

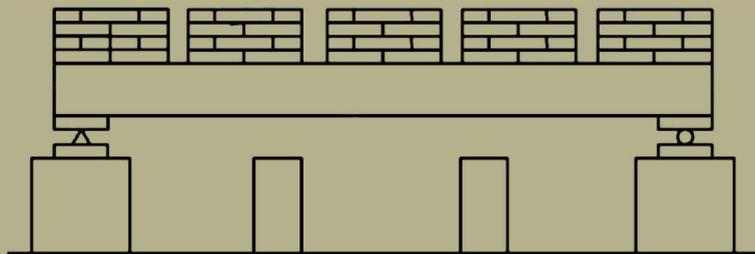
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет
Архитектурно-строительный институт

И.К. Родионов



МЕТОДОЛОГИЯ ИСПЫТАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Электронное учебно-методическое пособие



© ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», 2022

ISBN 978-5-8259-1040-6

УДК 624.07; 624.012

ББК 38.6; 38.5

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор, директор научно-производственного центра «Строительство» Российской инженерной академии

В.П. Попов;

канд. пед. наук, доцент кафедры «Промышленное, гражданское строительство и городское хозяйство» Тольяттинского государственного университета *Е.М. Третьякова.*

Родионов, И.К. Методология испытаний строительных конструкций : электронное учебно-методическое пособие / И.К. Родионов. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2022. – 1 оптический диск. – ISBN 978-5-8259-1040-6.

В учебном пособии приведены сведения о методах испытания зданий и сооружений, способах нагружения конструкций, приборах, применяющихся при испытаниях. Особое внимание уделено испытанию натурной стальной стропильной фермы.

Предназначено для студентов магистратуры, обучающихся по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство», направленность (профиль) «Техническая эксплуатация и реконструкция зданий и сооружений».

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; PIII 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

Редактор *Т.М. Воропанова*
Технический редактор *Н.П. Крюкова*
Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*
Художественное оформление,
компьютерное проектирование: *И.И. Шишкина*

Дата подписания к использованию 18.05.2022.
Объем издания 4,34 Мб.
Комплектация издания: компакт-диск, первичная упаковка.
Заказ № 1-74-19.

Издательство Тольяттинского государственного университета
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,
тел. 8 (8482) 44-91-47, www.tltsu.ru

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
Раздел 1. ИСПЫТАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	9
Тема 1.1. Классификация методов и организация проведения испытаний	10
Тема 1.2. Методы приложения статических нагрузок	19
Тема 1.3. Приборы для испытаний	29
Раздел 2. ИСПЫТАНИЕ СТАЛЬНОЙ СТРОПИЛЬНОЙ ФЕРМЫ	66
Тема 2.1. Ферма и особенности её подготовки к испытаниям	66
Тема 2.2. Результаты испытаний	75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	87
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	88
ГЛОССАРИЙ	89

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие «Методология испытаний строительных конструкций» содержит материал, необходимый для изучения дисциплины «Методология испытаний и обработки результатов» учебного плана направления подготовки 08.04.01 «Строительство».

Цель изучения – формирование у студентов профессиональных компетенций для понимания методов и средств проведения испытаний строительных материалов и изделий, освоения методики обработки результатов.

Задачи

1. Научить студентов определять значимость испытаний в обеспечении качества строительной продукции.
2. Сформировать понятия об испытаниях как средстве получения научного знания.
3. Дать понятие об основных требованиях, предъявляемых к методам и средствам испытания строительных материалов и изделий.
4. Дать основные понятия о приборах, инструментах и средствах измерения, применяемых при испытаниях.
5. Сформировать понятия о порядке получения, регистрации, обработки и хранения информации при проведении испытаний.

Данная дисциплина (учебный курс) относится к блоку 1 «Дисциплины (модули)», вариативная часть (дисциплины по выбору) учебного плана для подготовки студентов магистратуры, обучающихся по направлению 08.04.01 «Строительство» профиля «Техническая эксплуатация и реконструкция зданий и сооружений».

Дисциплины, на освоении которых базируется данный учебный курс: «Железобетонные и каменные конструкции», «Металлические конструкции», «Строительная механика», «Математическое моделирование. Специальные разделы высшей математики», «Методология научных исследований», «Техническая эксплуатация и диагностика зданий и сооружений», «Реконструкция и модернизация зданий в системе городской застройки. Энергетическая оценка зданий», «Методы усиления строительных конструкций».

Дисциплины, учебные курсы, для которых необходимы знания, умения, навыки, приобретаемые в результате изучения данной

дисциплины: «Строительные материалы при усилении, восстановлении и реконструкции зданий и сооружений». Кроме того, эти знания, умения, навыки могут быть использованы при выполнении магистерской диссертации.

***Планируемые результаты обучения по дисциплине,
соотнесенные с планируемыми результатами освоения
образовательной программы***

Формируемые и контролируемые компетенции	Планируемые результаты обучения
Способность использовать углубленные теоретические и практические знания (ОПК-5)	Знать историю проведения научно-исследовательских и научно-производственных работ
	Уметь оценивать качество результатов испытаний, влиять на формирование целей испытаний
	Владеть навыками и умениями в организации и проведении научно-исследовательских работ, в управлении коллективом, влиянии на формирование целей команды
Способность ориентироваться в постановке задачи, применять знания о современных методах исследования, анализировать, синтезировать и критически резюмировать информацию (ОПК-10)	Знать современные методы исследования строительных конструкций
	Уметь применять знания о современных методах исследований в своей практической деятельности
	Владеть навыками представления результатов выполненной работы
Способность проводить научные эксперименты с использованием современного исследовательского оборудования и приборов, оценивать результаты исследований (ОПК-11)	Знать современные методики по теме исследования технических параметров испытуемых конструкций
	Уметь пользоваться современным исследовательским оборудованием и приборами, оценивать результаты исследований
	Владеть методологией оценки и анализа результатов испытаний

Формируемые и контролируемые компетенции	Планируемые результаты обучения
Способность разрабатывать методики, планы и программы проведения научных исследований и работ, готовить задания для исполнителей, организовывать проведение экспериментов и испытаний, анализировать и обобщать их результаты (ПК-5)	Знать правила оформления результатов выполненной работы
	Уметь анализировать и докладывать результаты проделанной работы
	Владеть способностью оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы
Умение вести сбор, анализ и систематизацию информации по теме исследования, готовить научно-технические отчеты, обзоры публикаций по теме исследования (ПК-6)	Знать методику сбора, анализа и систематизацию информации по теме исследования
	Уметь готовить научно-технические отчеты, обзоры публикаций по теме исследования
	Владеть системой написания научно-технических отчетов, обзоров

***Критерии и нормы текущего контроля
и промежуточной аттестации***

Формы текущего контроля	Условия допуска	Критерии и нормы оценки
Текущий опрос по изученному материалу	Проведение самостоятельной работы предусмотренной формы (при наличии)	Знание и понимание изученного материала. Логическая последовательность изложения материала
Выполнение самостоятельной работы предусмотренной формы	Получение варианта задания	Отсутствие ошибок в выполненном задании; понимание целей, задач, алгоритмов выполнения работы

Форма проведения промежуточной аттестации	Условия допуска	Критерии и нормы оценки	
Зачет в семестре А	Наличие текущих оценок	«Зачтено»	Правильно и четко соблюдена логическая последовательность изложения материала, проявлено умение сосредоточить внимание на главном и существенном с дальнейшим развитием и обоснованием излагаемых утверждений; материал изложен самостоятельно, без какой-либо помощи преподавателя. В оценке явлений и практических ситуаций проявлен творческий подход, умение обобщать результаты работы
		«Не зачтено»	Содержание раскрыто не полностью, отсутствует логическая последовательность изложения; неспособность изложения материала без помощи преподавателя

В учебно-методическом пособии «Методология испытаний строительных конструкций» систематизированы сведения о методах испытания зданий и сооружений, способах статического нагружения конструкций, приборах, применяющихся при испытаниях. Особое внимание уделено стендовому испытанию натурной стальной стропильной фермы.

Раздел 1. ИСПЫТАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Испытание конструкций зданий и сооружений является составным элементом обследования, но по своей методологии, по аппаратурному обеспечению и по методам обработки представляет самостоятельное направление экспериментальной механики. Цель направления состоит в создании методов и средств, позволяющих на базе экспериментальных исследований получить объективную информацию о свойствах конструкционных материалов, поведении элементов конструкций и действительной работе сооружений. Никакой расчет с использованием вычислительной техники не может дать объективной информации о действительном поведении реальных систем.

Можно выделить *три основные задачи*, которые решаются с помощью методов и средств испытания строительных конструкций, зданий и сооружений.

К *первой задаче* следует отнести определение теплофизических, структурных, прочностных и деформативных свойств конструкционных материалов и выявление характера внешнего воздействия, передаваемого на конструкции.

Вторая задача связана с сопоставлением расчетных схем строительных конструкций, усилий и перемещений, которые определяются расчетным путём, с соответствующими усилиями и перемещениями, возникающими в реальной конструкции или ее модели.

Третья задача — идентификация расчетных моделей. Эта задача связана с синтезом расчетных схем, который следует из анализа результатов проведенных экспериментальных исследований.

Под испытанием сооружений понимают совокупность операций, связанных с выявлением и проверкой состояния, а также работоспособности обследуемых строительных объектов и отдельных их элементов [1]. Эти операции могут быть разбиты на следующие основные комплексы:

1. Освидетельствования, включающие операции по проверке размеров, выявлению качества материалов, дефектоскопии и уточнению других факторов, определяющих состояние сооружения.

2. Испытания, под которыми понимается проверка поведения исследуемого объекта при приложении к нему внешних нагрузок (статических и динамических), изменения температуры и влажности внешней среды и т. д.

3. Перерасчеты на прочность, деформируемость, трещиностойкость как отдельных входящих в состав сооружения конструкций, так и всего объекта в целом, проводимые на основании фактических данных, полученных в результате освидетельствования и испытания.

Тема 1.1. Классификация методов и организация проведения испытаний

Форма проведения занятия – собеседование

Вопросы по теме

1. Три основные задачи, которые решаются с помощью методов и средств испытания строительных конструкций, зданий и сооружений.
2. Что понимается под испытанием зданий и сооружений?
3. Классификация методов испытаний по цели исследования.
4. Что проверяется при приёмочных испытаниях?
5. Цели испытаний эксплуатируемых сооружений.
6. Задачи испытаний конструкций и деталей при их серийном изготовлении.
7. Когда и с какими целями проводятся научно-исследовательские испытания, испытания опытных объектов и испытания опытных строительных конструкций?
8. Классификация методов испытаний по объектам исследования.
9. Классификация методов испытаний по теоретической схеме.
10. Классификация методов испытаний по характеру приложенной нагрузки.
11. Что устанавливается в зависимости от объекта и цели испытаний при статических испытаниях несущих конструкций зданий и сооружений?
12. Основные задачи испытания конструкций и сооружений динамической нагрузкой.

13. Основные виды динамических нагрузок.
14. Какие задачи могут быть поставлены при испытании строительных конструкций?
15. Что включает техническое задание на проведение экспериментальных работ?
16. Что входит в состав подготовительных работ испытаний конструкций?
17. Особенности отбора образцов при проверке качества серийно выпускаемых изделий.
18. Что входит в освидетельствование конструкций?
19. Приборы, применяемые при освидетельствовании конструкций.
20. Основной методический документ при испытаниях конструкций.
21. Что должна включать программа испытаний конструкций?
22. Что должен включать раздел по технике безопасности программы испытаний конструкций?

Методические указания по освоению темы

Для освоения темы необходимо:

- ознакомиться с теоретическими положениями, изложенными в методических материалах к занятию;
- ответить на контрольные вопросы;
- ознакомиться с рекомендуемыми литературными источниками;
- ознакомиться с информацией по теме в информационно-телекоммуникационной сети Интернет;
- при необходимости провести патентный поиск.

Методические материалы к занятию

Классификация освидетельствований и испытаний может производиться по нескольким признакам.

1. Классификация по цели исследования:

- приемочные освидетельствования и испытания законченных строительных объектов перед сдачей их в эксплуатацию;
- освидетельствования и испытания объектов, находящихся в эксплуатации, как плановые, так и назначаемые в особых случаях, например, для установления фактической несущей способности сооружения в связи с предстоящей его реконструкцией, после аварии и т. д.;

- испытания деталей и элементов на заводах-изготовителях;
- испытания опытных строительных конструкций перед внедрением их в массовое производство;
- научно-исследовательские испытания.

При приемочных испытаниях (при передаче законченных сооружений в эксплуатацию и промежуточных приемках в процессе строительства) проверяются состояние объекта и соответствие показателей его работоспособности проектным и нормативным требованиям.

Испытания уже эксплуатируемых сооружений проводятся:

- для проверки возможности продолжения нормальной службы объекта под эксплуатационной нагрузкой;
- для проверки эксплуатационной надежности объекта при появлении значительных повреждений, например, после пожара и в других аналогичных случаях, ставящих под сомнение работоспособность сооружения;
- для выяснения возможности повышения эксплуатационной нагрузки при реконструкции объекта или изменении характера его использования.

Испытания конструкций и деталей при их серийном изготовлении выполняются путем выборочных испытаний отдельных образцов (продукции) с доведением до разрушения. Задачей испытаний в данном случае является установление фактической несущей способности и других характеристик испытываемых образцов либо продукции с распространением полученных результатов на всю изготовленную партию.

Научно-исследовательские испытания, испытания опытных объектов и испытания опытных строительных конструкций проводятся:

- при применении новых конструктивных решений и при апробации новых методов расчета;
- при использовании новых строительных материалов с характеристиками, требующими проверки под действием нагрузки;
- при особых режимах эксплуатации, например, в полярных или субтропических условиях, под действием волн и морской воды и т. д.

Такие испытания могут проводиться непосредственно в натуре или лабораторным путем с искусственным обеспечением необходимого режима.

2. Классификация по объектам исследования:

- а) натурные освидетельствования и испытания, проводимые на реальных объектах;
- б) испытания отдельных конструкций и их элементов на специальных установках или стендах, проводимые как в лабораториях для испытаний строительных конструкций, так и на строительных полигонах и площадках;
- в) испытания на моделях, воспроизводящих в уменьшенном масштабе или исследуемое сооружение в целом, или отдельные его детали. Модельные испытания, как правило, проводятся в лабораторных условиях.

3. Классификация по теоретической схеме:

- линейные (растяжение, сжатие);
- плоские (изгиб);
- пространственные.

4. Классификация по характеру приложенной нагрузки:

- статические испытания;
- динамические испытания.

При статических испытаниях конструкцию загружают неподвижными нагрузками в определенном порядке с постепенно нарастающим увеличением. Динамические испытания проводятся при нагрузках, резко изменяющих свои значения во времени или меняющих в процессе испытаний свое положение на испытываемой конструкции.

В зависимости от объекта и цели испытаний при статических испытаниях несущих конструкций зданий и сооружений устанавливаются:

- 1) несущая способность, характеризуемая нагрузкой, при которой наступает потеря прочности или устойчивости объекта испытания;
- 2) жесткость, характеризуемая значениями перемещений, предельными с точки зрения возможности нормальной эксплуатации объекта;
- 3) трещиностойкость (в первую очередь для бетонных и железобетонных конструкций); трещины не должны вообще появляться или раскрытие их не должно исчерпать или затруднять эксплуатацию вследствие потери непроницаемости, развития коррозии и т. д.;

при определении трещиностойкости устанавливают также значения нагрузки, при которой образуются трещины, допустимые по условиям эксплуатации.

Основными задачами испытания конструкций и сооружений динамической нагрузкой являются:

1) определение динамических характеристик эксплуатационных нагрузок (их значения, направления, частоты);

2) выявление основных динамических характеристик: амплитуды колебаний, частоты, ускорения, формы вынужденного колебания и динамического коэффициента при работе конструкций на эксплуатационные нагрузки;

3) выявление влияния динамической нагрузки на прочность, жесткость и трещиностойкость конструкции;

4) возможность установки на конструкцию агрегатов с динамическими нагрузками;

5) выявление влияния динамической нагрузки на нормальные эксплуатационные условия сооружений и на ход технологического процесса;

6) выявление влияния физиологического воздействия вибрации сооружения на организм человека.

