных курсов и настоящие методические указания для выполнения соответствующей лабораторной работы;
- правила по технике безопасности при проведении лабораторных работ.

Кроме того, студенты должны знать:

- конструкцию экспериментальной установки и порядок проведения исследований;
- конструкцию и принцип действия измерительных средств, точность их измерений.

К выполнению работы допускаются студенты, представившие преподавателю предварительно оформленный отчет по работе с кратким изложением задач исследований, теоретической части, представлением принципиальной конструктивной схемы экспериментальной установки и таблицы для записи экспериментальных данных.

Лабораторные работы выполняются каждым студентом самостоятельно или группой из 3-5 человек (по указанию преподавателя). Каждый студент перед проведением расчетов должен провести анализ результатов экспериментальных данных с целью выявления и устранения грубых ошибок измерений.

Отчет должен содержать таблицу экспериментально-расчетных данных с подписью преподавателя. Студенту предлагается несколько вопросов, и при положительных ответах на них правильно оформленный отчет считается принятым, а лабораторная работа зачтенной. Тетрадь с оформленными лабораторными работами и отчетом сдается преподавателю.

При проведении лабораторных работ студентам запрещается:

- самостоятельно включать и выключать установку;
- изменять режимы установки;
- отсоединять измерительные приборы и элементы установки;
- прикасаться к нагретым поверхностям оборудования;
- прикасаться к элементам установки и оборудования, находящимися под напряжением.

Включение и выключение установки, изменение режима её работы осуществляется лаборантом или преподавателем.

Лабораторная работа № 1

СТАЛЬ, КАК МАТЕРИАЛ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1.1 Цель работы

Изучить основной состав стали научиться определять:

1. Марку стали;
2. Расчетное сопротивление стали сжатию;
3. Нормативное сопротивление стали сжатию.

1.2 Краткие теоретические сведения

В строительных конструкциях применяется сталь листовая и прокатная. В соответствии с нормами в строительстве используются стали 13 видов - С235; С245; С255; С275; С285; С345; С345К; С375; С390; С390К; С440; С590; С590К.

Буква **С** обозначает сталь строительную, цифры условно обозначают предел текучести проката.

Буква **К** – вариант химического состава. Выбор стали производится по табл. 50 СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции». При выборе стали учитывается сложность напряженного состояния, которое испытывает конструкция под нагрузкой.

Группы стальных конструкций

Группа 1. Сварные конструкции* или их элементы, работающие в особо тяжелых условиях (согласно ГОСТ 25546), в том числе максимально стесняющих развитие пластических деформаций, или подвергающиеся непосредственному воздействию динамических**, вибрационных или подвижных нагрузок [балки крановых путей; балки рабочих площадок; балки путей подвесного транспорта; элементы конструкций бункерных и разгрузочных эстакад, непосредственно воспринимающих нагрузки от подвижных составов; главные балки и ригели рам при динамической нагрузке; пролетные строения транспортерных галерей; фасонки ферм; стенки, окрайки днищ, кольца жесткости, плавающие крыши, покрытия резервуаров и газгольдеров; бункерные балки; оболочки параболических бункеров; стальные оболочки свободно стоящих дымовых труб; сварные специальные опоры больших переходов линий электропередачи (ВЛ) высотой более 60 м; элементы оттяжек мачт и оттяжечных узлов].

Группа 2. Сварные конструкции либо их элементы, работающие при статической нагрузке при наличии растягивающих напряжений [фермы; ригели рам; балки перекрытий и покрытий; косоуры лестниц; оболочки силосов; опоры ВЛ, за исключением сварных опор больших переходов; опоры ошиновки открытых распределительных устройств подстанций (ОРУ); опоры транспортерных галерей; прожекторные мачты; элементы комбинированных опор антенных сооружений (АС) и другие растянутые, растянуто-изгибаемые и изгибаемые элементы], а также конструкции и их элементы группы 1 при отсутствии сварных соединений и балки

подвесных путей из двутавров по ГОСТ 19425 при наличии сварных монтажных соединений.

Группа 3. Сварные конструкции либо их элементы, работающие при статической нагрузке, преимущественно на сжатие [колонны; стойки; опорные плиты; элементы настила перекрытий; конструкции, поддерживающие технологическое оборудование; вертикальные связи по колоннам с напряжениями в расчетных сечениях связей свыше 0,4 ; анкерные, несущие и фиксирующие конструкции (опоры, ригели жестких поперечин, фиксаторы) контактной сети транспорта; опоры под оборудование ОРУ, кроме опор под выключатели; элементы стволов и башен АС; колонны бетоновозных эстакад; прогоны покрытий и другие сжатые и сжато-изгибаемые элементы], а также конструкции и их элементы группы 2 при отсутствии сварных соединений.

Группа 4. Вспомогательные конструкции зданий и сооружений (связи, кроме указанных в группе 3; элементы фахверка; лестницы; трапы; площадки; ограждения; металлоконструкции кабельных каналов; вспомогательные элементы сооружений и т.п.); сооружения класса КС-1 (ГОСТ 27751) - теплицы; парники; здания, в которых не предусматривается постоянное пребывание людей (мобильные сборно-разборные и контейнерного типа, временные склады и сооружения с ограниченным сроком службы, шпунтовые ограждения котлованов, временные опоры и т.п.), а также конструкции и их элементы группы 3 при отсутствии сварных соединений.

Исследования работы сталей производятся на образцах стали, результаты их работы отображают на диаграмме, где по оси ординат откладывают напряжения σ , а по оси абсцисс откладывают относительные деформации ε (отношение удлинения к первоначальной длине).

На диаграмме (рис.1) можно выделить три участка работы стали:

- 1- участок упругой работы;
- 2-участок пластической работы;
- 3-участок упруго-пластической работы.

В большинстве простейших расчетов считаем, что сталь работает в пределах первого участка, т.е. напряжения в элементах ограничиваются пределом текучести σ_y . Соответственно, нормативные и расчетные сопротивления, необходимые для расчета конструкции принимаются по пределу текучести.

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

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

В некоторых случаях необходимо при расчетах знать нормативные и расчетные сопротивления, принятые по временному сопротивлению - σ_u .

R_{un} - временное сопротивление стали, принимаемое равным минимальному значению σ_u по национальным стандартам и техническим условиям на сталь;

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

Нормативные и расчетные сопротивления принимаются по табл. В.3 СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» в зависимости от стали, вида проката (листовой или фасонный) и толщины проката.

Перечень прокатных профилей с указанием их формы, геометрических характеристик, массы единицы длины и других данных называется сортаментом. В целях ограничения типоразмеров и обеспечения унификации конструкций приняты основные стандарты, регламентирующие прокат наиболее часто используемых профилей.

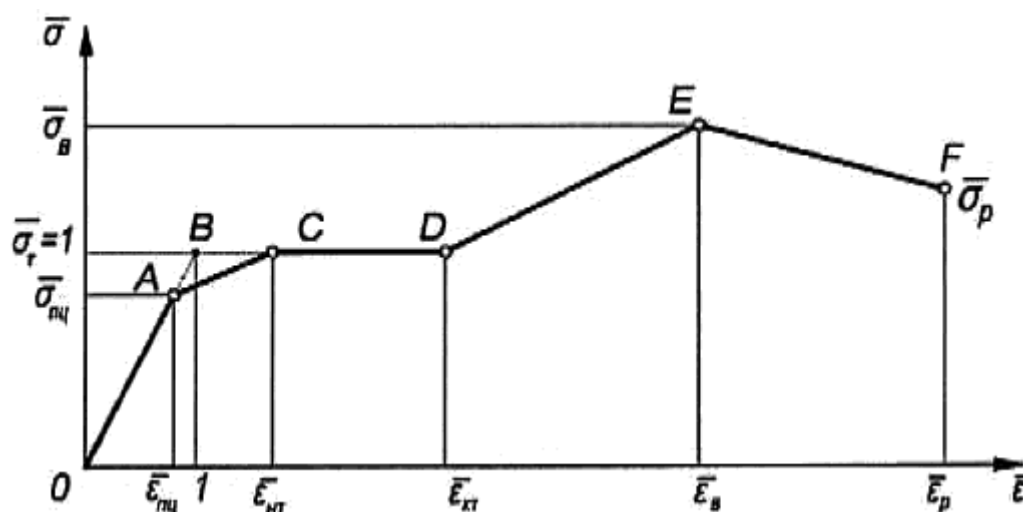


Рис. 1.1. Обобщенная расчетная диаграмма работы строительных сталей

1.3 Вопросы для контроля:

1. Какие виды стали вы можете назвать?
2. Изобразите и объясните диаграмму зависимости напряжения от деформаций для стали.
3. Нормативные и расчетные сопротивления стали. Обозначение, где искать и от чего зависят.