Для получения отмеченных динамических характеристик при испытании и обследовании конструкций используются три основных вида динамических нагрузок:

– неподвижная вибрационная нагрузка, создаваемая работой механизмов и агрегатов с неуравновешенными массами (различные станки, вентиляторы, стационарные двигатели или специальные возбудители вынужденных колебаний – вибростенды и вибромашины);

– ударная нагрузка, передаваемая на конструкцию через песчаную подушку при падении специальных грузов массой, равной 0,1 % от массы конструкции с высоты 2–2,5 м; возможно также создание ударной нагрузки при резком удалении груза, подвешенного на конструкцию с нижней стороны;

– подвижная вибродинамическая нагрузка (мостовые краны, различные транспортные средства, конвейеры и т. д.).

Параметры колебаний или динамические характеристики определяются по специальным графикам — виброграммам, получаемым с помощью регистрирующих приборов.

Динамические испытания могут проводиться для конструкций, эксплуатируемых при статических и динамических нагрузках. В первом случае динамические испытания строительных конструкций в режиме собственных или вынужденных колебаний позволяют по полученным характеристикам — частоте и декременту колебаний — косвенно судить об основных показателях качества железобетонных конструкций — прочности, жесткости, трещиностойкости. Оценка этих показателей производится на основе градуировочных зависимостей, полученных по результатам серии испытаний аналогичных конструкций статической нагрузкой и неразрушающими методами.

При испытании строительных конструкций могут быть поставлены следующие задачи:

- определение несущей способности конструкции;
- определение напряженного состояния;
- определение действительных деформаций;
- изучение работы новой конструкции;
- установление влияния дефектов и отступлений от проекта на действительную работу сооружения;
- изучение работы существующей конструкции с целью выявления объемов усиления при реконструкции или ремонте;
- разработка методов расчета;
- установление расчетной схемы или скрытых резервов прочности.

Выполнение экспериментальных работ обычно поручается специальным лабораториям и станциям. Лишь несложные испытания выполняются силами строительных, эксплуатирующих или изготовляющих организаций. Испытаниями руководит подготовленный работник. Цели и задачи излагаются в техническом задании на проведение экспериментальных работ. В нем же указывается, сколько и какие конструкции испытываются, на что следует обратить особое внимание.

В состав подготовительных работ испытаний конструкций входят:

- отбор испытываемых конструкций и образцов при проведении технического обследования;
- изучение технической документации;
- освидетельствование конструкции перед испытаниями;
- составление рабочей программы и проекта испытаний;
- подготовка испытываемой конструкции, оборудования и приборов.

Отбор или изготовление испытываемых образцов выполняют при проверке качества серийно выпускаемых изделий или при испытаниях, проводимых в научных целях. Опытные конструкции обычно выполняются в трех экземплярах.

При проверке качества серийно выпускаемых изделий отбирается один образец из партии в 100 и более штук, но не менее двух, если в партию входит до 200 изделий (под партией понимается продукция, выпускаемая по единой технологии без длительного перерыва). Во время приемочных испытаний подвергаются проверке элементы конструкции в количестве не менее 5 % от их общего числа. При отборе не следует брать лучшие или худшие по внешнему виду образцы. Обычно выбирают образцы рядовые.

На отобранные или опытные конструкции составляется техническая документация, характеризующая примененные материалы, соблюдение технологии изготовления и соответствие проекту. Например, для железобетонной конструкции – данные о составе бетона, прочность и деформативность арматуры, прочность кубиков и данные технической (проектной) и исполнительной документации.

Освидетельствование состоит в проверке размеров конструкций, сечений элементов и соединений, тщательном осмотре поверхности конструкции в целом с целью обнаружения дефектов.

Контрольными замерами проверяют общую геометрическую схему конструкции (длину, расчетный пролет, высоту, строительный подъем, наличие искривлений). Такие работы выполняют с помощью геодезических инструментов, и данные сверяют с технической документацией.

При осмотре поверхностей выявляют раковины, сколы. Особое внимание обращают на узловые соединения, стыки. Дефекты зари-

совываются в журнал и отмечаются на конструкции. Это позволяет при испытании проследить за дальнейшим их развитием.

Визуальный контроль производится с помощью подсобных принадлежностей: луп, линз, зеркал и перископов для осмотра скрытых мест в конструкции. Если в этом есть необходимость, дефекты материала выявляют с помощью ультразвука, им же определяют прочность бетона.

Освидетельствование дает возможность установить наиболее слабые и сомнительные узлы, за которыми в процессе испытаний ведется особое наблюдение. В необходимых случаях назначаются места отбора проб (например, образцов бетона) для их испытания. Контрольные образцы изготавливаются из заготовок, взятых из менее напряженных частей конструкции.

Результаты освидетельствования заносятся в ведомости дефектов, составляется акт освидетельствования, в котором фиксируются основные данные технической и технологической документации.

Программа испытаний конструкций — основной методический документ, в котором излагаются цели и методика испытаний, включая план и порядок их проведения, используемую аппаратуру. Программа испытания конструкций зданий обязательно должна включать:

- обмерные чертежи испытываемой конструкции с фактическими геометрическими размерами, жесткостными характеристиками, ведомостями дефектов и повреждений;
- результаты поверочного расчета конструкции на испытательные нагрузки с учетом фактических размеров элементов. При этом необходимо вычислить ожидаемые величины перемещений, усилий, моментов и деформаций в точках измерения, определить значение нагрузки, при которой меняется характер работы конструкции, величину разрушающей нагрузки;
- определение количества ступеней нагружения и разгрузки и величин приращения измеряемых при испытании параметров;
- установление сечений, узлов и конкретных точек, в которых будут выполняться измерения;
- определение требуемой точности измерения и подбор измерительной аппаратуры с необходимыми параметрами точности и диапазона.

В программе испытаний конструкций должны быть также предусмотрены мероприятия по технике безопасности, которые обязательно должны включать:

- инструкцию по проведению испытаний с четким распределением обязанностей членов бригады и их взаимодействия;
- план испытательного стенда с указанием размещения агрегатов, опасных зон, пульта управления;
- наличие и размещение страхующих устройств, предотвращающих обрушение испытываемой конструкции и падение грузов, устройств аварийного сброса нагрузки;
- нагрузки и разгрузки, исключающие возможность травмирования персонала.

Программу испытаний строительных конструкций составляют для получения достоверных результатов испытаний, сравниваемых с проектными данными, а также для использования единой методики в выполнении испытаний, с тем чтобы иметь возможность обобщения результатов испытаний конструкций, проведенных в разное время.

Визуальная оценка сооружения дает первую исходную информацию о состоянии обследуемой конструкции, позволяет судить о степени износа элементов конструкций, дает возможность конкретизировать дальнейшее проведение испытания. В первую очередь это связано с применением методов испытаний, которые не приводят к разрушению отдельных элементов и конструкции в целом. Такие испытания могут проводиться как при статическом нагружении конструкции, так и при динамическом воздействии нагрузок. Комплекс этих испытаний включает определение значений геометрических параметров сооружения (пролеты, толщины, высоты и т. д.), прочностных и структурных свойств материалов, толщины защитного слоя бетона, расположения арматуры, прогибов и деформаций элементов, амплитуд и периодов колебаний конструкций, ускорений отдельных точек и прочего.

При обследовании сооружений широко применяются методы инженерной геодезии, с помощью которых измеряются осадки зданий и сооружений, их сдвиги, параметры трещин и деформационных швов, прогибы элементов конструкций. Методами инженерной

фотограмметрии определяются перемещения точек и деформации элементов конструкций при статических и динамических воздействиях. В последнее время эффективно развиваются методы лазерной интерференции.

Аналогичные методики используются при контроле качества изготовления элементов строительных конструкций и их монтажа на строительных площадках.

Контроль качества изготовления элементов строительных конструкций производится с использованием неразрушающих и разрушающих методов испытаний. Однако подвергать каждое изделие испытаниям до разрушения абсурдно, хотя при этом информация о действительной работе изделия будет обладать 100-процентной обеспеченностью.

Неразрушающий метод не всегда даст достаточно полную характеристику испытываемого объекта, поэтому два метода используются в совокупности. Если провести неразрушающие и разрушающие испытания определенного количества объектов, а затем сопоставить результаты испытаний, то можно установить определенную взаимосвязь между ними.

Тема 1.2. Методы приложения статических нагрузок

Форма проведения занятия — эссе

Тематика эссе

1. Варианты статического нагружения строительных конструкций.
2. Жёсткое и мягкое нагружение при испытании строительных конструкций.
3. Достоинства и недостатки нагружения конструкций подвешиванием грузов.
4. Практика применения гидравлических домкратов для нагружения конструкций.
5. Конструкции временных сборно-разборных стендов.
6. Стационарные стенды, их особенности.
7. Конструктивные особенности силовых полов.
8. Варианты имитации распределённой нагрузки по схеме сосредоточенных нагрузок.

Методические указания по освоению темы

Для освоения темы необходимо:

- ознакомиться с теоретическими положениями, изложенными в методических материалах к занятию;
- ответить на контрольные вопросы;
- ознакомиться с рекомендуемыми литературными источниками;
- ознакомиться с информацией по теме в информационно-телекоммуникационной сети Интернет;
- при необходимости провести патентный поиск.

Методические материалы к занятию

Для создания нагрузок при испытаниях используют штучные грузы; сыпучие материалы; емкости, наполненные водой; пневматические подушки; гидравлические и винтовые домкраты. В качестве штучных грузов используются гири, металлические отливки и поковки, бетонные и железобетонные блоки, которые перед испытаниями взвешиваются и маркируются. Для передачи усилий используются также тали, полиспасты, лебедки при включении их в цепь динамометров.

Основным требованием, предъявляемым к внешним воздействиям, является их стабильность во времени и возможность надежного контроля их значений.

В лабораторных условиях при испытании моделей и образцов материалов применяется стандартное прессовое оборудование и испытательные машины, которые разделяются на два типа: машины с жестким нагружением, где задаётся режим деформирования, и машины с мягким нагружением, где задается закон изменения силовой нагрузки. Последний тип машин является предпочтительным.

Подвешивание грузов является самым простым способом создания сосредоточенных нагрузок, причем его преимуществом по сравнению с другими способами является то, что при подвеске грузов действующее усилие не зависит от прогибов испытываемой конструкции. Однако этот способ является достаточно громоздким. Приведем несколько характерных примеров.

На рис. 1 представлена схема приложения сосредоточенных нагрузок к нижнему поясу фермы 1 при помощи подвесок 2. На гру-

зовые площадки 3 укладываются штучные грузы. Представленная схема приложения нагрузок хотя и часто применяется на практике, но не является удовлетворительной с точки зрения обеспечения мероприятий техники безопасности, так как экспериментаторы вынуждены непосредственно находиться под нагружаемой фермой.

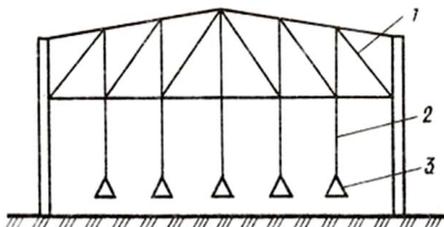


Рис. 1. Схема приложения нагрузки к нижнему поясу фермы

Учитывая отмеченное обстоятельство, нагрузку на грузовую платформу 1 целесообразно передавать через рычажное приспособление 2 (рис. 2). Упор 4 служит для ограничения передачи нагрузки при больших прогибах фермы. При этом способе передачи нагрузок требуется большее количество штучных грузов 3, чем для создания нагрузки в рассмотренном примере.

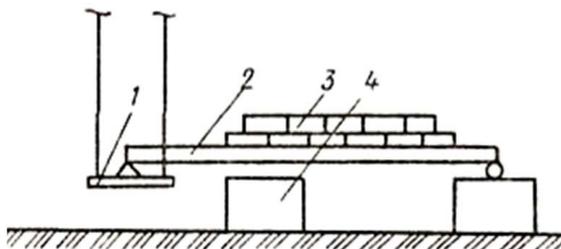


Рис. 2. Схема рычажной передачи нагрузки

Возможно также сооружение под испытываемой фермой временных подмостей, которые выполняют двойную функцию. Они предохраняют испытателей от возможных аварий и, кроме того, являются устройствами, позволяющими крепить к ним измерительные приборы. Аналогично прикладывается сосредоточенная

нагрузка и к верхним узлам ферм. При проектировании устройств для крепежа подвесок следует обратить внимание на недопустимость ослабления узлов испытываемой фермы и на необходимость принятия мероприятий, исключающих местное повреждение металлоконструкций.

При использовании натяжных приспособлений отпадают трудоёмкие работы по взвешиванию и перемещению грузов. Направление прикладываемых усилий может быть произвольным, требуемые устройства компактны, легко вписываются в технологическую схему цеха, и их использование не вызывает затруднений в стесненных условиях. Возможна также автоматизация регулирования значений нагрузок, для этого в цепь натяжного устройства может быть включен динамометр с тензорезисторными преобразователями.

К недостаткам такого способа приложения нагрузки относятся:

- необходимость в случае одновременного приложения ряда нагрузок производить постоянное регулирование усилий;
- чувствительность нагрузки к развитию пластических деформаций в конструкции при длительном приложении нагрузки, а также к изменению температуры, так как в совокупности с испытываемой конструкцией система передачи с точки зрения строительной механики представляет статически неопределимую систему с предварительным напряжением.

Однако отмеченные недостатки могут быть устранены методами автоматизированного контроля нагрузок с использованием микропроцессорной техники.

Системы с натяжными устройствами по принципу работы являются механизмами с жестким загрузением, тогда как системы с подвешенными грузами представляют механизмы с мягким загрузением.

При испытании конструкций на полигонах, в лабораториях широко используются домкраты для создания сосредоточенных силовых воздействий. К преимуществам использования домкратов относится их малогабаритность, простота создания и регулирования нагрузки, возможность приложения нагрузки по любым направлениям.

В практике испытаний применяют гидравлические домкраты с групповой насосной установкой с электрическим или ручным

(при малых нагрузках) приводом. Использование групповой насосной установки обеспечивает мягкое нагружение конструкции.

Существуют различные типы домкратов, создающие нагрузки до 1000 кН и имеющие ход поршня от 100 до 315 мм. Усилие, создаваемое домкратом, определяется по показанию технического манометра класса не ниже 2,5, измеряющего давление с точностью до $\pm 2,5\%$. Перед испытаниями все манометры поверяются по образцовому контрольному манометру класса 0,2. Каждый домкрат вместе с насосной станцией и гидросистемой подлежит обязательной поверке с помощью эталонных динамометров или на испытательных прессах.

При проведении испытаний конструкций создаются стационарные или временные стенды. В простейшем случае стенд представляет собой совокупность опор и опорных устройств, на которых располагается испытываемое изделие.

Временные сборно-разборные стенды представляют собой, как правило, металлические фермы, причем конструкция и силовое оборудование устанавливаются так, что они образуют замкнутую систему, не передающую нагрузку на то основание, на которое опирается сборно-разборная ферма.

Стационарные стенды, как правило, представляют собой монолитные железобетонные или металлические конструкции, расположенные на мощном железобетонном монолитном фундаменте. Стационарные стенды обычно предназначаются для испытаний конструкций определенного типа.

Широкими возможностями обладают лаборатории с силовыми полами. Силовой пол — это мощная железобетонная плита, в верхней части которой заподлицо с поверхностью установлены шины, надежно заанкеренные в теле бетона. Шины могут быть выполнены в виде металлической коробки с прорезью (рис. 3). В прорезь вставляются болты, к которым крепятся испытываемый объект и силовое оборудование.