1.4 Задания к лабораторной работе:

Найти расчетные сопротивления сжатию:

- листа стали С255 толщиной 12мм;
- швеллера №16П из стали С245;

Найти нормативные сопротивления сжатию:

- листа стали С235 толщиной 8мм.

Лабораторная работа №2

РАСЧЕТ И ИСПЫТАНИЕ ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТОГО СТЕРЖНЯ

1.1 Цель работы

Теоретическое и экспериментальное изучение устойчивости центрально-сжатых элементов. Определение критического продольного усилия.

1.2 Краткие теоретические сведения

Под устойчивостью понимается свойство системы сохранять свое состояние при внешних воздействиях. Если система таким свойством не обладает, она называется неустойчивой. Также можно сказать, что неустойчивым является ее состояние.

В реальных условиях всегда существуют определенные причины, по которым может произойти отклонение от исходного равновесного состояния. Следовательно, возможность перехода к новому состоянию в неустойчивой системе всегда реализуется. В этом случае говорят, что произошла потеря устойчивости.

Рассмотрим достаточно длинный по сравнению с его поперечными размерами стержень, шарнирно-прикрепленный к опорам (рис.2.1) и нагрузим его сверху центрально силой P , постепенно возрастающей. Пока сила P сравнительно мала, стержень будет сохранять прямолинейную форму. При отклонении стержня в сторону, он будет после ряда колебаний возвращаться к первоначальной форме, как только будет удалена сила, вызвавшая отклонение. При постепенном увеличении силы P стержень будет все медленнее возвращаться к первоначальному положению при проверках его устойчивости.

Силу P можно довести до такой величины, при которой стержень после небольшого отклонения в сторону уже не выпрямится, а останется искривленным. Если не удаляя силы P , выпрямить стержень, то он уже не сможет сохранить прямолинейную форму. При этом значении силы P , называемом критическим, P_k , прямолинейная форма перестает быть устойчивой формой равновесия сжатого стержня. Критическая сила P_k вызывает в сжатом стержне, называемое «критическим напряжением»:

$$\sigma_k = \frac{P_k}{F}, \quad (2.1)$$

Критические напряжения являются опасными напряжениями для сжатого стержня. Поэтому, чтобы обеспечить устойчивость прямолинейной формы стержня к условию прочности добавляют условие устойчивости:

$$\sigma = \frac{P}{A} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (2.2)$$

где R_y – расчетное сопротивление стали, принимаем по СП «Стальные конструкции»;

φ – коэффициент продольного изгиба, принимаем по СП «Стальные конструкции».

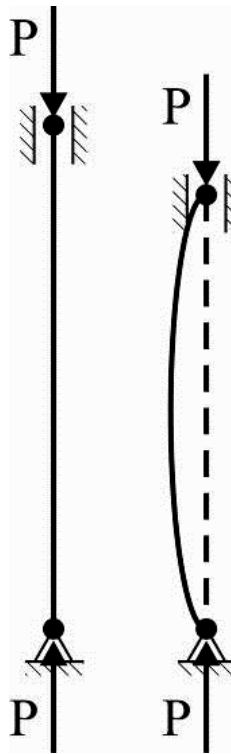


Рис. 2.1. Устойчивость центрально-сжатого стержня

Для нахождения критических напряжений φR_y необходимо вычислить критическую силу P_k , т.е. наименьшую осевую сжимающую силу, способную удержать в равновесии слегка искривленный сжатый стержень. Впервые эта задача была поставлена и решена Л. Эйлером в 1757 г. Рассмотрим прямой стержень постоянного сечения, шарнирно опертый по концам (рис. 2.2). Нагрузим стержень центрально приложенными продольными сжимающими силами $P = P_k$ и дадим ему весьма небольшое искривление в плоскости наименьшей жесткости. Рассмотрим условия, при которых возможно равновесие стержня с изогнутой осью.

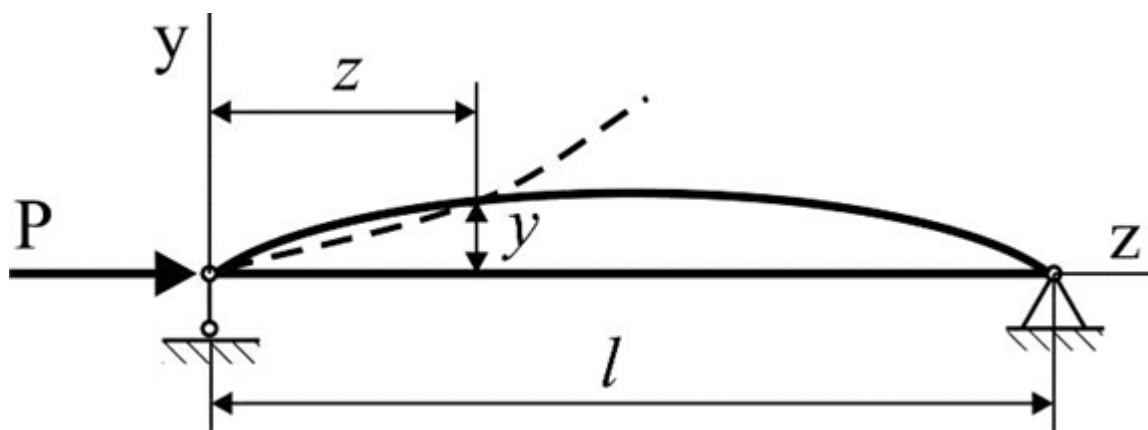


Рис. 2.2. Расчетная схема центрально-сжатого стержня

Значения коэффициента приведения длины для различных условий опирания приведены на рис. 2.3.

При достижении внешней нагрузкой первой критической силы стержень в виду присутствия в его геометрии начальных несовершенств теряет устойчивость. В случае кинематического нагружения стержень переходит в новую форму равновесия – искривленную, при этом напряжения и деформации в его среднем сечении резко возрастают в связи с возникновением изгибающего момента. Таким образом, потеря устойчивости по первой форме может быть легко зафиксирована двумя тензодатчиками, установленными вдоль оси стержня в его среднем сечении (рис. 2.4). В случае, когда плоскость изгиба при потере устойчивости неизвестна, например, для круглого сечения образца, то датчики устанавливают в двух перпендикулярных плоскостях.

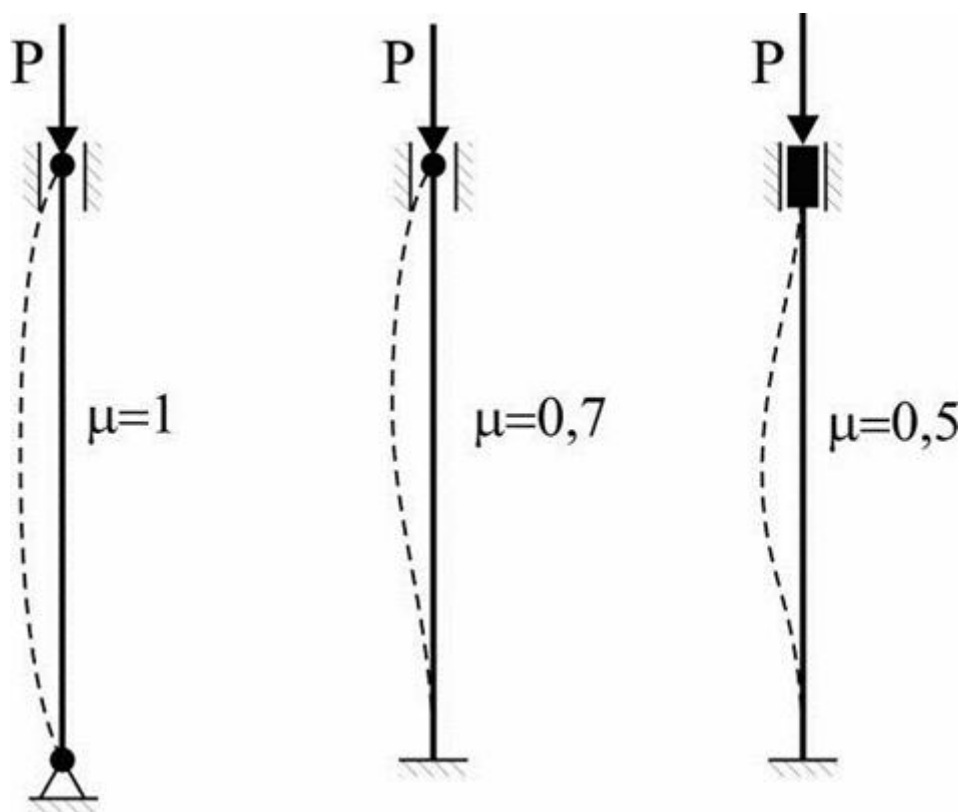


Рис. 2.3. Коэффициент приведения длины.