Наличие силового пола позволяет гибко устанавливать испытываемые объекты, обустройства их инвентарной сборно-разборной оснасткой, широко применять различные нагрузочные системы и измерительные комплексы. При одновременном подключении

всего измерительного комплекса к ЭВМ достигается высокая степень автоматизации процессов управления экспериментом и обработки полученной информации.

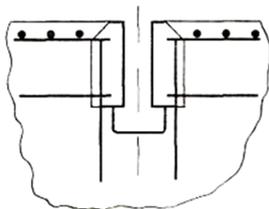


Рис. 3. Схема силового пола

Схема нагружения железобетонной балки на временном стенде представлена на рис. 4.

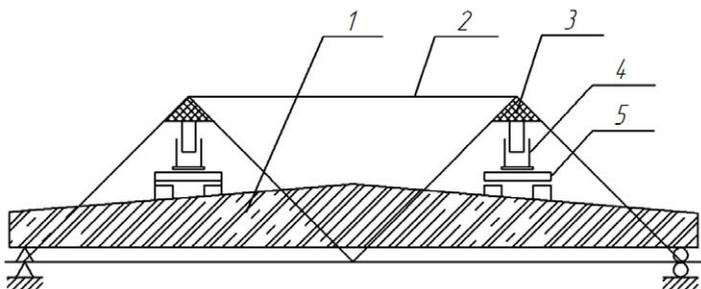


Рис. 4. Схема нагружения железобетонной балки

Металлические фермы 2 располагаются по обеим сторонам испытываемой балки 1. С помощью продольных траверс 5 нагрузка передается от домкрата на две точки балки. Домкрат 4 упирается в верхний узел фермы через поперечную траверсу 3. На опоры металлической фермы передается лишь собственный вес балки и фермы.

Примером приложения сосредоточенных нагрузок может служить простейший случай нагружения конструкции на временном стенде, представленном на рис. 5.

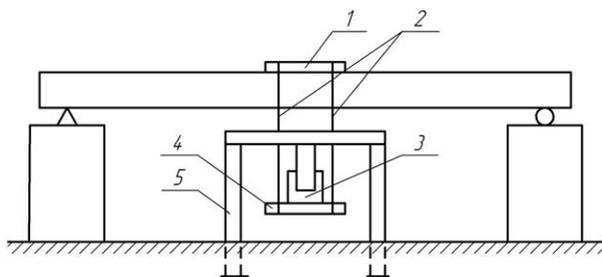


Рис. 5. Схема приложения сосредоточенной нагрузки

Сосредоточенная сила к испытываемой балке прикладывается с помощью домкрата 3, трос 2 и траверсы 1.

Экспериментально создать идеальную сосредоточенную нагрузку невозможно, но если ее рассредоточить на площадке длиной, составляющей $1/20$ от пролета балки, то разность в величинах моментов составит менее 3 %, а прогибов – 5 %. Силовая траверса 4 передает усилие на анкеры 5.

В случае стационарного стенда схема нагружения сосредоточенными силами балки 5 представлена на рис. 6. Нагрузка от домкрата 2 передается через продольные траверсы 3. С помощью поперечной траверсы 1 и анкера 4 реакция передается на основание 6.

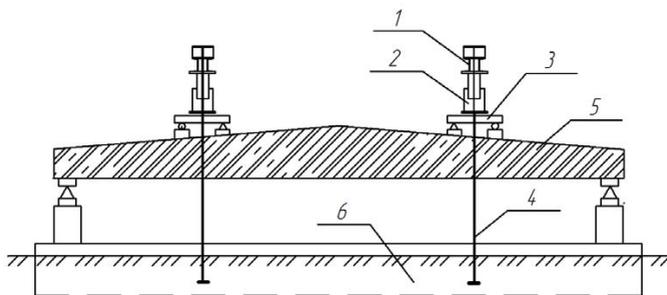


Рис. 6. Схема испытания железобетонной балки на стационарном стенде

Существует много способов приложения распределенной нагрузки. Наиболее универсальный прием связан с использованием штучных грузов.

На рис. 7 представлен пример испытания железобетонной плиты на распределённую нагрузку, реализованную в виде мешков с песком, уложенных равномерно на плиту.



Рис. 7. Испытание плиты распределённой нагрузкой

На рис. 8 представлены схемы создания нагрузки на балку 1 путем установки кирпичных или бетонных столбиков 2, металлических грузов. Ширина каждого столбика не должна превышать $1/6$ пролета испытываемой конструкции, между столбиками должен быть зазор не менее 50 мм, что исключает возможность соприкосновения верхних кромок столбиков при изгибе конструкции.

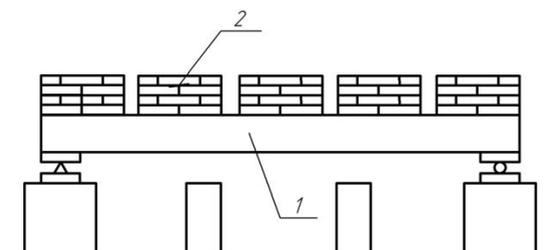


Рис. 8. Схема приложения распределенной нагрузки

При нагружении отдельных конструкций необходимо предусмотреть мероприятия, которые препятствуют потере устойчивости заданного положения объекта.

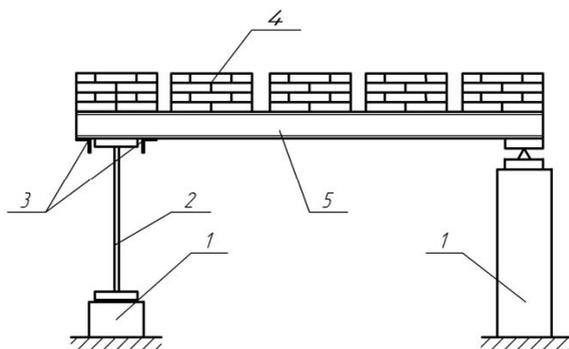


Рис. 9. Схема приложения распределенной нагрузки

При испытании балок (рис. 9), имеющих малую ширину пояса, используется дополнительное устройство в виде вспомогательной балки 5 с фиксирующими уголками 3, которая одновременно обеспечивает устойчивость положения испытываемого объекта. При использовании штучных грузов 4 можно создавать нагрузки, действующие по произвольному закону изменения по длине конструкции, расположенной на опорах 1. Однако такой способ загрузки является достаточно громоздким.

При загрузке конструкций с горизонтальной поверхностью (рис. 10) можно использовать воду 1.

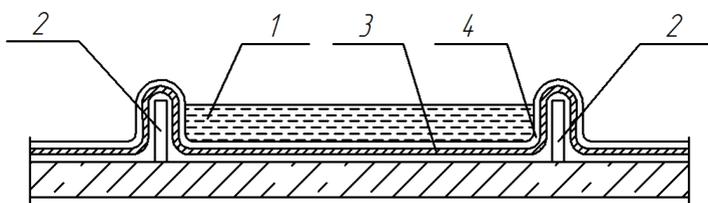


Рис. 10. Схема загрузки конструкции водой

Для этого устраивается легкое ограждение 2, на поверхность конструкции укладываются защитные полотна из брезента 3, а затем помещается емкость из водонепроницаемого материала 4. Этот способ обладает существенными достоинствами: возможность точного определения значений нагрузок по высоте столба воды, плавность загрузки и разгрузки, соблюдение заданного ско-

ростного режима загрузки и разгрузки. Загрузка осуществляется подачей воды из водопроводной сети, а разгрузка — откачкой воды насосами или с помощью сифона. Недостаток данного способа заключается в том, что использовать его можно лишь при положительной температуре.

Равномерно распределенную нагрузку можно создать, используя давление воздуха. Для этого на поверхность конструкции укладываются воздухонепроницаемые мешки, помещенные в защитные брезентовые чехлы. Над мешками создается жесткий навес, а затем с помощью сжатого воздуха в мешках обеспечивается необходимое давление.

При испытании сосудов применение сжатого воздуха запрещено, так как в случае разрушения сосуда возможно разрушение окружающих конструкций и гибель людей. Допускается использовать сжатый воздух в том случае, когда испытания проводятся в замкнутых боксах.

Распределенная нагрузка может также имитироваться по схеме сосредоточенных нагрузок. При 10-процентной погрешности по моментам в середине пролета при равномерно распределенной нагрузке она может быть заменена тремя силами. Обеспечение 5-процентной погрешности требует приложения 4 сосредоточенных сил по длине пролета. Число необходимых сил существенно снижается, если считать их приложенными на некотором малом конечном участке.

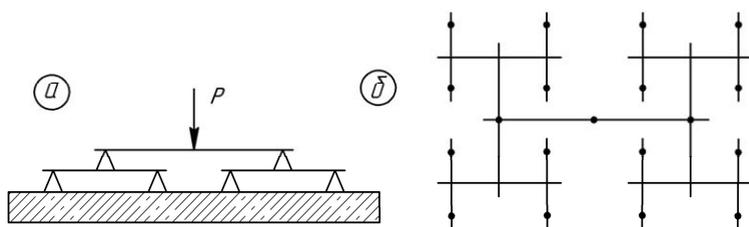


Рис. 11. Схема нагружения конструкции сосредоточенными силами

Для имитации распределенной нагрузки (рис. 11) для балки (а) и плиты (б) системой сосредоточенных сил можно воспользоваться передачей усилий с помощью ряда рычагов.

Тема 1.3. Приборы для испытаний

Форма проведения занятия – коллоквиум

Вопросы по теме

1. Простейшие прогибомеры (приспособления), их конструкция и особенности применения.
2. Прогибомеры-приборы, классификация и особенности применения.
3. Прогибомеры ПМ-2 и ПМ-3 конструкции Н.Н. Максимова; их кинематическая схема, особенности работы, применение.
4. Прогибомеры Аистова ПАО-5 и ПАО-6; их кинематическая схема, особенности работы, применение.
5. Прогибомеры контактного типа; область применения, особенности кинематических схем и работы.
6. Прогибомеры ПСК-МГ4, ПСК-МГ4.012, область применения, особенности схем и работы.
7. Для чего используются клинометры? Назовите основные типы клинометров и принципиальную схему их работы.
8. Для каких целей применяются тензометры?
9. Какие требования предъявляют к тензомерам, применяемым при испытаниях конструкций и сооружений статическими нагрузками?
10. Виды тензометров.
11. Механические тензометры; предназначение, особенности конструкции и работа, достоинства и недостатки.
12. Тензорезисторные тензометры, их предназначение.
13. Виды тензодатчиков сопротивления (тензорезисторов).
14. Основной материал тензодатчиков.
15. Назовите основные элементы проволочного тензорезистора. Какие функции они выполняют?
16. Основные характеристики тензорезистора.
17. Что измеряется с помощью тензорезисторов?
18. Что такое база тензорезистора?
19. Базы тензорезисторов при испытании железобетонных и металлических конструкций.

20. Что такое компенсационные и самокомпенсированные тензодатчики?
21. Положительные и отрицательные свойства тензорезисторов.
22. Мостовые измерительные схемы.
23. Приборы для измерения статических деформаций методом тензометрии.
24. Какие схемы измерительных мостов применены в приборах АИД-1, АИД-2м, ЦТМ и др.? Цена деления и диапазон измерения.
25. Какие вы знаете марки отечественных измерительных регистрирующих тензосистем?
26. Цифровой тензометрический мост ЦТМ-3; особенности конструкции и применения.
27. Измеритель деформаций тензометрический цифровой ИДТЦ-01; особенности конструкции и применения.
28. Автоматические измерители деформаций АИ-1 и АИ-2; особенности конструкции и применения.
29. Автоматический измеритель деформаций АИД-1М; особенности конструкции и применения.
30. Тензоизмерители ИТЦ-03; особенности конструкции и применения.

Методические указания по освоению темы

Для освоения темы необходимо:

- ознакомиться с теоретическими положениями, изложенными в методических материалах к занятию;
- ответить на контрольные вопросы;
- ознакомиться с рекомендуемыми литературными источниками;
- ознакомиться с информацией по теме в информационно-телекоммуникационной сети Интернет;
- при необходимости провести патентный поиск.

Методические материалы к занятию

Прогибомеры

Перемещения отдельных точек конструкции или их элементов измеряют приборами, которые называются прогибомерами. Существует достаточно большое количество типов прогибомеров, и каждый тип применяют в зависимости от того, каковы ожидаемые величины прогиба и с какой точностью необходимо их измерить.

Простейшие прогибомеры (приспособления)

В том случае, когда требуется сравнительно небольшая (0,1 см) точность измерения деформации (прогиба), прогибомер можно изготовить на месте (рис. 12, а). Такое приспособление состоит в основном из двух деревянных реек 1 и 2. Одна из них закреплена на испытываемой конструкции, а вторая связана с неподвижной точкой. На боковой поверхности этих реек проведена общая линия (рис. 12, б). После загрузки конструкция деформируется, отдельные части ее перемещаются, вместе с ними перемещаются верхняя рейка и линия, нанесенная на ее боковую поверхность; расстояние между линиями на подвижной рейке и неподвижной будет равно прогибу конструкции.

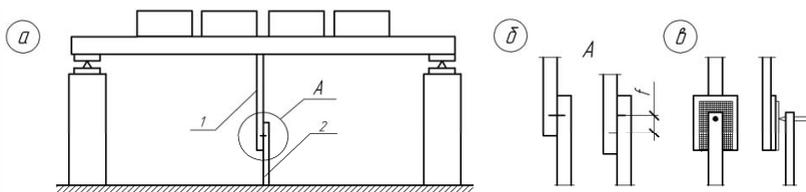


Рис. 12. Простейшие приспособления для измерения деформации прогиба

Более усовершенствованный способ измерения деформаций показан на рис. 12, в. На конце верхней рейки закреплена дощечка с наклеенной на ней миллиметровой бумагой, а на конце нижней рейки укреплен карандаш. При деформации конструкции рейки взаимно перемещаются и карандаш вычерчивает на бумаге прямую, натуральная длина которой даст искомое значение прогиба конструкции. Точность измерения деформации этим способом зависит

от точности измерения расстояния между линиями и составляет в среднем 1–2 мм.

Несколько большую точность может обеспечить приспособление, показанное на рис. 13. Основной частью его является кронштейн 1 со шкалой 2, на котором шарнирно закреплена стрелка 3. В точке конструкции 4, деформацию которой измеряют, закрепляют проволоку 5 с грузом 6 на нижнем конце; проволока связана также со стрелкой. Расстояние от центра вращения стрелки до точки закрепления проволоки равно 0,1 длины стрелки. Таким образом, стрелка представляет собой рычаг с соотношением плеч, равным 10 (обычно 50:5 см). Это значит, что если узел, на котором закреплена проволока, переместится на 1 мм, то конец стрелки переместится на 10 мм, т. е. точность измерения деформации будет равна 0,1 мм.

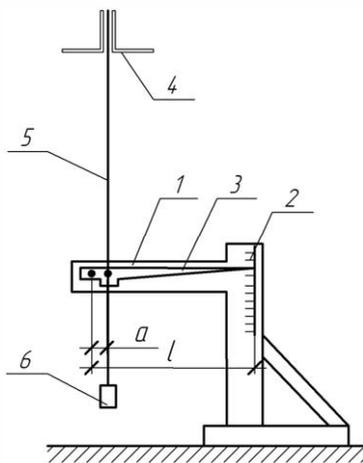


Рис. 13. Простейший прогибомер

Точность измерения деформации этого прогибомера зависит от соотношения плеч рычага. Достоинством его считается то, что он изготавливается на месте и для этого не требуется высокой квалификации исполнителя. Недостаток прибора — небольшая точность измерения деформации (0,1–0,2 мм).

Рассмотренные выше способы и приспособления измерения прогиба характеризуются небольшой точностью, поэтому их применяют сравнительно редко.

Прогибомеры-приборы

В том случае, когда требуется более точное измерение деформаций, применяют более совершенные приборы, которые обеспечивают точность измерения деформаций порядка 0,01 мм.

Эти приборы можно разделить на 2 группы:

- дистанционные,
- контактные.

При использовании дистанционных приборов прогибомер 1 устанавливается под испытываемой конструкцией 2, а связь между конструкцией и прибором осуществляется проволокой 3 (рис. 14); в случае необходимости прибор можно вынести за пределы опасной зоны (т. е. за пределы полосы, расположенной непосредственно под конструкцией).

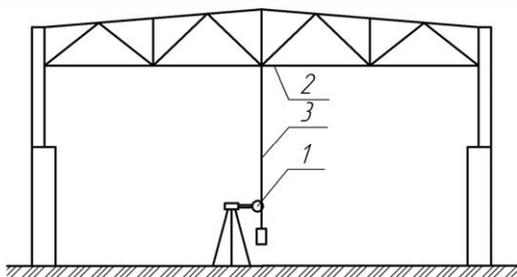


Рис. 14. Схема установки для измерения деформаций дистанционным прогибомером

С точки зрения удовлетворения требований охраны труда, а также удобства взятия отсчетов на шкале прибора предпочтение следует оказать дистанционному прогибомеру. С другой стороны, дистанционная схема измерения деформаций чувствительна к изменению температуры окружающей среды, хотя исключить это влияние несложно.

Контактные прогибомеры находятся в непосредственном контакте с конструкцией.

При измерении деформаций по контактной схеме изменение температуры окружающей среды оказывает ничтожное влияние на показание прибора и его вообще не учитывают, но для взятия

отсчетов по приборам наблюдатель должен находиться в непосредственной близости от испытываемой конструкции. Это требует большого внимания при испытаниях, особенно в полевых условиях, когда точка, в которой необходимо измерить прогиб, может оказаться недоступной для наблюдения.

В настоящее время для деформаций чаще применяют дистанционные прогибомеры.

Дистанционные прогибомеры

Прогибомеры ПМ-2 и ПМ-3 конструкции Н.Н. Максимова

Прогибомеры Максимова ПМ-2 и ПМ-3 предназначены для измерения линейных перемещений отдельных точек конструкции при нагружении их статическими нагрузками: прогиб строительных ферм, балок, прогонов, а также осадки опор, фундаментов, штампов и т. п. Детали прогибомера изготовлены из коррозионностойкой стали или имеют надежное противокоррозийное покрытие. Прогибомер укомплектован струбциной (рис. 15) и натяжным грузом массой 1 кг.



Рис. 15. Внешний вид прогибомера Максимова со струбциной

Связь между прибором и конструкцией устанавливается посредством проволоки, верхний конец которой закреплен на конструкции, а к нижнему подвешен груз в виде металлического цилиндра (рис. 16, в). Проволока перекинута через барабан 1 и при перемещении узла, к которому она прикреплена, вращает барабан 2 и вместе с ним передаточный механизм со стрелкой.

Прогибомер ПМ-2 (рис. 16) состоит из корпуса, внутри которого находится градуированный диск 2 (сантиметры), наглухо соединенный с выступающим за корпус прибора шкивом 1. Диск 2 и шкив

l имеют общую ось вращения. Диск посредством фрикционной передачи соединен с роликом *3*, который имеет общую ось вращения с указательной стрелкой. Шкала прогибомера имеет 100 делений. Цена каждого деления прибора равна 0,1 мм, а полный оборот стрелки соответствует перемещению конструкции на 1 см.

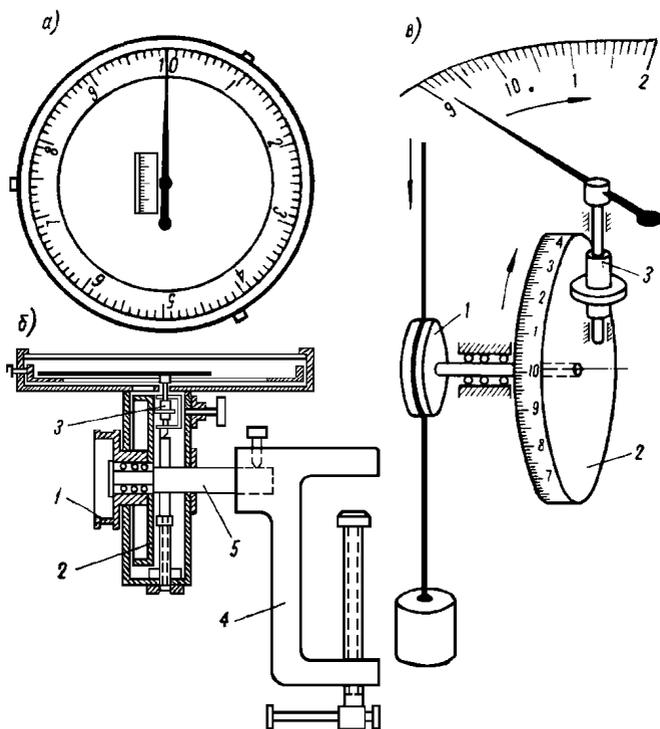


Рис. 16. Схема прогибомера Максимова

Через шкив прибора перекидывается стальная проволока диаметром 0,4 мм. Один конец проволоки крепится (рис. 17) к конструкции (если прибор располагается на неподвижной стойке) или к неподвижной точке (в этом случае прибор устанавливается на самой конструкции).

Передаточный механизм сконструирован так, что когда точка конструкции, на которой закреплена проволока, переместится на 0,1 мм, стрелка на шкале передвинется на одно деление. Таким

образом, если на шкале прибора отсчеты брать с точностью одного деления, то точность измерения деформации будет равняться 0,1 мм.

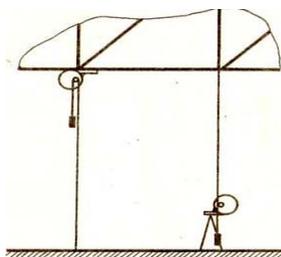


Рис. 17. Схема установки прогибомеров

Прикрепление прогибомера осуществляется с помощью струбины 4, прикрепляющейся к хвостовику 5.

Из дистанционных прогибомеров прибор Максимова ПМ-2 наиболее часто применяется при испытании строительных конструкций. Он прост в обращении и для многих исследований дает достаточную точность измерения деформаций. Недостатки прибора: при фрикционной передаче возможен холостой ход диска, хотя во избежание этого конструкция прибора предусматривает возможность регулировки плотности соприкосновения барабана и ролика. Следует отметить также большую чувствительность прибора к толчкам.

В третью модель прогибомера Максимова (ПМ-3) внесены некоторые конструктивные изменения: вместо фрикционной передачи предусмотрена зубчатая, которая исключает возможность проскальзывания, как это было в предыдущей модели, но обладает некоторым люфтом, обусловленным наличием зазора между зубцами.

Прогибомеры Аистова ПАО-5 и ПАО-6

Прогибомер ПАО-5 (рис. 18) состоит из корпуса 1, с лицевой стороны которого расположены три циферблата со стрелками. Циферблаты 2, 3, 4 имеют цену деления соответственно в 1 см, 1 мм и 0,01 мм. С задней стороны корпуса прибора расположен шкив 6 диаметром 31,44 мм, через который перекидывается стальная проволока 5 диаметром 0,4 мм. На свободном конце проволоки подвешивается груз 7 весом в 10 Н. Схемы установки прогибомеров Аистова и Максимова аналогичны (рис. 17).

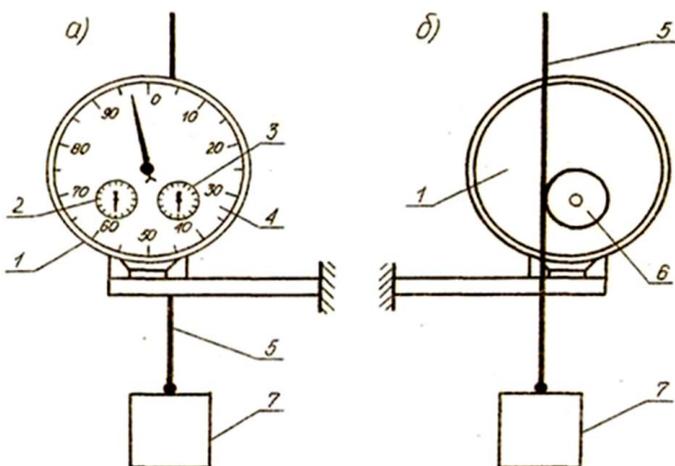


Рис. 18. Прогибомер Аистова ПАО-5: *а* – лицевая сторона корпуса; *б* – задняя сторона корпуса

Внутри корпуса прибора расположена система шестеренок с осями, вращающимися на камнях (рис. 19). Шестеренка 7 плотно посажена на одну ось со шкивом 8 и стрелкой 1. Шестеренка 7 входит в зацепление с трибкой 3, которая посажена на одну ось с шестеренкой 4 и стрелкой 2. Шестеренка 4 сцеплена с трибкой 5, на оси которой находится стрелка 6.

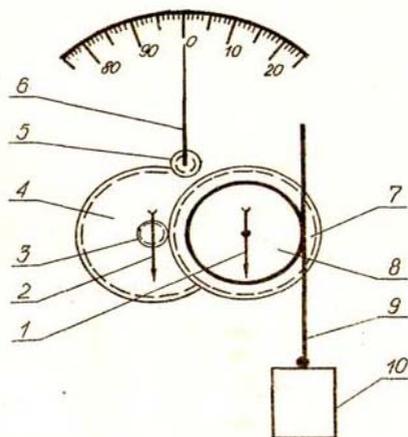


Рис. 19. Кинематическая схема прогибомера ПАО-5

Диаметр проволоки 9, диаметр шкива 8 и число зубцов на шестеренках и трибах подобраны с таким расчетом, чтобы стрелки показывали величины прогиба с указанными выше точностями.

При прогибе конструкции проволока под действием груза опустится и приведет во вращение шкив 8 и механизм внутри корпуса прибора. Стрелки 1, 2 и 6 отметят при этом величину деформации конструкции. Поворот шкива на 360° отвечает прогибу в 10 см, что определяет диапазон измерений прибора $0 \div 10$ см.

Перемещение точек испытываемой конструкции по показателям прогибомеров вычисляется по формуле

$$\Delta C = (C_1 - C_2)mk = \Delta Cmk,$$

где ΔC – разность отсчетов по шкале до (C_1) и после (C_2) приложения нагрузки; m – цена деления шкалы прибора; k – поправочный коэффициент, принимаемый по паспорту прибора.

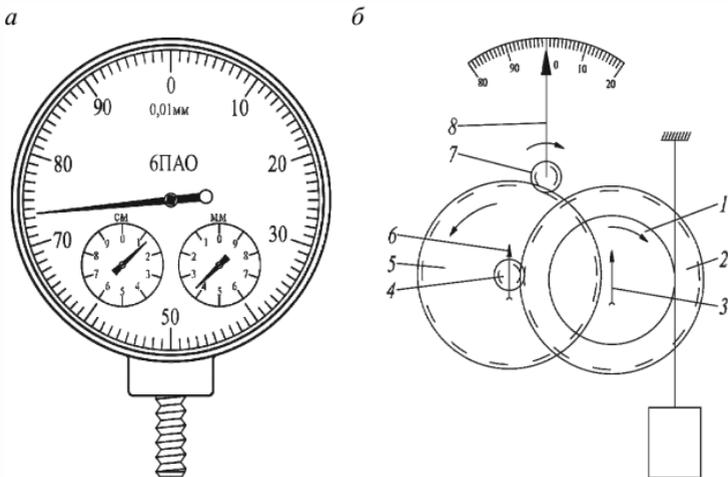


Рис. 20. Прогибомер Аистова – Овчинникова ПАО-6: *a* – общий вид; *б* – кинематическая схема; 1 – приводной шкив; 2 – большая шестерёнка (жёстко соединена со шкивом и стрелкой 3 и входит в зацепление с зубьями трибки 4); 3, 6, 8 – стрелки прогибомера; 4 – трибка с зубьями; 5 – шестерня (соединена зубьями с трибкой 7); 7 – трибка (на оси трибки расположена стрелка 8)

Прогибомером Аистова ПАО-5 без его перестановки можно измерять деформации-перемещения до 100 мм.

Прогибомер Аистова ПАО-6 (рис. 20) является дальнейшим конструктивным усовершенствованием пятой модели и имеет те же характеристики.

Для устранения холостого хода-люфта шестеренка 5 сделана двойной – одна закреплена на оси наглухо, вторая насажена свободно. Между этими шестеренками имеется распорная пружина, которая стремится повернуть шестеренки навстречу друг другу, благодаря чему зубцы шестеренок 5 и 7 постоянно находятся в контакте и люфт исключается.

Измерение горизонтальных перемещений стенки резервуара дистанционными прогибомерами

Прогибомеры дистанционного типа широко применяются в практике проведения натурных испытаний конструкций. В частности, на рис. 21 представлена установка для испытания работы стенки вертикального цилиндрического резервуара в процессе наполнения его жидкостью.

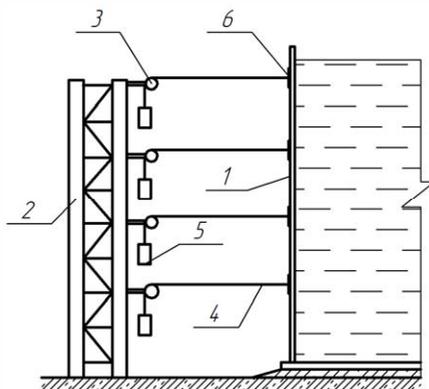


Рис. 21. Установка прогибомеров для измерения горизонтальных перемещений стенки резервуара: 1 – стенка резервуара; 2 – временная опора; 3 – прогибомеры; 4 – рабочая нить; 5 – противовес; 6 – элемент крепления

Целью является измерение горизонтальных деформаций стенки. Это производится с помощью четырёх прогибомеров дистанционного типа, прикреплённых к временной опоре. Временная опора представляет собой жёсткую конструкцию в виде двух стоек

с решёткой. Рабочие нити прикрепляются к специальным элементам крепления, приваренным к стенкам резервуара. На других концах рабочих нитей находятся противовесы. Рабочие нити перекидываются через шкивы прогибомеров.

Прогибомеры контактного типа

Прогибомеры контактного типа, их часто называют индикаторами, применяют для измерения небольших перемещений.

Известны индикаторы различных типов, изготавливаемые в нашей стране и за границей.

Принципиальное устройство индикаторов рассмотрим на примере индикатора часового типа КИ-1 с ценой деления 0,01 мм (рис. 22). Он принадлежит к группе прогибомеров, которые измеряют сравнительно малые деформации (без перестановки не более 10 мм).

Индикатор КИ-1

Прибор состоит из металлического корпуса (рис. 22, *а*), через который проходит подвижный металлический стержень 2 с зубчатой нарезкой (рис. 22, *б*). Стержень, перемещаясь вдоль своей оси 1, вращает трибку 4. На одной оси с трибкой насажена наглухо соединенная с ней шестеренка 5, входящая в зацепление с трибкой 7, на оси которой насажена стрелка 6, передвигающаяся по круговой шкале со 100 делениями; для исключения зазора между зубцами шестеренок и трибок поставлена дополнительная шестеренка 8. Эта шестеренка с помощью спиральной пружины 9 стремится повернуться по часовой стрелке и нажимает своими зубцами на зубцы трибки 7, последняя в свою очередь нажимает на зубцы шестеренки 5, а трибка 4 – на зубцы стержня 2.

Стержень может двигаться вдоль своей оси лишь на определенное расстояние, немногим более 10 мм, чем и определяется интервал измерения данного индикатора, равный $0 \div 10$ мм. Для отсчета целых оборотов большой стрелки 6, соответствующих перемещению конструкции в 1 мм, предусмотрена малая шкала со стрелкой 10, насаженной на одну ось с шестеренкой 8. Для обеспечения непрерывного контакта стержня 2 с конструкцией предусмотрена пружина 3.

Необходимой частью прибора является штатив, на котором укрепляется индикатор. Укрепив индикатор на штативе и уперев конец стержня 2 (рис. 22) в точку элемента конструкции, переме-

щение которой требуется измерить (рис. 23), наблюдают показания прибора до и после приложения нагрузки. Разность отсчетов дает величину перемещения с точностью до половины деления циферблата (до 0,005 мм).