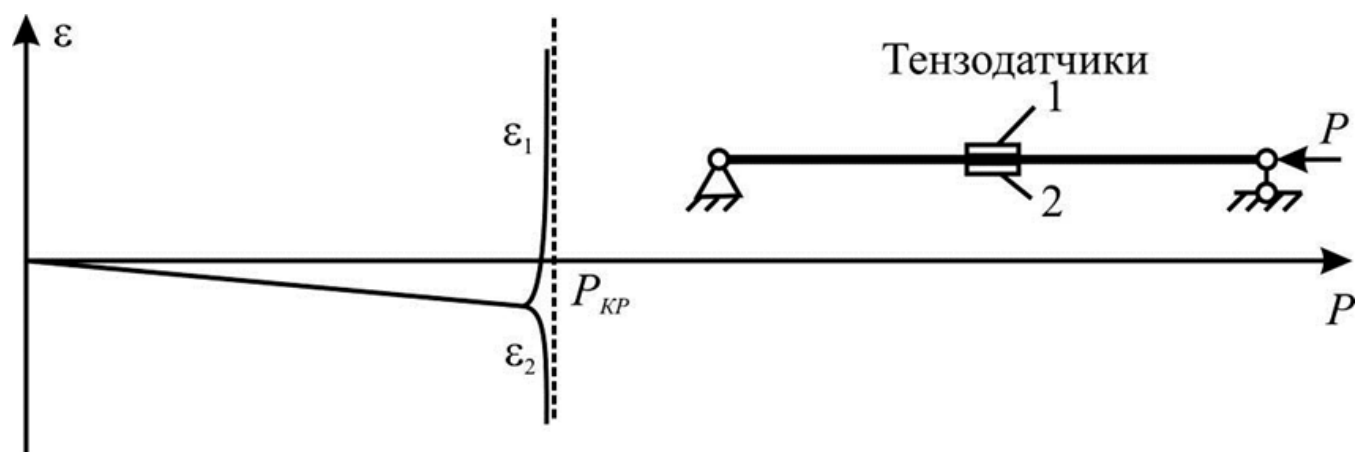


Рис. 2.4. Зависимость деформаций от сжимающей силы

До момента достижения критического значения сжимающей силы, показания датчиков деформации (тензорезисторов) линейно зависят от величины сжимающей силы. При приближении к нагрузке потери устойчивости деформации в среднем сечении образца начинают резко возрастать, при малом увеличении значения силы.

Таким путем определяется факт потери устойчивости прямолинейной формы равновесия стержня.

Справочные величины:

-модуль упругости стали: $E_{СТ} = 2,1 \cdot 10^5$ МПа;

-модуль упругости алюминиевого сплава: $E_{АЛ} = 0,7 \cdot 10^5$ МПа.

1.3 Устройство стенда.

Конструкция стенда представлена на рисунке 2.5.

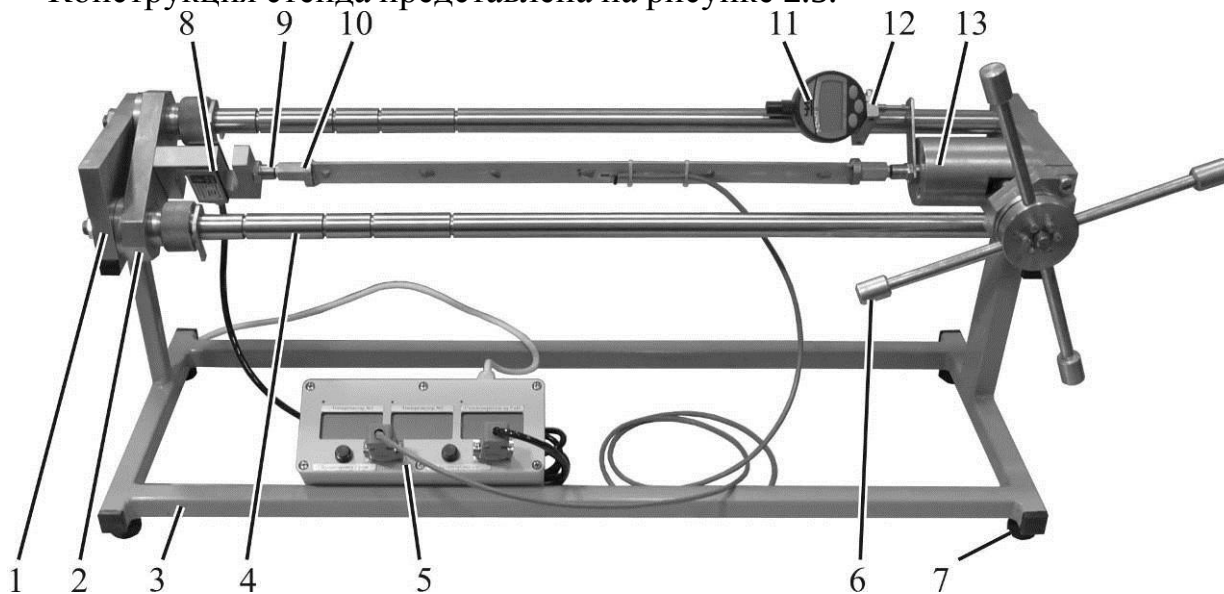


Рис. 2.5. Общий вид стенда

Стенд учебный «Общая устойчивость центрально-сжатого стержня» ОУС-ЗЛР-12 включает:

- опорные плиты 1;
- подвижную плиту 2, для регулировки длины рабочей зоны;
- раму 3 для установки стенда на ровной поверхности (столе);
- силовые направляющие 4, с канавками под установку стопорных вилок;
- измерительный блок 5 для индикации показаний тензорезисторов и силоизмерителя;
- ручной привод 6 устройства нагружения;
- регулируемые опоры 7;
- силоизмеритель 8 с максимальным усилием 2 кН;
- опоры 9 со сферической лункой для установки образца;
- образцы 10.

Для индикации показаний силоизмерителя и тензодатчиков предназначен измерительный блок, показанный на рисунке 6. Измерительный блок показывает действующее значение усилия в кН, значение деформаций в тысячных процента, т.е. одна единица

соответствует деформации 10^{-5} .

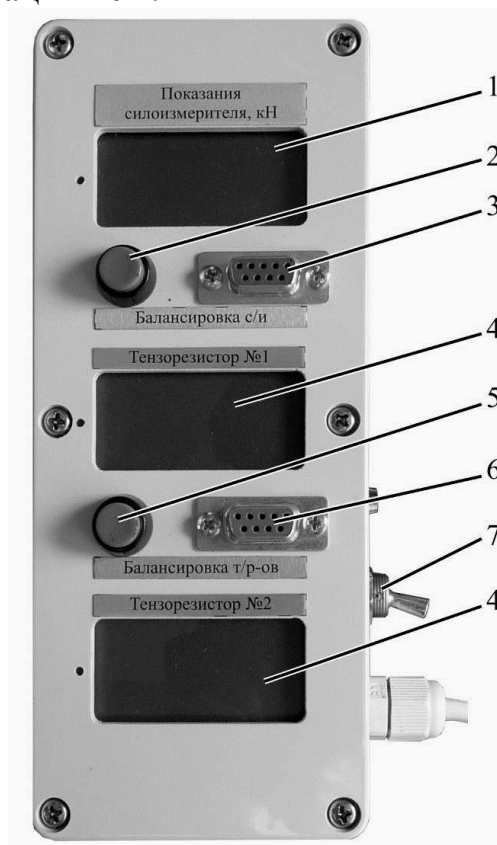


Рис. 2.6. Измерительный блок

На измерительном блоке расположены:

- цифровое табло 1 для индикации показаний силоизмерителя, свечение зеленого светодиода слева от табло означает знак «минус»;
- кнопка 2 для балансировки показаний силоизмерителя;
- разъем 3 для подключения силоизмерителя;
- два цифровых табло 4 для индикации показаний тензорезисторов, свечение зеленого светодиода слева вверху от табло означает знак «минус»;
- кнопка 5 для балансировки показаний тензорезисторов;
- разъем 6 для подключения тензорезисторов;
- тумблер 7 включения электропитания измерительного блока.

1.4 Теоретическая часть.

Теоретическое определение величины критической силы производится по формуле:

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_x}{(\mu \cdot l)^2}, \quad (2.3)$$

где J_x —момент инерции сечения образца;

E – модуль упругости стали, $E = 2,1 \cdot 10^6$ кг/см²;
 l – расстояние между точками раскрепления.

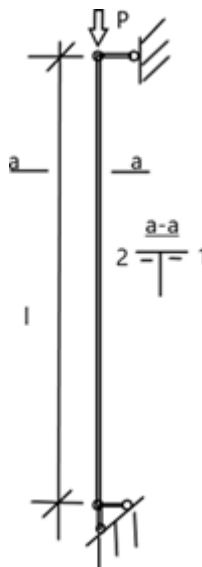


Рис. 2.7. Расчетная схема испытываемого образца

1.5 Экспериментальная часть.

1. Подключить разъем тензорезисторов к соответствующему разъему на измерительном блоке.
2. Включить электропитание измерительного блока. Подождать 5 – 10 минут для выхода электронных компонент блока на тепловой режим.
3. Произвести балансировку силоизмерителя и тензорезисторов нажатием соответствующих кнопок на измерительном блоке.
4. Плавное вращая рукоятку приводного устройства по направлению хода часовой стрелки, начать нагружение образца, контролируя при этом значение усилия и деформаций по цифровым табло. В процессе нагружения записывать текущие значения усилия (P) и деформаций (ϵ_1, ϵ_2) в таблицу 1 с шагом 5-6 единиц по деформациям. Нагружение проводить до значений деформаций 60-70.

Обновление показаний цифровых табло происходит один раз в 2–3 с. Запрещено превышать значение деформаций 80×10^{-5} (показания цифрового табло «80») для образцов из стали.

5. Сделать эскиз формы потери устойчивости образца.
6. Разгрузить образец, вращая рукоятку приводного устройства против направления хода часовой стрелки.
7. Построить зависимости деформаций от сжимающего усилия. Определить значение критической силы (нагрузки потери устойчивости), занести полученное значение в таблицу 2.1.

8. Рассчитать теоретическое значение критической силы, занести результат в таблицу 2.1.

9. Сравнить полученные экспериментальные и расчетные значения. Сделать выводы.

Таблица 2.1

Экспериментальные данные испытаний

№ этапа	Р, кН	Показания датчиков		Среднее значение напряжений	Наклон кривой
		$\varepsilon_1 \cdot 10^5$	$\varepsilon_2 \cdot 10^5$		
				$\sigma = \frac{E \cdot (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) 10^{-5}}{2}$	$k_1 = \frac{P}{\sigma}$
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					
9.					
10.					

Для определения значения критического усилия полученного в ходе эксперимента необходимо определить усилие, при котором наклон кривой изменяется. Критическое усилие определяется по формуле:

$$P_{кр.i} = \frac{k_i \cdot \left(\frac{P_{кр.i} \cdot \sigma_{кр,j} - P_{кр.j} \cdot \sigma_{кр,i}}{\sigma_{кр,j} - \sigma_{кр,i}} \right)}{k_i - \left(\frac{P_{кр.j} - P_{кр.i}}{\sigma_{кр,j} - \sigma_{кр,i}} \right)}, \quad (2.4)$$

где $P_{кр.i}$ – критическая сила перед изменением наклона кривой;

$P_{кр.j}$ – критическая сила, при которой меняется наклон кривой;

$\sigma_{кр,i}$ – критические средние напряжения перед изменением наклона кривой;
 $\sigma_{кр,j}$ – критические средние напряжения, при которых меняется наклон кривой;

k_i – наклон кривой графика на i -м этапе;

$\varepsilon_{1,i}$ – показания 1-го датчика на i -м этапе;

$\varepsilon_{2,i}$ – показания 2-го датчика на i -м этапе.

Сравнительный анализ результатов теоретических исследований и экспериментальных данных:

$$\Delta = \frac{P_{кр} - P_{э}}{P_{э}}, \quad (2.5)$$

1.6 Общие выводы.

После определения теоретического и экспериментального значения критической силы необходимо:

- 1) сравнить теоретическое и экспериментальное значение критической силы;
- 2) схематически нарисовать форму потери устойчивости.

1.7 Контрольные вопросы

1. Что понимается под устойчивостью центрально-сжатого элемента?
2. Что такое коэффициент продольного изгиба?
3. Что такое коэффициент приведения длины?
4. Как отслеживается потеря устойчивости стержня в ходе эксперимента.

Лабораторная работа № 3

РАСЧЕТ И ИСПЫТАНИЕ ВНЕЦЕНТРЕННО-РАСТЯНУТОГО ЭЛЕМЕНТА

1.1 Цель работы

Приобретение навыков расчета растянуто-изогнутых и внецентренно-растянутых элементов по СП 16.13330.2017 с последующим испытанием образца до разрушения и сопоставлением расчетных и экспериментальных данных.

1.2 Образец

Образец для испытания представляет собой отрезок уголка с приваренными на его концах пластинами, за которые растягивается образец, изготовленный из малоуглеродистой стали (рис. 3.1).

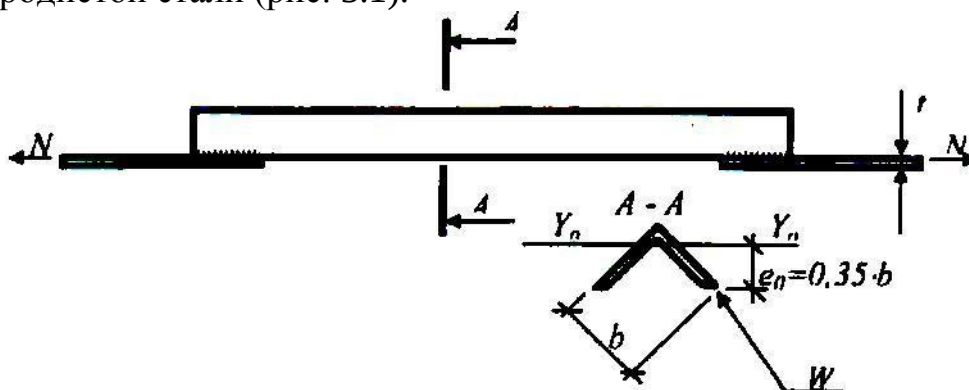


Рис. 3.1. Образец для испытания на внецентренное растяжение

1.3 Порядок выполнения работы

Студенты, пользуясь положениями СП 16.13330.2017, рассчитывают и определяют несущую способность внецентренно-растянутого элемента без учета развития пластических деформаций и с учетом развития пластических деформаций. Наиболее нагруженной зоной сечения уголка являются полки, приваренные к пластинам, а напряжения в них без учета пластических деформаций определяют по формуле:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (3.1)$$

Тогда расчетная несущая способность сечения А-А без учета развития пластических деформаций составит:

$$N = \frac{A \cdot R_y \cdot \gamma_c}{1 + A \cdot \frac{e}{W}}, \quad (3.2)$$

где A – площадь сечения уголка, см^2 ;

R_y – расчетное сопротивление стали (по приложение В, табл. В.3, В.4, В.5 СП 16.13330.2017);

γ_c – коэффициент условия работы элемента (по табл. 1 СП 16.13330.2017);

e – эксцентриситет приложения силы, см :

$$e = \frac{t}{2} + e_0, , \quad (3.3)$$

Затем определяется несущая способность стержня с учетом развития пластических деформаций, заменяя неравенство на равенство:

$$\left(\frac{N}{A \cdot R_y \cdot \gamma_c} \right)^n + \frac{M}{c_x \cdot W_{\min} R_y \cdot \gamma_c} = 1, \quad (3.4)$$

$$M = N \cdot e, \quad (3.5)$$

где $n = 2$ – для уголка;

$c_x = 1,47$ – для уголка (по приложению Е, табл. Е.1 СП 16.13330.2017).

Величина N определяется из решения уравнения (3.2).

Далее в лабораторных условиях студенты выполняют испытание стержня до разрушения, сравнивают результаты расчета с экспериментальными данными и делают вывод по работе с анализом схемы разрушения.

1.4 Контрольные вопросы

1. Во сколько раз отличается несущая способность стержня с учетом и без учета пластических деформаций?

2. Оказывался ли стержень прямолинейным при расчетной нагрузке с учетом развития пластических деформаций?

3. Во сколько раз разрушающая нагрузка превысила расчетную и чем это объясняется?