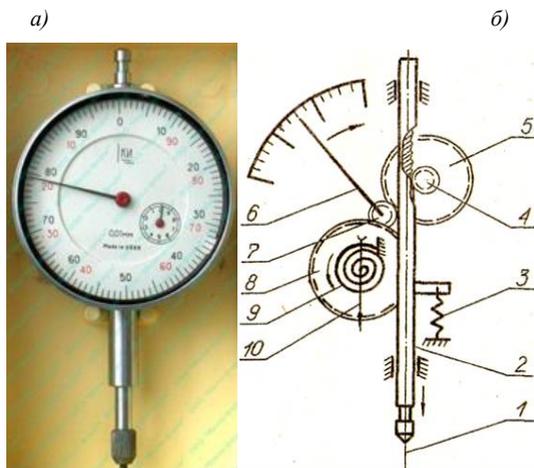


Рис. 22. Индикатор КИ-1:
а – внешний вид; б – кинематическая схема

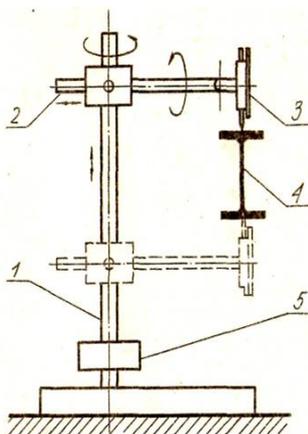


Рис. 23. Схема закрепления индикатора: 1 – стойка штатива;
2 – горизонтальный стержень; 3 – индикатор; 4 – элемент конструкции;
5 – гайка для поворота стойки

Недостатком индикаторов является небольшой диапазон измеряемых перемещений.

Индикаторы часового типа ИЧ-10, ИЧ-50

Индикатор часового типа ИЧ-10 (рис. 24) – измерительный прибор, предназначенный для абсолютных и относительных измерений и контроля отклонений от заданной геометрической формы детали, а также взаимного расположения поверхностей.



Рис. 24. Внешний вид индикаторов часового типа ИЧ-10

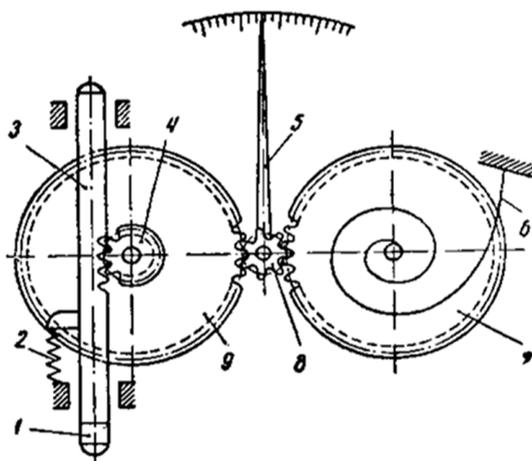


Рис. 25. Кинематическая схема индикатора часового типа ИЧ-10

Составляющие индикатора часового типа ИЧ-10 (рис. 25): 1 – головка измерительного стержня, 2 – пружина, 3 – измерительный стержень, 4 – зубчатое колесо, 5 – центральная стрелка, 6 – спиральная пружина, 7 – дополнительное зубчатое колесо, 8 – малое зубчатое колесо, 9 – большое зубчатое колесо.

На измерительном стержне 3 нарезана рейка, которая входит в зацепление с зубчатым колесом 4. На одной оси с колесом 4 расположено колесо 9. Центральная стрелка 5 указывает величину перемещения измерительного стержня 3. Для устранения в передаче мертвого хода в нее включено дополнительное зубчатое колесо 7 с присоединенной к нему спиральной пружины (волоском) 6, один конец которой закреплен на колесе, а другой – на корпусе. Пружина 2 удерживает измерительный стержень в выдвинутом положении. Большая стрелка делает один оборот при выдвигании измерительного стержня на 1 мм, малая стрелка – при выдвигании на 10 мм (рис. 25).

Конец стержня индикатора, в который запрессован шарик 1, устанавливают в точке конструкции, перемещение которой необходимо измерить. В таком положении на обеих шкалах берут отсчеты. После загрузки конструкция перемещается, нажимает на стержень индикатора, который перемещается по отношению к корпусу и отводит стрелки в новое положение. При этом берут вторые отсчеты.

Разность этих двух отсчетов, умноженная на цену деления шкалы, дает величину деформации.

У некоторых типов индикаторов имеется подвижная шкала, при помощи которой первичное положение большой стрелки можно совместить с нулевым делением шкалы. Определение деформации в данном случае происходит только по одному отсчету, что уменьшает возможность ошибок при вычислении деформации.

Рассмотренный индикатор характеризуется следующими достоинствами:

- сравнительно высокая точность измерения деформации (0,01 мм);
- небольшие габаритные размеры и масса индикатора (диаметр корпуса равен 55 мм, масса – 150 г).

Недостаток индикатора: максимальное значение измеряемой им деформации без его перестановки равно 10 мм.

Технические характеристики прибора ИЧ-10: габариты 108×56×24 мм; верхний предел измерения 10 мм; нижний предел измерения 0 мм.

Индикатор часового типа ИЧ-50 позволяет определять вертикальные и горизонтальные перемещения отдельных точек конструкции от 0 до 50 мм. Цена деления шкалы этого типа индикаторов — 0,01 мм. Для обеспечения контакта индикатора через наконечник *I* с испытываемой конструкцией, как правило, используются специальные приспособления (например, струбины или сжимы), которые крепятся к нижней гильзе или к хвостовику индикатора. Сами же струбины должны быть закреплены с какой-либо неподвижной точкой, относительно которой будут сниматься отсчеты. Также для обеспечения контакта индикатора с конструкцией широко используется универсальный штатив. В этом случае индикатор крепится к специальной планке штатива, а конструкция самого штатива позволяет сориентировать измерительный стержень (а значит, и его шкалу) под любым углом в пространстве, что делает его чрезвычайно удобным. Конструкция штатива с закрепленным на нем индикатором ИЧ-10 приведена на рис. 23.

Применение индикаторов при удаленных измерениях перемещений показано на рис. 26.

Случаев применения индикаторов для измерения перемещений элементов, конструкций множество. Рассмотрим один из них: измерение прогиба железобетонной балки.

На рис. 26 приведена схема установки: длинная рейка-удлиннитель *2* прикреплена к ребру балки с помощью деревянного бруска-вкладыша, короткой рейки и болта. Для предотвращения боковых перемещений рейки удлинителя используется проволочная растяжка *4*. К нижнему концу длинной рейки *2* прикреплён индикатор *I*. Подвижный стержень индикатора упирается в опору *5*.

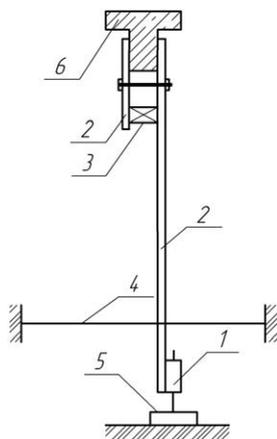


Рис. 26. Схема установки индикатора при удаленных измерениях перемещений: 1 – индикатор; 2 – рейки-удлинители; 3 – деревянный брусок; 4 – проволочная растяжка; 5 – опора; 6 – конструкция

Таким образом, вертикальное перемещение балки приведёт к перемещению подвижного стержня индикатора, связанного через систему шестерёнок со стрелками на циферблате.

Прогибомеры ПСК-МГ4, ПСК-МГ4.01

Прогибомеры ПСК-МГ4, ПСК-МГ4.01 выпускает ООО «СКБ Стройприбор», г. Челябинск.

Прогибомеры предназначены для измерений линейных перемещений отдельных точек конструкций при нагружении их статическими нагрузками: прогиб ферм, балок, прогонов, а также осадки опор, фундаментов, штампов и т. д.

Область применения – проведение инженерно-строительных изысканий на предприятиях стройиндустрии, в научно-исследовательских и строительных лабораториях.

Условия эксплуатации:

- температура окружающего воздуха от минус 10 °С до плюс 40 °С;
- относительная влажность воздуха до 95 %;
- атмосферное давление от 84,0 до 106,7 кПа.

Диапазон измерений прогибомера 0–200 мм.

Пределы допускаемой абсолютной погрешности прогибомера находятся в диапазоне: от 0 до 100 мм – $\pm 0,05$ мм; от 100 до 200 мм – $\pm 0,1$ мм. Диаметр ведущего блока $19,2 \pm 0,5$ мм.

Потребляемая мощность не более 25 мВт. Напряжение питания от встроенного аккумулятора $3,7 \pm 0,4$ В. Время непрерывной работы без подзарядки аккумуляторов не менее 72 ч.

Габаритные размеры электронного блока – не более 145×70×45 мм. Масса электронного блока со струбиной не более 0,75 кг.

Конструктивно прогибомер состоит (рис. 27) из электронного блока 1, струбины 2, струны 4, груза для ее натяжения 3, штатива 6.



Рис. 27. Общий вид прогибомера

В комплект поставки прогибомера также входят:

- зарядное устройство;
- кабель интерфейса USB (для ПСК-МГ4.01);
- CD с опциональным программным обеспечением (для ПСК-МГ4.01);
- выносной пульт с кнопкой 7.

Принцип действия прогибомера заключается в измерении величины перемещения отдельных точек конструкции под действием приложенной статической нагрузки.

Измеряемое перемещение передается ведущему блоку с помощью натянутой струны диаметром 0,3 мм, перекинутой через ведущий блок не менее чем одним витком. Ведущий блок связан с угловым датчиком перемещения, угловое перемещение ведущего блока пересчитывается в линейное перемещение при помощи счет-

ного устройства, расположенного в электронном блоке. Натяжение струны осуществляется небольшим грузом (1 кг), прикрепленным к свободному ее концу.

Прогибомер оснащен настраиваемыми функциями экономного энергопотребления и самоотключения. Выбор режима измерений и настройка параметров измерений осуществляются с помощью элементов управления электронного блока.

На лицевой панели электронного блока (рис. 28) размещен ЖК-дисплей и клавиатура, состоящая из пяти клавиш: ВКЛЮЧЕНИЕ (правая от дисплея), РЕЖИМ, ВВОД, ↑ и ↓.



Рис. 28. Вид электронного блока прогибомера

На левой боковой панели электронного блока (рис. 28) имеется кронштейн, при помощи которого электронный блок крепится винтом 5 (рис. 27) в механизме фиксации трубки.

На правой боковой панели электронного блока модификации ПСК-МГ4.01 расположено гнездо для подключения зарядного устройства и USB-разъем для передачи данных в ПК, а также для подключения выносного пульта с кнопкой.

Включение прогибомера и его отключение производятся однократным нажатием и удержанием клавиши в течение не менее 3 секунд.

Для дистанционного управления предусмотрен выносной пульт с кнопкой ПУСК.

В последнее время с целью измерения больших прогибов разрабатаны и используются на практике электронно-цифровые измерители перемещений (ЭЦИ), в основу разработки которых положено применение бесконтактных сельсинов марки БС-155 А.

Точность измерения деформаций данных приборов достигает 10÷15 мкм.

Клинометры

Клинометры служат для измерения углов поворота сечений элементов конструкции. Известны клинометры Стоппани, Аистова, ЛИСИ и др.

Рассмотрим наиболее точный способ определения углов поворота, разработанный в ЛИСИ.

Способ основан на применении рычага и двух прогибомеров.

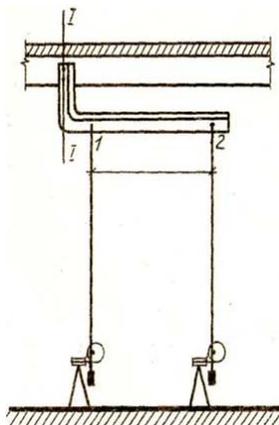


Рис. 29. Рычажный клинометр ЛИСИ

К сечению I – I (рис. 29) на исследуемом элементе конструкции крепится Г-образный рычаг из уголка.

В точках 1 и 2 на расстоянии $L = 1000$ мм закрепляются тонкие проволоочки с грузами на концах. Под этими точками устанавливаются два прогибомера, а проволоки огибаются вокруг ведущих шкивов прогибомеров.

Перед загрузкой конструкции по обоим прогибомерам берутся отсчеты C_1 и C_2 . После загрузки сечение I – I может опуститься и повернуться на угол α ; по прогибомерам берутся вторые отсчеты C_3 и C_4 .

Разность отсчетов по левому прогибомеру дает перемещение точки 1 на величину $a = C_1 - C_3$, а по правому прогибомеру – точки 2 на величину $b = C_2 - C_4$. Тангенс угла поворота (рис. 30) равен

$$\operatorname{tg} \alpha = (b - a)/l.$$

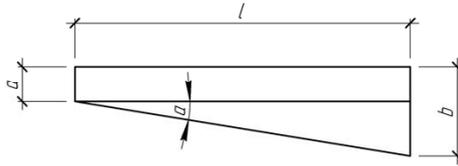


Рис. 30. Расчетная схема рычажного клинометра

Если принять прогибомеры, имеющие точность 0,01 мм, то вычисление тангенса угла будет произведено с точностью $0,01/1000 = 0,00001$, что отвечает углу в $2''$.

Этот же способ можно с успехом применить и при определении угла закручивания какого-либо элемента конструкции.

Клинометры с уровнем

Кинематическая схема их показана на рис. 31. Высокочувствительный уровень 2 приводится в горизонтальное положение вращением микрометричного винта 3.

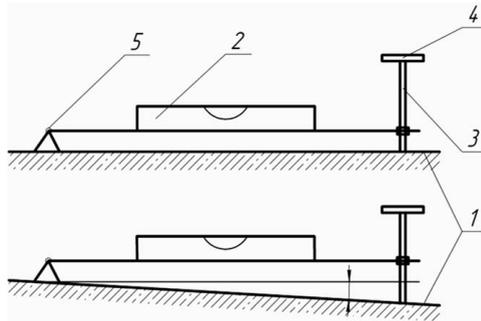


Рис. 31. Клинометры с уровнем: 1 – исследуемая конструкция; 2 – высокоточный уровень; 3 – микрометричный винт; 4 – барабан микрометричного винта со шкалой; 5 – шарнирная опора

Отсчеты берутся по шкале барабана 4 микрометричного винта. Разность отсчетов при положениях, показанных на рисунке, дает значение искомого угла.

Тензометры

Определение напряженного состояния строительных конструкций и их элементов является одним из основных вопросов испытания сооружений и конструкций. Значение напряжений в пределах упругости определяют в виде произведения относительной деформации на модуль упругости материала конструкции $\sigma = \varepsilon \cdot E$.

Приборы, измеряющие линейные деформации (укорочения или удлинения), называются тензометрами.

Измерение линейных деформаций происходит на определенном участке элемента, который называют базой тензометра. Если деформацию, полученную в результате измерения, разделить на величину базы, получим относительную деформацию, то есть $\Delta/l = \varepsilon$.

К тензометрам, применяемым при испытаниях конструкций и сооружений статическими нагрузками, предъявляют следующие основные требования:

- высокая чувствительность к статическим и динамическим воздействиям; обычно минимальная величина регистрируемых деформаций в железобетонных и металлических конструкциях $\varepsilon = 10^{-5}$ (0,001 %) практически достаточна;
- конструкция тензометра должна давать возможность изменять величину базы;
- коэффициент увеличения должен быть таким, чтобы обеспечить необходимую точность измерения деформации;
- масса и габаритные размеры тензометра должны быть возможно минимальными;
- широкий измерительный диапазон; особенно это касается работ по выявлению картины предельного состояния;
- нечувствительность к влиянию окружающей среды;
- возможность дистанционной регистрации и скоростного снятия показаний;
- центр тяжести прибора должен быть максимально приближен к поверхности испытываемого элемента, чтобы положение было устойчивым;
- быстрота и надёжность установки, а также низкая стоимость.