Лабораторная работа №4

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ, ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

1.1 Цель работы

Изучить вопрос назначения типа электродов, научиться выполнять расчет сварных стыковых соединений, назначать режим сварки и диаметр электродов, а также теоретически и экспериментально определить деформации после сварки стыковых швов.

1.2 Исходные данные

Осуществляется сварка встык двух листов из стали С245 по ГОСТ 27772-2015 шириной 200 мм, толщиной 4мм (рис. 4.1). Расчетное усилие в накладке $N = 15$ т. Сварка ручная. Используется визуальный контроль качества сварного шва.

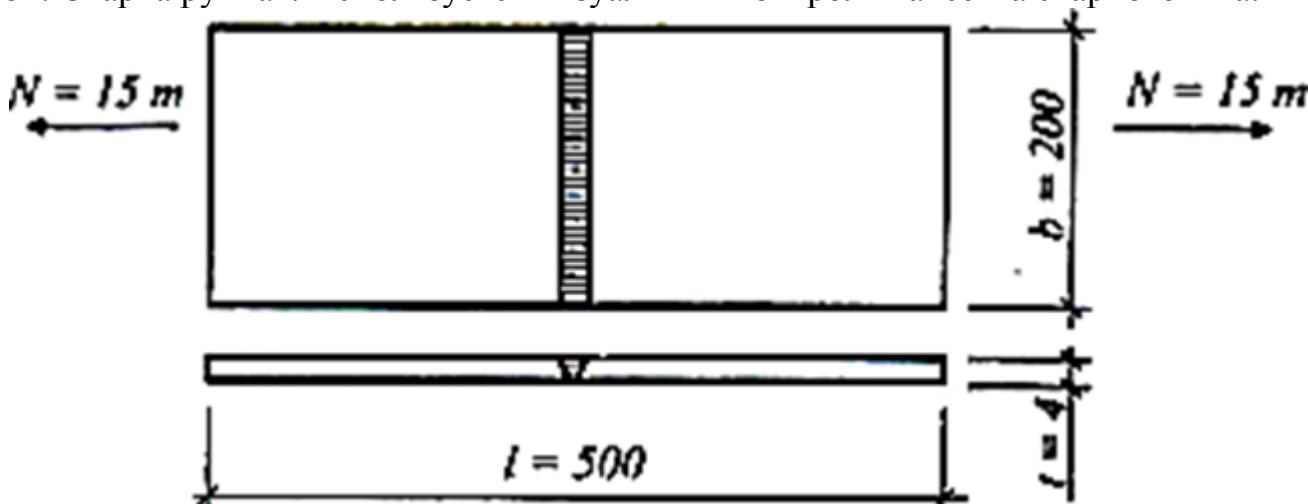


Рис. 4.1. Стыковое соединение листов

1.3 Порядок выполнения работы

1. По СП 16.13330.2017 (приложение Г, табл. Г.1) определяется тип электродов по ГОСТ 9467-75*. По табл. 3 СП 16.13330.2017, в зависимости от R_y , который определяется по табл. В.3, В.4 и В.5 по СП 16.13330.2017, определяется расчетное сопротивление стыкового сварного шва R_{wy} .

2. Расчет прочности стыкового шва выполняется по формуле:

$$\frac{N}{t \cdot l_w} \leq R_{wy} \cdot \gamma_c, \quad (4.1)$$

где N – действующее усилие на стыковое соединение;
 t – наименьшая толщина соединяемых элементов;
 l_w – расчетная длина сварного шва;
 R_{wy} – расчетное сопротивление стыкового соединения;
 γ_c – коэффициент условий работы, табл. 1 СП 16.13330.2017.

Расчетная длина сварного шва (l_w) принимается равной ширине свариваемых пластин при выводе сварных швов на технологические подкладки. При отсутствии технологических подкладок длина сварного шва принимается равной:

$$l_w = b - 2 \cdot t, \quad (4.2)$$

3. Определяется диаметр электродов и режим сварки. Диаметр электродов определяется по табл. 4.1.

Таблица 4.1

Толщина стали, мм	0,5 - 1	1 - 2	2 - 5	4 - 10	>10
Диаметр электрода, мм	1,6	2 - 2,5	2,5 - 4	4 - 6	4 - 8

Сварка данного соединения выполняется в нижнем положении. Сила тока определяется по приближенной формуле:

$$I = (20 + 6 \cdot d_s) \cdot d_s, \quad (4.3)$$

где d_s – диаметр электрода (мм).

Скорость ручной сварки принимается равной $v = 0.5 \div 0.6$ (см/с).

Погонная энергия сварки:

$$q_n = \frac{0,2 \cdot U \cdot I \cdot \eta}{v}, (\text{ккал} / \text{см}) \quad (4.4)$$

где U – напряжение дуги (В): $U = 30 \div 35$ В;

I – сила тока (А);

η – КПД электрической дуги при ручной сварке ($\eta = 0.6$).

4. Вычисление кривизны сварного элемента.

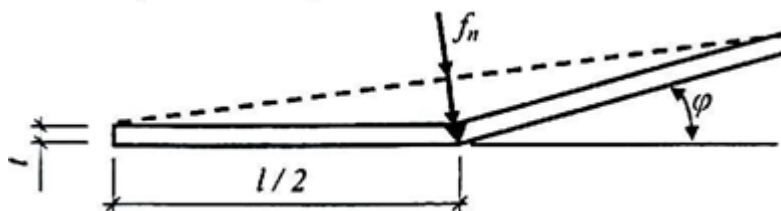


Рис. 4.2. Схема деформаций соединения.

Угол поворота сечения (рис. 4.2):

$$\varphi = \mu \cdot q_n \cdot \frac{y'}{I} \cdot l_w, \quad (4.5)$$

$$\frac{y'}{I} = \frac{t \cdot 12}{2 \cdot b \cdot t^2} = \frac{6}{b \cdot t^2}, \quad (4.6)$$

где μ – коэффициент, учитывающий тип металла:
для малоуглеродистой стали $\mu = -3.53 \cdot 10^{-6}$ (см³/ккал).

Стрелка прогиба (рис. 4.2):

$$f_n = \varphi \cdot \frac{l}{4}, \quad (4.7)$$

где l – длина соединяемых листов ($l = 50.0$ см).

5. Производится изготовление образца при указанных технических и технологических параметрах и делается сравнение значения теоретической и экспериментальной стрелки прогиба.

1.4 Контрольные вопросы

1. Как определяется тип и диаметр электрода?
2. Какие геометрические параметры сварного шва влияют на его прочность?
3. Как определяется расчетная длина сварного шва в стыковых соединениях?
4. Какой параметр определяет кривизну сварного элемента?

Лабораторная работа № 5

РАСЧЕТ И ИСПЫТАНИЕ УГЛОВЫХ СВАРНЫХ ШВОВ НА СРЕЗ

1.1 Цель работы

Приобретение навыков расчета сварных швов по СП 16.13330.2017 с последующим испытанием образца до разрушения и анализом схемы разрушения сварных швов.

1.2 Опытные образцы

Образцы для испытания представляют собой сваренные угловым швом два отрезка уголков (рис. 5.1), которые затем будут испытываться в прессе на сжатие.

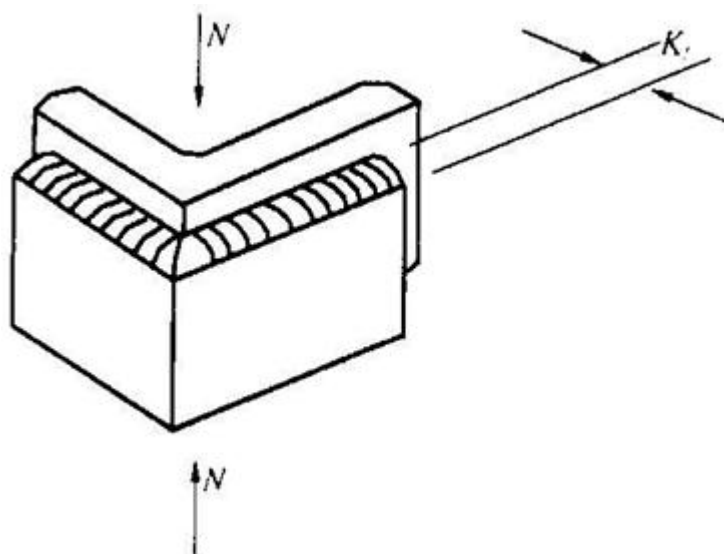


Рис. 5.1. Образец сварного соединения

Материал уголков – С245.

Электроды – марки Э-42.