Существует несколько разновидностей тензометров. Часть из них используют только при лабораторных испытаниях, а часть —

как лабораторных, так и полевых. Различают следующие виды тензометров: механические, электромеханические, струнные (акустические) и электрические тензометры сопротивления.

Механический тензометр

Механический (рычажный) тензометр (тензометр Гугенберга) предназначен для измерения статических линейных деформаций. С его помощью измеряется изменение расстояния между призмами тензометра (базы), которыми он опирается на поверхность испытуемого объекта. Тензометр состоит из корпуса 1 со шкалой 5 и рычажной системы (рис. 32). На исследуемый элемент он опирается в двух точках конусом 2 и призмой 3. С призмой жестко соединен подвижный рычаг 4. Конус наглухо соединен с корпусом, с верхним концом которого шарнирно соединена стрелка 8. Стрелка при помощи горизонтального рычага 6 шарнирно соединена с подвижным рычагом 4. Пружина 7 служит для устранения люфтов. Имеется также стопорный рычаг 10, при помощи которого в нерабочем положении прибор арретируется.

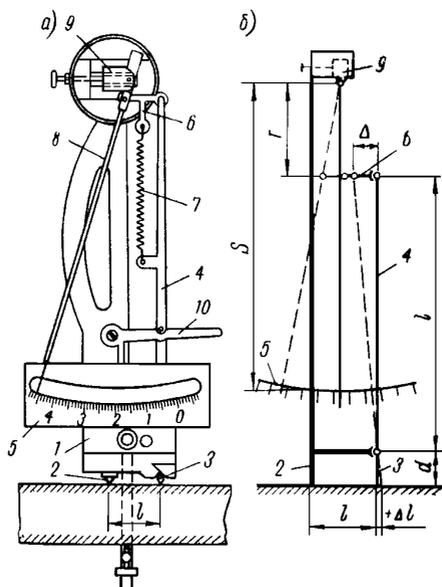


Рис. 32. Рычажный тензометр:
а — общий вид; б — кинематическая схема

На поверхности исследуемого элемента тензометр укрепляется с помощью струбцин различных систем, одна из которых показана на рис. 33.

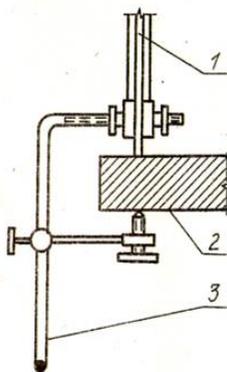


Рис. 33. Схема установки тензометра Гугенбергера:
1 – тензометр; 2 – элемент конструкции; 3 – струбцина

Струбцина проходит через отверстие в корпусе прибора и закрепляется гайкой.

Тензометр измеряет деформацию фибрового волокна элемента, длина которого (база) равна расстоянию l между призмой и конусом. При деформации этого волокна в пределах базы $\pm \Delta l$ призма 3 и вместе с ней подвижный рычаг 4 в случае растяжения элемента повернется справа налево, при сжатии элемента – слева направо. Верхний конец рычага переместится и потянет за собой стрелку 8. Измеряемая деформация при этом вычисляется как

$$\Delta l = \Delta n \frac{1}{(L/d)(S/r)} = \Delta n m,$$

где (L/d) (S/r) – увеличение прибора, равное 1000; Δn – разность отсчетов по шкале; m – цена одного деления шкалы.

Соотношение рычагов подобрано с таким расчетом, чтобы коэффициент увеличения тензометра равнялся 1000. Если база тензометра изменится на 0,001 мм, то конец стрелки на шкале переместится на 1 мм. Одно деление на шкале равно 1 мм; если отсчеты на шкале брать с точностью одного деления, то точность измерения деформации будет равна 0,001 мм. База тензометра (без удлинителя)

равна 20 мм, число делений на шкале — 50. Это значит, что деформация, соответствующая 50 делениям шкалы, равна 50 мкм.

В ряде случаев измеряемые деформации строительных конструкций и их элементов больше чем 50 мкм, поэтому возникает необходимость переставлять стрелку (что является недостатком тензометра Гугенбергера), для чего на верхнем конце корпуса прибора имеется ползунок 9 (рис. 32).

Между поверхностью шкалы и стрелкой тензометра имеется зазор, поэтому при взятии отсчета глаз наблюдателя должен располагаться перпендикулярно плоскости шкалы. В противном случае при разных позициях наблюдателя по отношению к шкале тензометра одним и тем же деформациям будут соответствовать разные отсчеты по шкале. На шкале тензометра имеется зеркало, в котором видно изображение стрелки. Если глаз наблюдателя направлен перпендикулярно по отношению к плоскости зеркала, стрелка совмещается со своим отражением в зеркале, и взятый отсчет при таком положении глаза наблюдателя будет соответствовать действительному значению деформации.

В ряде случаев база тензометра 20 мм бывает недостаточна. Для ее увеличения применяют специальное приспособление — удлинитель. Он состоит из пластинки, которая одним концом соединяется с тензометром маленьким болтом, на другом конце помещен подвижный опорный конус, передвижением которого достигается изменение величины базы. При использовании удлинителя конус, расположенный на корпусе прибора, поднимается и не соприкасается с поверхностью испытываемого элемента, таким образом, тензометр опирается на испытываемый элемент только в двух точках. Использование удлинителя дает возможность менять значение базы в пределах от 20 до 250 мм.

Тензометр Гугенбергера характеризуется сравнительно большой точностью измерения деформации (0,001 мм), малыми габаритными размерами и массой, возможностью изменения величины базы, сравнительно низким положением центра тяжести. Но он имеет и недостатки: требует чрезвычайно осторожного обращения, что весьма затруднительно в условиях полевых испытаний; при измерении деформации больше чем 50 мкм стрелку необходимо пере-

ставлять; при работе в полевых условиях тензомер надо оберегать от ветра и дождя.

Тензорезисторные тензометры

В настоящее время для измерения деформаций при испытаниях сооружений, строительных конструкций и деталей наиболее широко используются электрические, тензорезисторные тензометры [2].

В электрических тензомерах различают две основные части: датчик (тензорезистор-преобразователь), с помощью которого деформация детали преобразуется в изменение какой-либо электрической величины (омического сопротивления, ёмкости индуктивности) и измерительное (регистрирующее) устройство. Датчик устанавливается на исследуемом объекте, а измерительное устройство (прибор) расположено обычно в некотором отдалении и соединено с датчиком проводами.

Принцип действия тензорезисторов основан на изменении омического сопротивления R проводников и полупроводников при деформации.

Основной характеристикой тензорезистора является его коэффициент тензочувствительности

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l},$$

то есть отношение относительного изменения электросопротивления $\Delta R/R$ тензорезистора к вызывающей это изменение деформации исследуемого материала, где l — длина базы тензорезистора.

Для изготовления тензорезисторов используются обычно сплавы меди и никеля (константан, элинвар), характеризующиеся высоким коэффициентом тензочувствительности K , постоянством значений K в требуемом диапазоне деформаций, большим удельным омическим сопротивлением $\rho = R/A$ (где A — поперечное сечение проводника, которое может быть взято достаточно малым) и практически постоянством значений ρ при колебаниях температуры, возможных в условиях пользования тензорезисторами при испытаниях строительных конструкций.

Следует отметить, что с помощью тензорезисторов измеряется относительное удлинение ε , а не изменение Δl длины базы (как у механических тензометров).

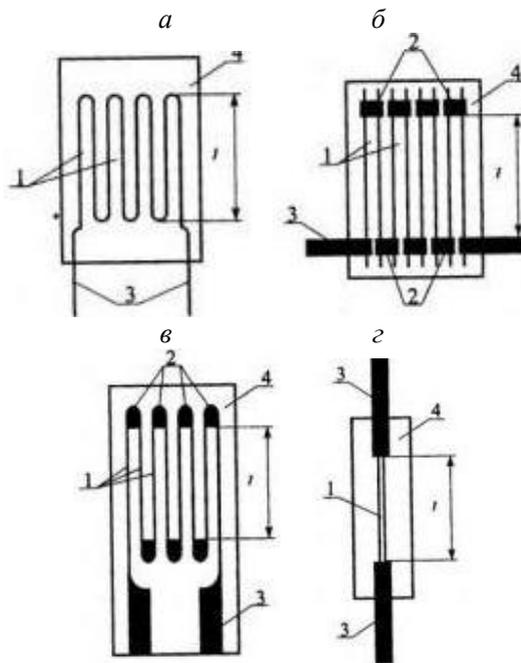


Рис. 34. Типы тензорезисторов: *а* – проволочный петлевой; *б* – проволочный беспетлевой; *в* – фольговый; *г* – полупроводниковый; 1 – тензочувствительные элементы; 2 – низкоомные перемычки; 3 – выводные контакты; 4 – подложка («основа») и наклеенный над тензорешеткой защитный слой тонкой бумаги; *l* – база тензорезистора

Однако длина базы имеет существенное значение и для тензорезисторов, поскольку при исследованиях материалов с неоднородной структурой для получения усредненных значений деформаций в рассматриваемой зоне длина базы должна в несколько раз превосходить размеры наиболее крупных составляющих материала. Однако при исследовании деформаций в зонах концентрации напряжений длину базы следует брать по возможности наименьшей.

При испытаниях строительных конструкций используют проволочные, фольговые и полупроводниковые тензорезисторы (рис. 34).

Петлевые проволочные тензорезисторы (рис. 34, *а*) из тонкой проволоки (диаметром 12–30 мк), приклеенной к бумажной или пленочной подложке, были еще сравнительно недавно основным типом приборов, применявшихся при испытании сооружений. Эти

тензорезисторы (с базой обычно от 5 до 100 мм) удобны в работе и несложны в изготовлении. Однако им свойственна в большинстве случаев поперечная чувствительность, обусловленная наличием закруглений, соединяющих прямые участки тензорешетки и воспринимающих деформации, направленные перпендикулярно к продольной оси тензорезистора. Наличие поперечной чувствительности тензорезистора снижает его осевую тензочувствительность.

От этого недостатка свободны беспетлевые тензорезисторы (рис. 34, б) с низкоомическими медными перемычками. Из-за отсутствия поперечной тензочувствительности и лучших условий передачи деформаций (ввиду продолжения прямолинейных участков тензорешетки и за перемычки) база их может быть уменьшена до 2–3 мм.

В настоящее время все большее распространение получают фольговые тензорезисторы (рис. 34, в) из металлической фольги толщиной не более 4–6 мк. Этим тензорезисторам при изготовлении фотолитографским способом могут быть приданы любые очертания, требуемые условиями эксперимента. Вследствие низкой поперечной чувствительности и плоского сечения элементов тензорешетки они имеют при той же площади сечения более развитую поверхность приклейки, что улучшает условия их работы.

Полупроводниковые тензорезисторы (рис. 34, г) по сравнению с рассмотренными выше типами обладают значительно большей тензочувствительностью, меняющейся, однако, при деформации и при изменениях температуры. Несмотря на это, они эффективно применяются в упругих элементах различных измерительных приборов (например, динамометров), где большое значение имеет их высокая чувствительность, а отмеченные недостатки могут быть компенсированы.

Влияние температурных погрешностей, обусловленных температурным коэффициентом изменения сопротивления тензонитей β и разностью температурного коэффициента расширения материала тензорезистора α_m и исследуемого материала α_u , исключают установкой компенсационных тензорезисторов.

В случаях, когда установка компенсационных тензорезисторов невозможна или они не могут быть помещены в те же температурные условия, используют так называемые самокомпенсированные тензорезисторы, материал которых должен удовлетворять условию $\beta (\alpha_u - \alpha_m) \cdot K$, где K – коэффициент тензочувствительности тензорезистора.

Повышенные требования предъявляются к глубинным тензорезисторам разной конструкции, закладываемым в толщу схватывающегося материала (например, бетона), когда должна быть обеспечена их безотказная работа в течение длительного времени.

Измерение деформаций электротензомерами характеризуется следующими достоинствами: 1) малые габаритные размеры и малая масса тензорезистора; 2) стабильность показаний тензорезисторов как при статических, так и при динамических испытаниях; 3) возможность установки тензорезисторов в труднодоступных и стесненных местах с дистанционным взятием отсчетов; 4) сравнительная дешевизна тензорезисторов.

Одновременно этот способ имеет и недостатки: 1) релаксация проволоки тензорезистора и клеевого шва, что снижает степень точности измерения; 2) только однократное использование тензорезистора; 3) невозможность использования тензорезистора после тарировки; 4) результаты тарировки небольшого количества тензорезисторов распространяются на всю партию.

Изменения сопротивления тензорезисторов в процессе испытаний весьма малы (тысячные доли Ома). Для измерения столь малых колебаний сопротивления применяют в большинстве случаев мостовые измерительные схемы (рис. 35).

Во *внешние* плечи моста включены рабочий тензорезистор с сопротивлением R_1 , воспринимающий наблюдаемые деформации, и компенсационный тензорезистор с сопротивлением $R_2 = R_1$, помещаемый в одинаковых с ним температурных условиях в непосредственной близости от рабочего, но не подверженный воздействию измеряемых деформаций. Во *внутренние* плечи включены тензорезисторы с сопротивлениями R_3 и R_4 , помещаемые в регистрирующем приборе и связанные с рабочим и компенсационным тензорезисторами электропроводами. Как известно, мост будет сба-

лансирован (т. е. ток в его измерительной диагонали bd будет равен нулю) при условии

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3.$$

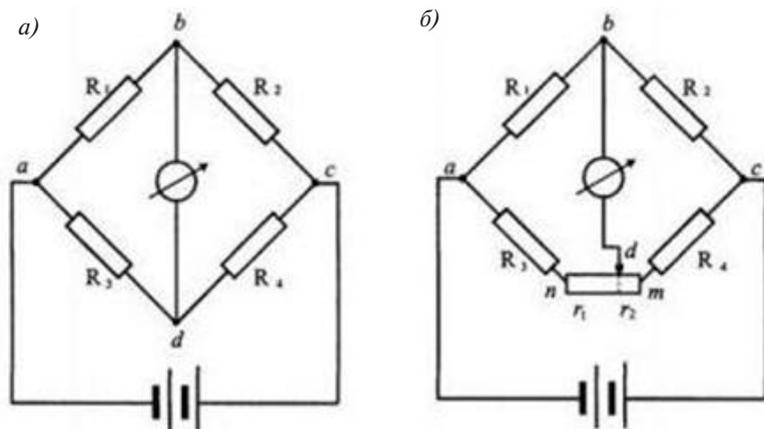


Рис. 35. Измерительные мосты: а — схема моста Уитстона; б — мост с реохордом; R_1, R_2, R_3, R_4 — сопротивления, включённые в плечи моста; r_1 и r_2 — сопротивления реохорда

Сопротивление тензорезистора может изменяться не только в связи с деформацией детали, но и при изменении его температуры. Для исключения влияния изменения температуры на показания измерительного прибора применяют температурную компенсацию. Она осуществляется путем включения в качестве сопротивления R_2 (рис. 35, а) компенсационного тензорезистора R_k , который представляет собой такой же тензорезистор, как рабочий. Этот тензорезистор наклеивается на пластинку из того же материала, что и деталь, и располагается рядом с рабочим тензорезистором. Таким образом, температурные изменения сопротивлений компенсационного и рабочего тензорезисторов будут всегда одинаковыми. Но так как эти тензорезисторы включены в противоположные плечи измерительного моста, то при одинаковом изменении их сопротивлений баланс моста не нарушается.

Обычно при измерении деформаций с помощью датчиков сопротивления одна половина моста — рабочий R и компенса-

ный R_k тензорезисторы (рис. 35) крепятся на детали, другая половина — постоянные сопротивления R_3 и R_4 и переменное сопротивление R_{Π} — монтируется в специальной установке. Такая установка может содержать несколько полумостов, что позволяет с помощью одного прибора снимать показания с нескольких рабочих тензорезисторов.

Возможны два метода измерений:

1) метод *отклонений* (называемый также методом непосредственных отсчетов), когда изменение сопротивления ΔR_1 рабочего тензорезистора определяется по силе тока, возникающего в измерительной диагонали ранее сбалансированного моста.

2) *нулевой* метод (более совершенный), при котором относительные изменения сопротивления $\Delta R_1 / R_1$ определяют балансировкой моста с помощью включенного в цепь (рис. 35, б) реохорда mn изменением отношения сопротивлений r_1 / r_2 . Этот метод является основным при статических испытаниях.

Для измерения статических деформаций методом тензометрии выпускаются специальные приборы, называемые тензостанциями или измерителями деформаций.

В настоящее время разработано большое количество различных систем коммутаторов, которые позволяют последовательно присоединять к отсчетному устройству большое количество (до нескольких сот) тензорезисторов.

Например, для статических испытаний строительных конструкций разработаны измерители деформаций следующих марок: ЦТМ (рис. 36, а), ИДЦ, АИД, ИЖЦ, ИДТЦ, ТК-2, К-732 и т. д.

Измеритель деформаций тензометрический цифровой ИДТЦ-01 (рис. 36, б) предназначен для измерения деформаций тензорезисторов сопротивлением от 100 до 400 Ом при статическом нагружении конструкций. Количество измерительных каналов — 11, диапазон измерений мкОм/Ом — ± 5999 . Электрическая схема соединений тензорезисторов на объекте измерений — полумост, напряжение питания полумоста 9 ± 2 В. Стабильность показаний при неоднократных измерениях деформации, единиц индикации — не более 5.

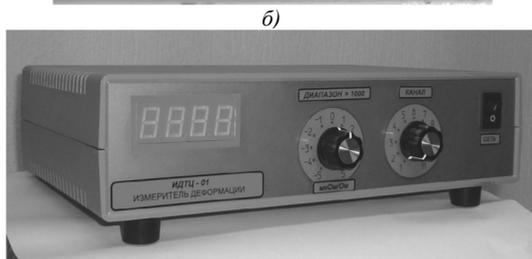
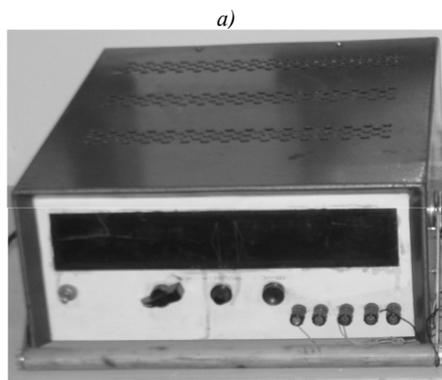


Рис. 36. Общий вид автоматических измерителей деформаций:
а – цифровой тензометрический мост ЦТМ-3; *б* – измеритель деформаций
 тензометрический цифровой ИДТЦ-01

Автоматические измерители деформаций АИ-1 и АИ-2 разработаны на основе аналогичного прибора ЭИД-3. Прибор АИ-1 предназначен для измерения деформаций при действии статических нагрузок. Диапазон измерения деформаций, выраженный в относительных единицах, равен $1 \cdot 10^{-2}$; цена делений – $1 \cdot 10^{-5}$. При измерении деформаций применяют тензорезисторы сопротивлением не более 400 Ом, коэффициент тензочувствительности которых может меняться в пределах от 1,8 до 2,25. Питание прибора осуществляется переменным током с напряжением 127 или 220 В с частотой 50 Гц. Масса прибора 9 кг.

Измерение напряжений одновременно в нескольких точках осуществляется при помощи переключателя, который поочередно подключает ко входу прибора тензорезисторы, расположенные в различных местах испытываемой конструкции.

Коммутирование предусмотрено как активных, так и компенсационных тензорезисторов. Следует отметить, что в некоторых случаях один компенсационный тензорезистор может обслуживать все активные тензорезисторы. При этом все они должны иметь одинаковое сопротивление.

В практике испытания строительных конструкций иногда испытывают конструкции до разрушения. В этом случае деформации отдельных элементов и конструкций в целом достигают значительных величин и диапазон измерения деформаций прибора АИ-1 недостаточен. То же самое можно отметить в отношении ряда низкомодульных материалов, например пластмасс.

В настоящее время имеются тензорезисторы, которые дают возможность измерять относительные деформации в пределах от 7 до 10 %. Для этого требуется прибор с диапазоном измерения напряжений $1 \cdot 10^{-1}$, т. е. в 10 раз больше, чем у прибора АИ-1. Таким прибором является прибор АИ-2, созданный на базе прибора АИ-1.

Прибор АИ-2 предназначен для измерения относительных деформаций $1 \cdot 10^{-1}$ с использованием тензорезисторов сопротивлением от 80 до 250 Ом и коэффициентом тензочувствительности $1,8 \div 2,2$. Цена одного деления шкалы прибора — $1 \cdot 10^{-5}$. В отличие от прибора АИ-1 у АИ-2 имеется не две, а три указывающие стрелки. Прибор питается переменным током с напряжением 127 или 220 В ± 10 %. Масса прибора 10 кг.

Прибор АИ-2 отличается от АИ-1 тем, что в нем применен многовитковый реохорд.

Автоматический измеритель деформаций АИД-1М предназначен для измерения статических деформаций в одной или многих точках с помощью тензорезисторов.

Для измерения деформаций в большом числе точек прибор используют в комплекте с коммутирующим устройством.

Основные узлы прибора смонтированы на шасси, составляющем одно целое с передней панелью, на которой размещены: шкала с указательными стрелками, ручка потенциометра балансировки моста по фазе, индикатор баланса, выключатель сетевого питания и клеммы для подключения датчиков и заземления прибора.

С тыльной стороны прибора выведен шнур питания и размещены ось реостата установки коэффициента усиления, переключатель напряжения питания моста, регулятора масштаба, переключатель напряжения сети и держатель предохранителя. Переключатель напряжения сети имеет два положения, соответствующие напряжениям 127 и 220 В.

Тензоизмерители ИТЦ-03 различных модификаций предназначены для измерения выходных сигналов тензодатчиков (тензорезисторов) при различных видах нагружения исследуемых образцов (растяжение, изгиб, кручение, совместное действие изгиба и кручения и др.) с визуализацией результатов измерений на цифровом индикаторе прибора.

Модификации базового прибора ИТЦ-03 отличаются количеством измерительных каналов, а также схемой соединения тензорезисторов. Во всех модификациях может быть дополнительно реализован автономный режим работы (например, для полевых условий – с питанием от аккумулятора и ЖК-индикатором).

Все модификации прибора ИТЦ-03 могут работать совместно с расширителями каналов РК-80п, каждый из которых добавляет 80 измерительных каналов к уже имеющимся в приборе.

Технические характеристики тензоизмерителей ИТЦ-03

Схема соединения тензорезисторов: полумост, мост.

Цена условной единицы младшего разряда цифрового индикатора, мкОм/Ом: при четырех активных тензорезисторах – 1; при двух активных тензорезисторах – 2; при одном активном тензорезисторе – 4.

Напряжение питания тензорезисторов, В – $1 \pm 0,2$.

Частота напряжения питания тензорезисторов, Гц – 3125.

Сопrotивление применяемых тензорезисторов, Ом – от 100 до 5000.

Число измерительных каналов – 11.

Длина соединительного кабеля между прибором и первичным преобразователем не более 5 м.

Электропитание от сети переменного тока: напряжение – 220 ± 22 В; частота, Гц – $50 \pm 0,4$.

Габаритные размеры, мм, не более: ширина – 250; глубина – 148; высота – 88.

Масса – 1,5 кг.

Более современный преобразователь показаний тензорезисторов – компьютерный измерительный комплекс «ТИССА-В-485/65» (рис. 37). «ТИССА-485/65» обеспечивает синхронное измерение сигналов от тензометрических резисторов по 64 измерительным каналам с частотой дискретизации сигнала в диапазоне от 1 до 10 Гц. При этом комплекс позволяет производить измерения в двух режимах: пошаговое измерение – используется при испытаниях статической нагрузкой; непрерывное измерение – для испытаний динамической нагрузкой.

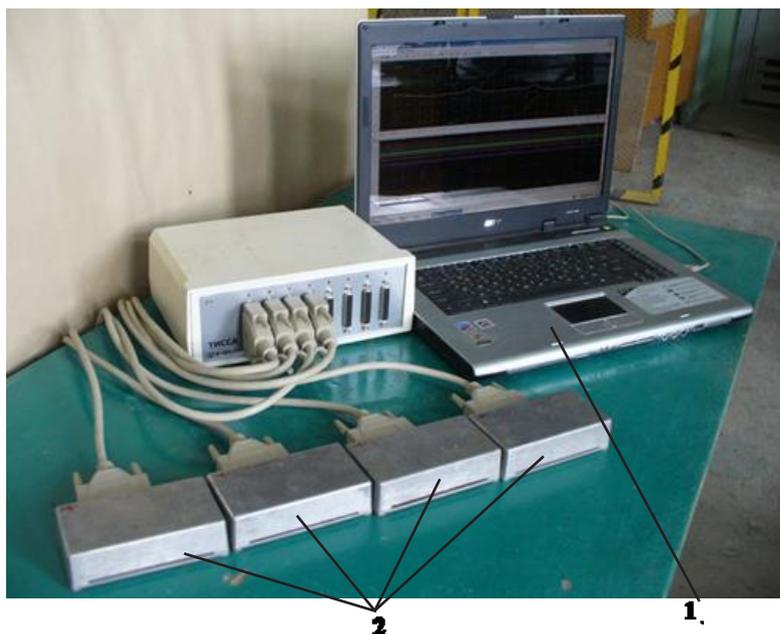


Рис. 37. Общий вид измерительного комплекса «ТИССА-В-485/64»:
1 – основной измерительный модуль; 2 – блок согласования тензорезисторов

Результаты измерений могут быть представлены в одном из двух предложенных форматов:

- для каждого тензорезистора в виде диаграммы, описывающей изменение относительных деформаций во временном базисе (в интервале нагрузки);

– в виде диаграммы, описывающей изменение относительных деформаций в одном временном промежутке (при одном уровне прикладываемой нагрузки) по всем или группе тензометрических резисторов.

Программное обеспечение указанной измерительной системы обеспечивает возможность экспорта данных в другие программные комплексы, а также вывода результатов измерений на печать.

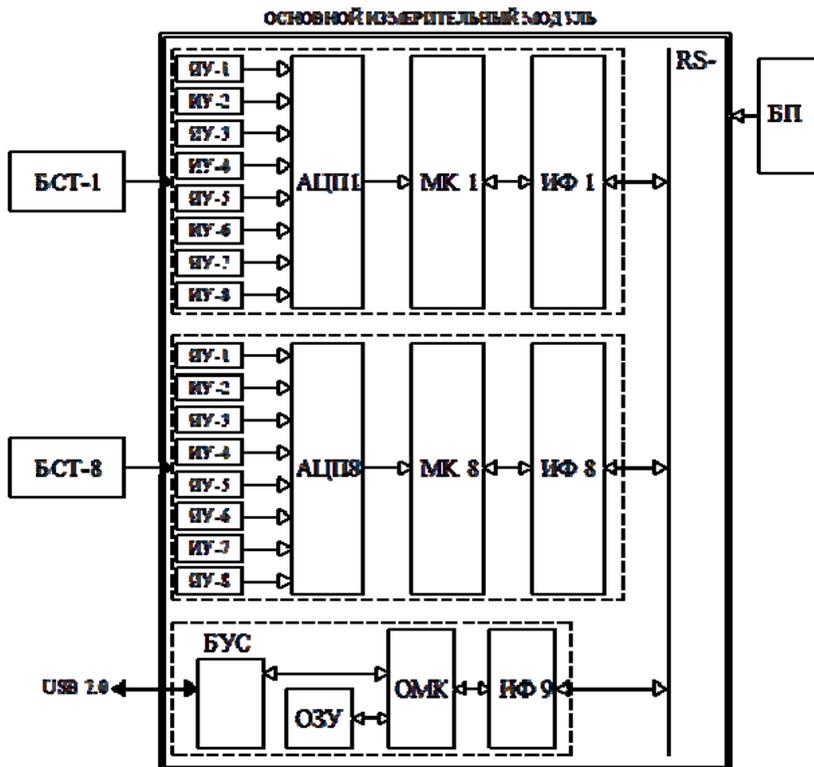


Рис. 38. Структурная схема

Структурная схема компьютерного измерительного комплекса для регистрации деформаций «ТИССА-В-485/65» приведена на рис. 38. Измерительный комплекс включает в себя следующие основные модули:

- блоки согласования тензорезисторов (БСТ 1 – БСТ 8);
- блоки аналого-цифровых преобразователей (БАЦП 1 – БАЦП 8);
- блок управления и интерфейса с компьютером (БУС);
- блок питания (БП).

Блоки согласования тензорезисторов (БСТ 1 – БСТ 8) предназначены для включения регистрирующего элемента (тензорезистора) в четвертьветвевой измерительный мост. Организация подобной схемы включения тензорезисторов обеспечивается использованием в ней дополнительных образцовых резисторов. Каждый из блоков БСТ 1 – БСТ 8 обеспечивает одновременное подключение восьми измерительных тензорезисторов. Блоки согласования тензорезисторов (БСТ 1 – БСТ 8) выполнены в виде восьми выносных модулей, подключаемых к основному измерительному модулю (рис. 38). Для защиты от случайных механических воздействий каждый из блоков помещен в защитный алюминиевый корпус.

Раздел 2. ИСПЫТАНИЕ СТАЛЬНОЙ СТРОПИЛЬНОЙ ФЕРМЫ

Данное испытание проводилось в рамках программы исследований работ конструкций, усиливаемых под нагрузкой, выполняемых кафедрой «Металлические конструкции» МИСИ им. В.В. Куйбышева (в настоящее время НИУ «Московский государственный строительный университет»).

Цель испытания — подтвердить закономерности, полученные теоретически [3]: о возможности регулирования сварочных деформаций при усилении сжатых стержней путём варьирования технологическими параметрами сварочного процесса, такими как величина тепловложения, протяжённость сварных швов, порядок их наплавки.

Кроме того, необходимо было получить следующую, отсутствующую в известных технических источниках информацию:

- о работе стержней, усиливаемых (свариваемых) в составе конструкции;
- о влиянии производимого усиления (сварки) на напряжённое состояние остальных элементов фермы (примыкающих к усиливаемым стержням фасонок, смежных стержней);
- о влиянии в целом на работу конструкции (её прогибы).

Всё это необходимо было выполнить для обеспечения возможности дальнейшей количественной отработки полученных теоретически сварочных технологий на отдельных стержневых образцах.

Тема 2.1. Ферма и особенности её подготовки к испытаниям

Форма проведения занятия — коллоквиум

Вопросы по теме

1. Конструктивные особенности испытательного стенда ВНИИ-Монтажспецстроя.
2. Цели испытания стальной фермы.
3. Конструктивные особенности стальной стропильной фермы.
4. Для каких элементов определялись механические характеристики?

5. Как определялись механические характеристики усиливаемых стержней?
6. Конструктивные особенности опирания фермы.
7. Что обеспечивала схема опирания?
8. Характер нагружения фермы.
9. Как осуществлялась передача нагрузки?
10. Как контролировалось изменение напряжений в элементах фермы?
11. Как контролировалось изменение прогибов усиливаемых стержней?
12. Как контролировалось изменение прогибов фермы?
13. Как контролировалось изменение напряжений в фасонках?
14. База применяемых тензодатчиков сопротивления.
15. Место расположения тензодатчиков на стержнях.
16. Количество тензодатчиков на одном стержне.
17. Количество тензодатчиков на фасонках.
18. Характер расположения тензодатчиков на фасонках.
19. Приборы, применяемые для регистрации напряжений.
20. Цель расположения индикаторов на опорах.

Методические указания по освоению темы

Для освоения темы необходимо:

- ознакомиться с теоретическими положениями, изложенными в методических материалах к занятию;
- ответить на контрольные вопросы;
- ознакомиться с рекомендуемыми литературными источниками;
- ознакомиться с информацией по теме в информационно-телекоммуникационной сети Интернет;
- при необходимости провести патентный поиск.