1.3 Порядок выполнения работы

1. Студент должен выполнить обмер образца и замерить параметры углового шва.

2. Определить расчетную несущую способность углового шва по двум сечениям (измерив предварительно длину l_w и катет шва k_f):

а) по материалу шва несущая способность определяется по формуле:

$$N_f = \beta_f \cdot k_f \cdot l_w \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c, \quad (5.1)$$

б) по границе сплавления – по формуле:

$$N_f = \beta_z \cdot k_f \cdot l_w \cdot R_{wz} \cdot \gamma_{wz} \cdot \gamma_c, \quad (5.2)$$

Все параметры формул (5.1) и (5.2) студент должен выбрать самостоятельно, пользуясь СП 16.13330.2017. После выполнения расчетов делается вывод о минимальной несущей способности шва.

3. Далее студенческая группа выполняет испытание образца до разрушения и сопоставляет результаты испытания образца с расчетной несущей способностью. Описывает в выводах характер разрушения образца с зарисовкой разрушения. Вычисляет величину коэффициента запаса, заложенного в расчетах по СП 16.13330.2017.

1.4 Контрольные вопросы

1. Какова расчетная несущая способность соединения?
2. Во сколько раз отличается расчетная несущая способность по металлу шва от несущей способности шва по границе сплавления?
3. По какому сечению произошло фактическое разрушение соединения?
4. Во сколько раз разрушающая нагрузка превысила расчетную и чем это объясняется?

Лабораторная работа № 6

РАСЧЕТ И ИСПЫТАНИЕ МОДЕЛИ ПОДКРАНОВОЙ БАЛКИ

1.1 Цель работы

Изучение напряженно-деформированного состояния (НДС) модели подкрановой балки с использованием тензометрии.

1.2 Общие данные

1.2.1 Сведения о приборном оснащении лабораторной установки.

При экспериментальном исследовании НДС строительных конструкций или их моделей (лабораторных образцов) используются различные способы регистрации механических напряжений и деформаций в элементах этих конструкций. Прямое (непосредственное) измерение деформаций и напряжений в элементах конструкций крайне затруднительно, поэтому часто используются косвенные методы измерения. В настоящей работе используются косвенные методы измерения напряжений с датчиками, преобразующими механические деформации (удлинение или укорочение) в изменение электрического сопротивления. Такие датчики носят название тензодатчики или тензорезисторы. Они представляют собой подложку с наклеенной на нее проволокой из материала, имеющего высокое удельное сопротивление, например, нихрома, константана и др. Для увеличения чувствительности датчика проволока располагается по подложке «змейкой» (рис.6.1).

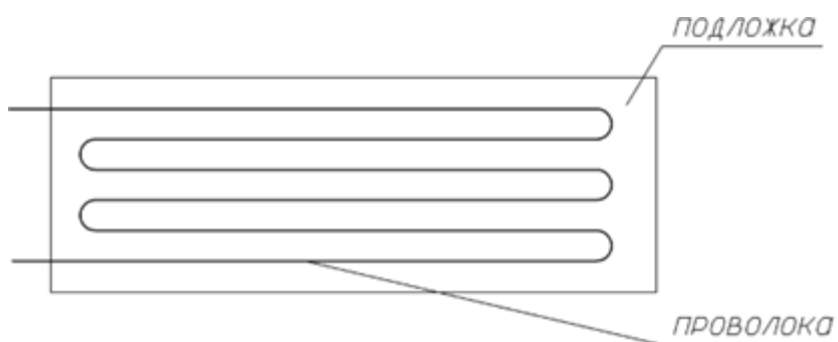


Рис. 6.1. Схема тензодатчика

Для дальнейшего повышения чувствительности всего измерительного прибора при регистрации полученного сигнала применяется способ измерения с использованием мостовой или полумостовой схемы. Мостовая схема измерения сопротивления представлена на рис. 6.2. Мост представляет собой соединенные последовательно резисторы (сопротивления R_1 , R_2 , R_3 , R_a), образующие четыре плеча. Одна из диагоналей этого моста записывается постоянным или переменным током. В другую диагональ подключается регистрирующее устройство (И). Сопротивления моста подбираются так, что бы мост был сбалансирован, т.е. между точками «а» и «б» не было разности потенциалов, и ток через регистрирующее устройство (И) не протекал.

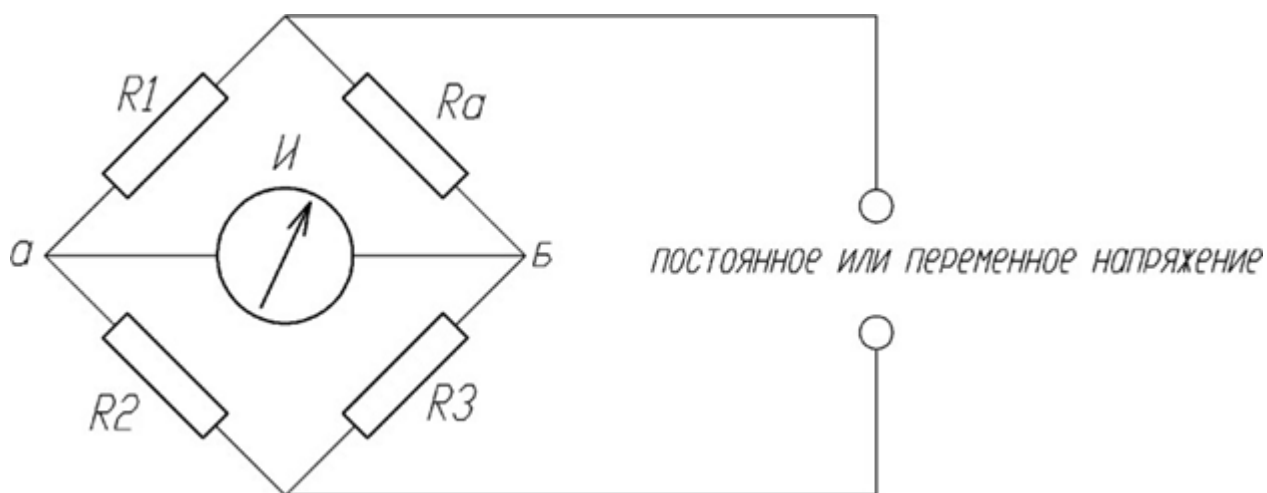


Рис. 6.2. Мостовая схема подключения тензодатчика

Тензодатчик (на схеме он обозначен R_a) изменяет свое сопротивление, происходит разбалансировка моста, и в регистрирующем устройстве отображается протекание тока. Непосредственная регистрация и отображение сигнала может выполняться аналоговым прибором,

например, в простейшем случае стрелочным миллиамперметром или более чувствительным прибором (например, цифровым). Лабораторный комплекс, на котором проводится данная лабораторная работа, оснащен цифровым преобразователем (аналогово-цифровой преобразователь - АЦП), который преобразует аналоговый сигнал (изменение тока в измерительной диагонали моста) в последовательность цифровых значений. Эти цифровые данные затем обрабатываются вычислительным устройством на базе ноутбука и отображаются на экране монитора.

1.2.2 Сведения об исследуемой строительной конструкции.

Особенностью нагрузки для подкрановой балки является её подвижность, т.е. положение нагрузки на балке может изменяться. Кроме того, нагрузка передается на балку через колеса мостового крана, количество которых на одной стороне крана всегда больше единицы и расстояние между ними определено конструкцией концевых балок. Таким образом, нагрузку на подкрановую балку создают два и более связанных груза, перемещающихся вдоль подкрановой балки.

Модель подкрановой балки, входящей в состав стенда «Модель несущих конструкций промышленного здания», выполнена по неразрезной схеме и представляет собой двух пролетную балку с равными пролетами. Для неразрезных балок определение НДС требует раскрытия статической неопределимости. Такие расчеты выполняются с использованием различных методов (методом сил, методом перемещений, с использованием уравнений трех моментов, методом фокусов и т.д.). При ручных методах расчета неразрезных балок наиболее часто используют линии влияния соответствующих усилий или деформаций. Для такого расчета строится соответствующая линия влияния и по ней находятся необходимые усилия или деформаций путем умножения величин нагрузок на сумму ординат этой линии влияния в местах приложения нагрузок.

1.3 Устройство стенда

Конструкция стенда «Модель несущих конструкций промышленного здания» представлена на рис. 6.3. Исследуемая конструкция – модель подкрановой балки (поз.3) входит в состав модуля «Подкрановая балка» стенда, и располагается на уступах двухступенчатых колонн (поз.6). Сечение подкрановой балки (рис. 6.4) – двутавр из алюминиевого сплава. Нагрузка создается моделью мостового крана (поз. 10) и передается на подкрановую балку через колеса этого крана (поз. 4). Для изменения нагрузки и моделирования поднимаемого мостовым краном груза используется система подвески (поз. 12) и набор стандартных грузов (поз. 13), укладываемых на подвесе. Кроме того, имеется модель грузовой тележки (поз. 11), при помощи которой можно изменять соотношение нагрузок от мостового крана на опорные колеса при перемещении грузовой тележки вдоль крановой балки (модели мостового крана).

Виды модели здания представлены на рис. 6.5 и 6.6

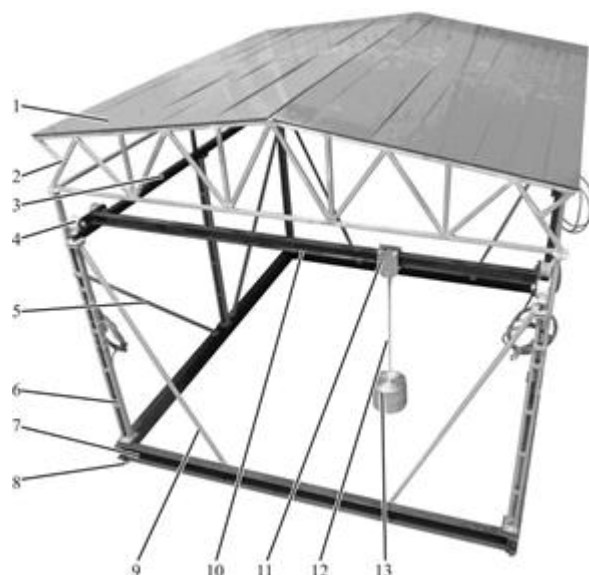


Рис. 6.3. Общий вид стенда «Модель несущих конструкций промышленного здания».

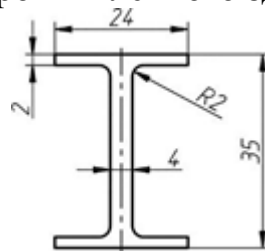


Рис. 6.4. Сечение модуля «Подкрановая балка».

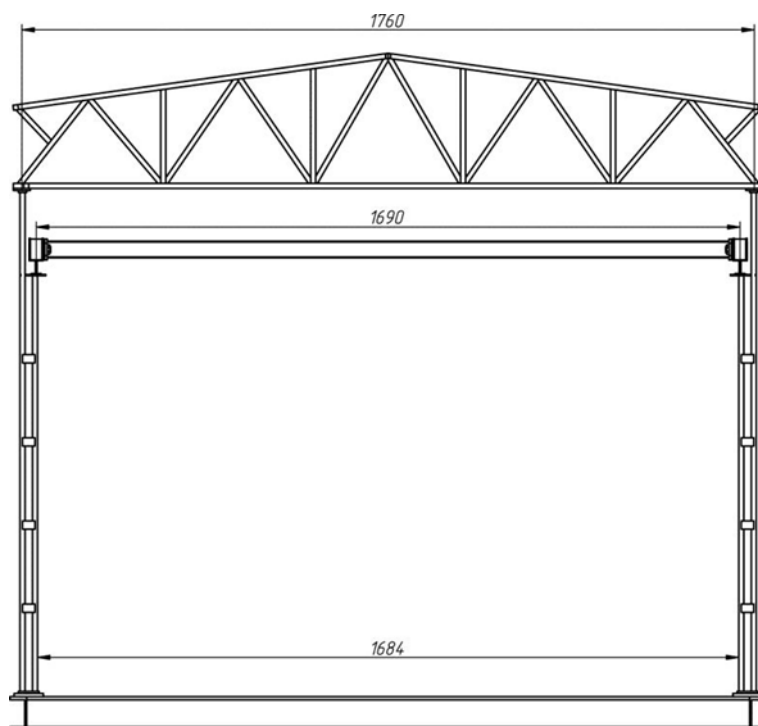


Рис. 6.5. Модель здания в сборе. Вид спереди.

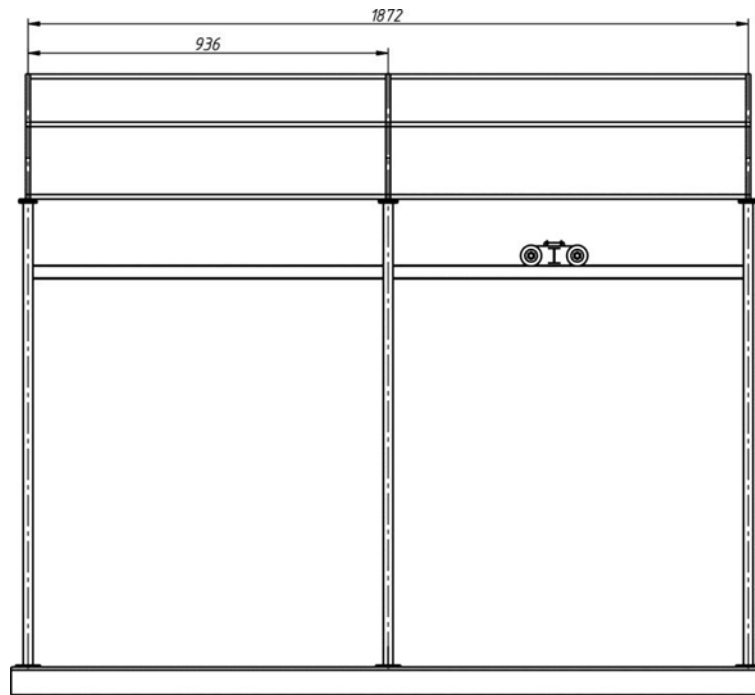


Рис. 6.6. Модель здания в сборе. Вид сбоку

Для подключения тензодатчиков к ноутбуку предназначен измерительно-преобразовательный блок 14 с установленной в нем платой АЦП (рис. 6.7) и наборы кабелей.

На измерительно-преобразовательном блоке 14 установлены:

- разъем 15 для подключения тензорезисторов, установленных на модуле «Крановая балка»;
- разъем 16 для подключения тензорезисторов, установленных на модуле «Подкрановая балка»;
- светодиод 17 индицирующий включение питания измерительно-преобразовательного блока;
- тумблер 18 для включения питания измерительно преобразовательного блока;
- разъем 19 для подключения тензорезисторов, установленных на модуле «Перекрытие здания»;
- разъем 20 для подключения тензорезисторов, установленных на модуле «Колонна здания».

Подсоединение платы АЦП, установленной внутри измерительно-преобразовательного блока 14, к ПЭВМ осуществляется посредством USB кабеля.

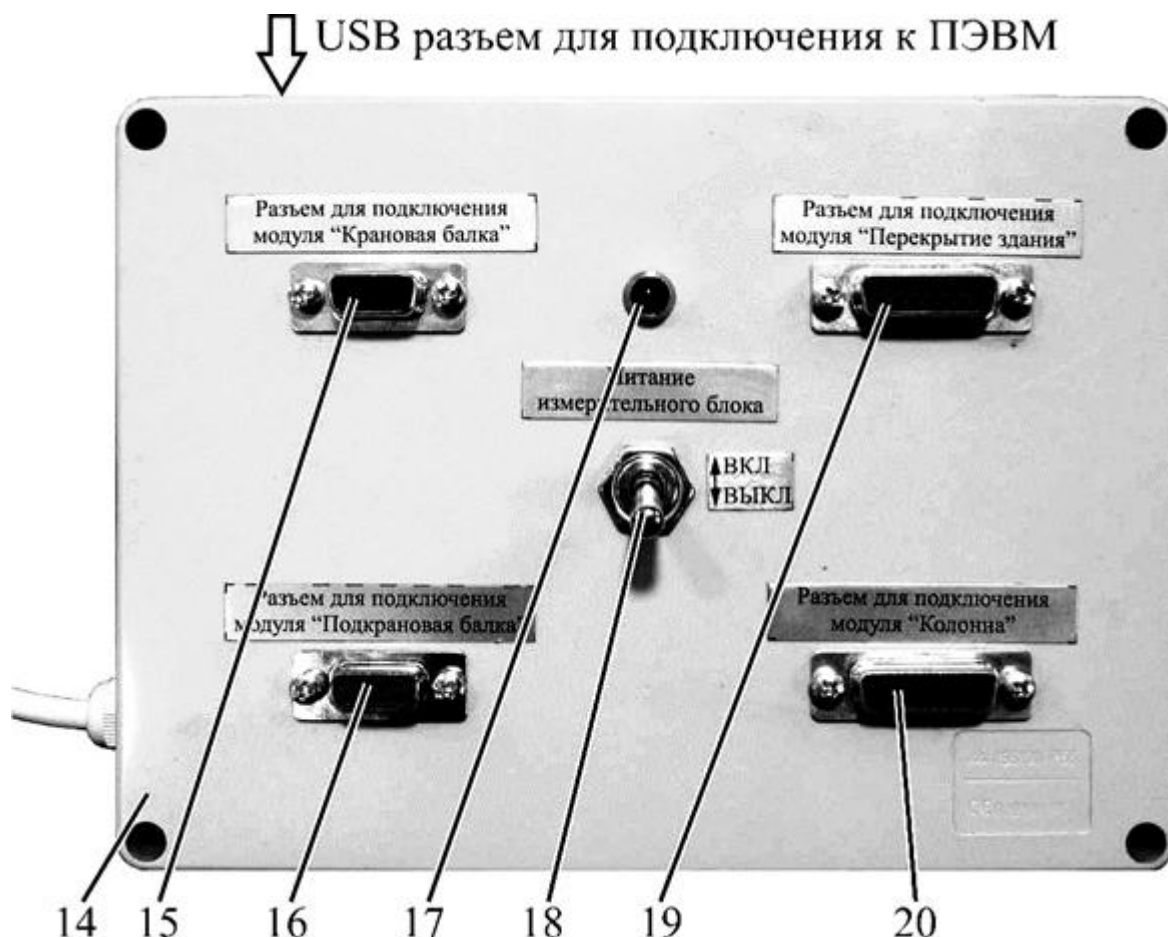


Рис. 6.7. Измерительно-преобразовательный блок

1.4 Порядок выполнения

В теоретической части.

1. Изучается материал лабораторной работы (пункты 1 (цель работы), 2 (общие сведения), 3 (устройство стенда)).

2. Выполняется статический расчет подкрановой балки с использованием линии влияния. Положение модели мостового крана выбирается либо по указанию преподавателя (в месте наибольшего изгибающего момента), либо определяется студентами с поиском этого положения.

3. Вычисляются напряжения в местах расположения датчиков. В экспериментальной части.

1. Подвешиваются 4-е пригруза на модель мостового крана. Модель мостового крана перемещается по подкрановой балке с размещением в точках, для которых были вычислены усилия по линиям влияния.

2. Производится снятие показаний с датчиков, установленных на модели подкрановой балки с экрана монитора.

3. Выполняется обработка полученных экспериментальных данных, и вычисляются напряжения в сечении подкрановой балки.

4. Производится анализ напряжений, вычисленных теоретически и полученных экспериментально.

5. Формируются выводы по проведенному анализу НДС подкрановой балки.

Заключительная часть.

1. Лабораторная работа оформляется в рабочей тетради с кратким конспектированием теоретической части, расчетами и результатами выполнения эксперимента. Расчеты сопровождаются необходимыми рисунками, схемами и таблицами.

2. Защищается лабораторная работа. Защита лабораторной работы заключается в ответах на вопросы, которые приведены в разделе 7 данной лабораторной работы и, при необходимости, пояснениями по порядку проведения работы.

1.5 Теоретическая часть

Статический расчет неразрезной двухпролетной подкрановой балки на подвижную нагрузку от мостового крана. Крановая нагрузка размещается в середине первого пролета двухпролетной неразрезной балки. Сечение, в котором будет определяться изгибающий момент, располагается в середине первого пролета и определяется положением тензодатчиков, наклеенных на модель подкрановой балки. Расчёт выполняется с использованием линий влияния.

Расчетная схема модели подкрановой балки представлена на рис. 6.8. Она имеет два пролета по 936мм, которые нагружены подвижной системой из двух грузов P – два колеса модели мостового крана с расстоянием между осями 120мм. Величина груза P определяется положением модели грузовой тележки крана и количеством пригрузов размещаемых на подвесе. При использовании 4-х пригрузов и положении грузовой тележки в середине пролета крановой балки величина P будет равна весу одного пригруза. В лабораторной работе используются стандартные при грузы весом 2.5 кгс, следовательно величина груза $P = 2,5\text{кгс}$.

При проведении работы необходимо вычислить изгибающий момент в сечении 1 (рис. 6.8) используя линию влияния для изгибающего момента для пролета 1 (при нумерации пролетов слева)

Для нахождения изгибающего момента подсчитываем сумму ординат линии влияния под связанными грузами P и умножаем её на величину этих грузов. Систему грузов P размещаем так, что бы один груз располагался в середине пролета, а другой был расположен ближе к крайней опоре (рис.6.8). Вычисляем сумму ординат линии влияния, находящихся под этими грузами. Затем, умножая полученную сумму ординат на величину груза P ,

находим значение изгибающего момента для первого слева пролета (в сечении 1). Так, например, для положения первого груза на расстоянии 234мм от левой опоры ордината линии влияния (см. таблицу 1) будет 89.578. В это время второй груз будет находиться на расстоянии 234мм + 120мм = 354 мм и ордината линии влияния под этим грузом будет 139.160. При отсутствии в таблице величины необходимого расстояния (координаты x) ординату вычисляем по линейной интерполяции.

Сумма ординат будет равна $\Sigma y = 89.578 + 139.60 = 228.738$, а величина изгибающего момента будет вычисляться как $M = \Sigma y \cdot P = 228.738 \cdot P$.

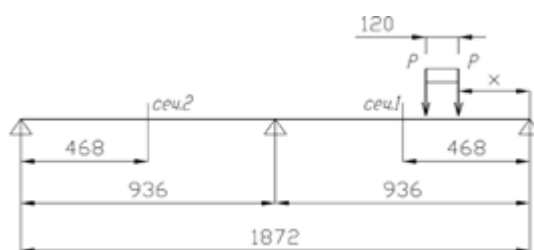


Рис. 6.8. Расчетная схема подкрановой балки

Для определения напряжений в местах расположения тензодатчиков необходимо вычислить момент инерции двутаврового сечения балки и вычислить нормальные напряжения в соответствующих точках сечения.

При вычислении момента инерции двутаврового сечения пренебрегаем скруглениями в местах перехода стенки к полкам и вычисляем его как для сложного сечения, состоящего из трех прямоугольников.

1.6 Контрольные вопросы

1. Как называются датчики, используемые в данной лабораторной работе?
2. Что измеряется датчиками, используемыми в данной лабораторной работе?
3. Как экспериментально определяются напряжения в строительных конструкциях?
4. В чем особенность нагрузок на подкрановую балку?
5. В чем заключаются особенности статического расчета неразрезных балок?
6. Какие методы используются при статическом расчете неразрезных балок?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 9467-75*. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы (с Изменением N 1).- М.: ИПК Изд-во Стандартов, 2005. -7 с.
2. ГОСТ 8509-93 Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент. – Введ. 1997-01-01. – Минск: Украин. науч.-исслед. институтом металлов, 1993.- 8 с.
3. ГОСТ 27772-2015. Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия. - Минск: ЦНИИСК им В.А. Кучеренко, 2015.- 37 с.
4. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. – Введ. 2017-08-28. –М.: ЦНИИСК им В.А. Кучеренко, 2017.- 148 с.
5. Беленя Е.И. и др. Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов/ Е.И. Беленя, В.А. Балдин, Г.С. Ведеников и др.; под общ. Ред. Е.И. Беленя.-6-е изд., перераб. и доп.- М.: Стройиздат, 1986. – 560 с.
6. Сварка и резка в промышленном строительстве/ под ред. Малышева Б.Д. Т.1, Т.2. -М.: Стройиздат, 1989.
7. Серенко А.Н., Крумбольдт Н.Н., Багрянский К.В. Расчет сварных соединений и конструкций. - М.: Высшая школа, 1977.
8. Учебно-методическое пособие к лабораторным занятиям по курсу «Металлические конструкции, включая сварку» для студентов направления подготовки 08.03.01 и 08.04.01 «Строительство», специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» по специализации «Строительство высотных и большепролётных зданий и сооружений» / Сост.: В.С. Агафонкин, М.А. Дымолазов, А.Э. Фахрутдинов, М.А. Салахутдинов, Л.Р. Гимранов. – Казань: Издательство КГАСУ, 2018.- 63 с.

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к выполнению лабораторных работ по направлению
21.03.01 «Нефтегазовое дело»
всех форм обучения*

Составитель
Калинина Алина Игоревна

В авторской редакции

Подписано к изданию 17.06.2022.
Уч.-изд. л. 1,7

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84