Методические материалы к занятию

Исследование проводилось на натурной конструкции фермы с параллельными поясами пролётом 24 м и высотой (по обухам) 3,15 м (рис. 39).

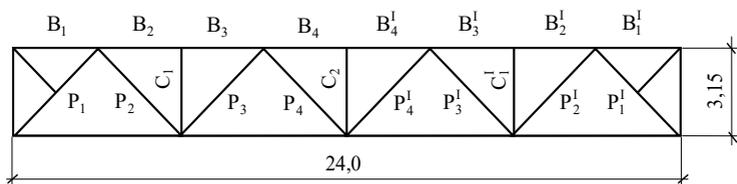


Рис. 39. Схема фермы

Элементы поясов и решётки были выполнены из уголкового профиля. Сечения их представлены в табл. 1.

Таблица 1

Маркировка и сечения стержней

Элементы фермы	Маркировка стержней	Сечение стержней	
		Форма	Калибр
Верхний пояс	V_1, V_2, V_3, V_4		2 L 140×10
Нижний пояс	H_1		2 L 100×10
	H_2		2 L 100×10
Раскосы	P_1		2 L 100×10 2 L 63×6
	P_2		2 L 75×5 2 L 63×6
	P_3		2 L 90×8
	P_4		2 L 75×5
Стойки	C_1		2 L 75×5
	C_2		2 L 75×5

По данным завода-изготовителя, элементы фермы были выполнены из низкоуглеродистой стали марки ВСтЗпсб по ГОСТ 380–71. Значения пределов текучести, определённые по результатам механических испытаний образцов для элементов, которые должны были в процессе испытаний подвергаться усилению (верхний пояс V_4 и V_4^I и раскосы P_3 и P_3^I), составляли: для уголков верхнего пояса – $\sigma_T^0 = 25 \text{ кН/см}^2$, для раскосов – $\sigma_T^0 = 25,4 \text{ кН/см}^2$.

Испытание фермы проводилось на стенде экспериментального зала ВНИИМонтажспецстроя. Схема загрузки показана на рис. 40.

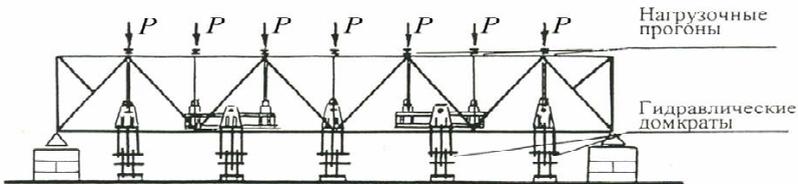


Рис. 40. Схема загрузки

Опираемость конструкции осуществлялась посредством опорных катков, обеспечивающих горизонтальное продольное перемещение и угол поворота. Передача нагрузки на узлы проводилась с помощью цилиндрических шарниров, обеспечивающих поворот передающих узловую нагрузку приспособлений. Общий вид испытательного стенда показан на рис. 41.



Рис. 41. Общий вид испытательного стенда

Работа стержневой фермы в процессе испытаний контролировалась с помощью петлевых проволочных тензодатчиков сопротивления по показаниям двух измерителей деформаций АИ-1. Тензодатчики с базой 20 мм были наклеены после установки фермы на стенде в средних (по длине) сечениях и на фасонках, примыкающих к усиливаемым элементам (рис. 43). Общее количество тензодатчиков на ферме составило 120 штук.

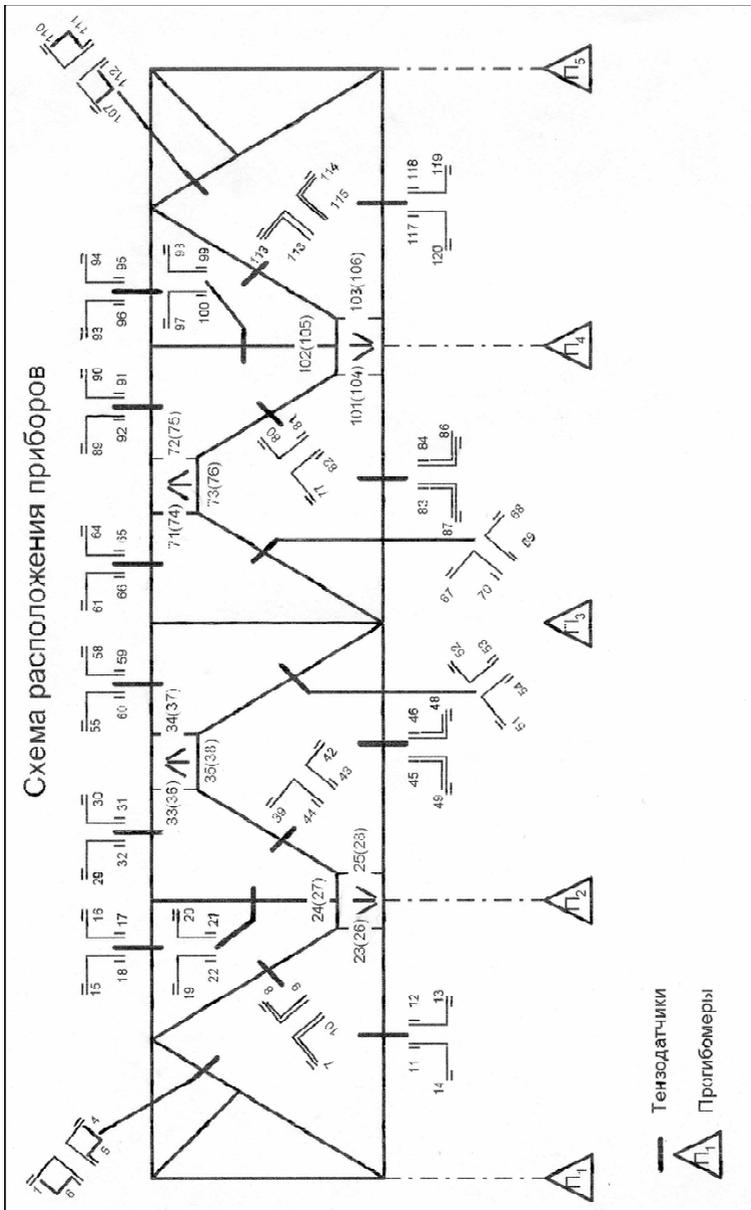


Рис. 42. Схема расположения приборов

Деформации конструкции (прогибы) в целом фиксировались по показаниям проволочных прогибомеров, установленных в узлах нижнего пояса фермы и на опорах (для учёта влияния осадки опор). Схема расположения приборов показана на рис. 42.

Перед проведением основных испытаний по исследованию работы в процессе усиления (сварки) была испытана неусиленная конструкция. Целью этих предварительных испытаний являлось изучение действительной работы фермы до усиления.

В данной работе даётся информация об испытании неусиленной конструкции: методике проведения и полученных результатах.

Испытание конструкции производилось на нагрузки, прикладываемые в последовательности, указанной в табл. 2.

Таблица 2

Этапы загрузки

Этапы загрузки	1	2	3	4	5
Величина узловой нагрузки P , кН	38	63	76	88	101

Величина узловой нагрузки определялась с учётом собственного веса фермы и веса оснастки. Наибольшая узловая нагрузка $P = 101$ кН составляла порядка 90 % от её нормативной величины, определённой по несущей способности наиболее слабого элемента – раскоса P_3 (табл. 3).

Порядок проведения испытаний был следующим: после подготовки всех приборов и приспособлений к работе осуществлялось нагружение фермы узловой нагрузкой 1-го этапа, давалась выдержка порядка 5–7 мин и производилось снятие отсчётов по показаниям прогибомеров и автоматических измерителей деформаций; затем нагрузка поднималась до величины нагружения 2-го этапа, повторялись операции предыдущего этапа, и так до наибольшей в данных испытаниях нагрузки; после этого конструкция разгружалась, давалась выдержка порядка 15–20 мин и снимались отсчёты по показаниям всех приборов.

Предельная узловая нагрузка

Элементы фермы	Маркировка стержней	Несущая способность, кН	Усилия от $P = 1$	Предельная узловая нагрузка, кН
Верхний пояс	B_2, B_3	1057	-5,4	196
	B_4	1057	-7,3	145
Нижний пояс	H_1	806	+3,0	269
	H_2	1112	+6,8	163
Раскосы	P_1	681	-4,6	150
	P_2	616	+3,4	181
	P_3	224	-2,0	112
	P_4	310	+0,7	443
Стойки	C_1	130	-1,0	130
	C_2	131	-0,7	181

Основные испытания, целью которых являлось исследование работы усиливаемой фермы, производились после проведения предварительных испытаний неусиленной конструкции. Усилению в процессе испытаний подвергались раскосы P_3 и P_3^I и средние панели верхнего пояса B_4 и B_4^I . Усиление каждого стержня производилось уголковыми элементами: двумя уголками $L63 \times 6$, длиной, равной длине усиливаемых стержней (рис. 43).

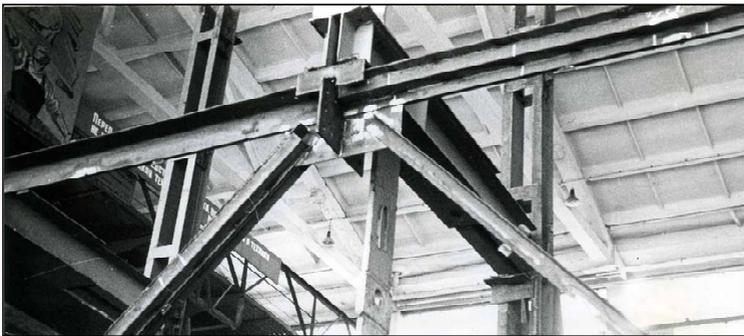


Рис. 43. Узел фермы

Предел текучести материала уголков усиления, определённый по результатам механических испытаний, составил 25,8 кН/см².

Узловая нагрузка P назначалась в соответствии с принятой при усилении каждого стержня величиной усилия $N_0^Y = K\gamma_c\phi_0\sigma_T^0 A_0$, где коэффициент K принимался 0,8 при усилении раскоса P_3^I и стержней верхнего пояса B_4 и B_4^I и 0,9 при усилении раскоса P_3 ; коэффициент условий работы γ_c принимался в соответствии с требованиями норм.

Значения усилий в усиливаемых стержнях в момент усиления N_0^Y , соответствующие им значения узловой нагрузки P , а также последовательность проведения усиления стержней представлены в табл. 4.

Таблица 4

Последовательность проведения усиления

Последовательность проведения усиления	1	2	3	4
Маркировка усиливаемых стержней	P_3^I	P_3	B_4^I	B_4
Величина усилия в момент усиления – N_0^Y , кН	180	202	846	846
Соответствующая величина узловой нагрузки – P , кН	90	101	116	116

Испытание каждого отдельного элемента производилось в следующем порядке. Ферма загружалась в соответствии со схемой (рис. 40) до появления требуемого усилия в усиливаемом элементе – N_0^Y , величина которого контролировалась параллельно: с помощью тензодатчиков сопротивления и по показаниям манометров на гидравлических домкратах, нагружающих ферму. При требуемой величине усилия элементы усиления с наклеенными в среднем сечении тензодатчиками прикреплялись струбцинами по схеме «коробочка» к основным стержням. Для предохранения тензодатчиков от попадания искр при сварке сечения стержней в местах их наклейки закрывались специальными козырьками, после чего накладывались прихватки и производилось присоединение элементов усиления путём наложения сварных швов.

Порядок присоединения элементов усиления принимался в соответствии с выводами теории: с первоначальным наложением концевых сплошных швов и последующей наплавкой связующих прерывистых швов по длине элемента. Концевые швы накладывались в пределах фасонки в направлении к центрам узлов. Связующие прерывистые швы не доводились на 20 см с каждой стороны до сечения с тензодатчиками для предохранения их от сгорания: общая протяжённость каждого из 4-х связующих швов составляла около 160–180 см для стержней B_4 , B_4^1 и 260–280 см для P_3 и P_3^1 . Катеты всех швов принимались порядка 6–7 мм. Сварка производилась вручную электродами типа Э-42 диаметром 4 мм. В процессе сварки с помощью электроклещей контролировались величины сварочного тока I и падения напряжения на дуге U ; измерялась также величина скорости сварки V . Значения этих величин при проведении эксперимента были в пределах: $I = 185–210$ А; $U = 20–22$ В; $V = 10,8–12,5$ см/мин.

В процессе усиления осуществлялось наблюдение за работой усиливаемого стержня и примыкающих к нему элементов (фасонки и стержней) по показаниям измерителей деформаций. Работа в целом конструкции контролировалась по показаниям проволочных прогибомеров. Снятие отсчётов по приборам производилось в процессе сварки, а также после остывания усиленных стержней.

После осуществления усиления каждого стержня производилась разгрузка фермы, что было вызвано нежелательностью длительной эксплуатации под нагрузкой гидравлических домкратов.

В заключение эксперимента, после выполнения усиления всех четырёх стержней, было произведено испытание усиленной конструкции. В ходе заключительного испытания производилось нагружение фермы узловой нагрузкой ступенями по 10 кН до потери несущей способности. После каждого увеличения нагрузки осуществлялось снятие отсчётов по приборам.

Тема 2.2. Результаты испытаний

Форма проведения занятия – доклад, сообщение

Темы докладов, сообщений

1. Цель испытания неусиленной конструкции.
2. Последовательность испытания неусиленной конструкции.
3. Величины узловых нагрузок при испытании неусиленной конструкции.
4. Как определялась максимальная нагрузка при испытании неусиленной конструкции?
5. Порядок проведения испытания неусиленной конструкции.
6. Какие стержни подвергались усилению?
7. Элементы усиления.
8. Длина элементов усиления.
9. Предел текучести элементов усиления.
10. Возможные варианты определения узловых нагрузок при усилении стержней.
11. Как контролировалась величина усилия при усилении?
12. Возможные варианты прикрепления элементов усиления к основным стержням.
13. Предохранение тензодатчиков от попадания искр и чрезмерного нагрева.
14. Порядок прикрепления элементов усиления.
15. Наплавка концевых швов.
16. Чем производилась сварка?
17. Контроль тока, напряжения и скорости сварки.
18. Величина тока, напряжения и скорости сварки при эксперименте.
19. Заключительный этап эксперимента.
20. Результаты предварительных испытаний.

Методические указания по освоению темы

Для освоения темы необходимо:

- ознакомиться с теоретическими положениями, изложенными в методических материалах к занятию;
- ответить на контрольные вопросы;

- ознакомиться с рекомендуемыми литературными источниками;
- ознакомиться с информацией по теме в информационно-телекоммуникационной сети Интернет;
- при необходимости провести патентный поиск.

Методические материалы к занятию

Предварительные испытания неусиленной конструкции дали результаты, свидетельствующие о том, что под действием внешней нагрузки в стержнях фермы (и в поясах, и в решётке) отмечалось появление не только осевых усилий, но и изгибающих моментов как в плоскости, так и из плоскости конструкции (рис. 44–48).

В наибольшей степени изгиб наблюдался в стойке C_1^I (рис. 44) и раскосе P_3^I (рис. 45).

Экспериментальные значения усилий в стержнях, определённые с учётом собственного веса фермы, несколько отличались от теоретически полученных значений.

Максимальная конструктивная поправка $K_э = N_э / N_T$ (табл. 5) составила $K_э = 0,934$ в раскосе P_4^I , минимальная – $K_э = 0,997$ в панели нижнего пояса H_2 . Незначительный разброс поправок подтверждает достоверность эксперимента.

Далее проводились основные испытания усиливаемой фермы, по результатам которых были построены:

- а) графики изменения напряжений в средних сечениях усиливаемых стержней в процессе усиления и при дальнейшем увеличении нагрузки;
- б) графики изменения напряжений в элементах (фасонках и стержнях), примыкающих к усиливаемым стержням;
- в) графики изменения прогиба фермы при усилении стержней.

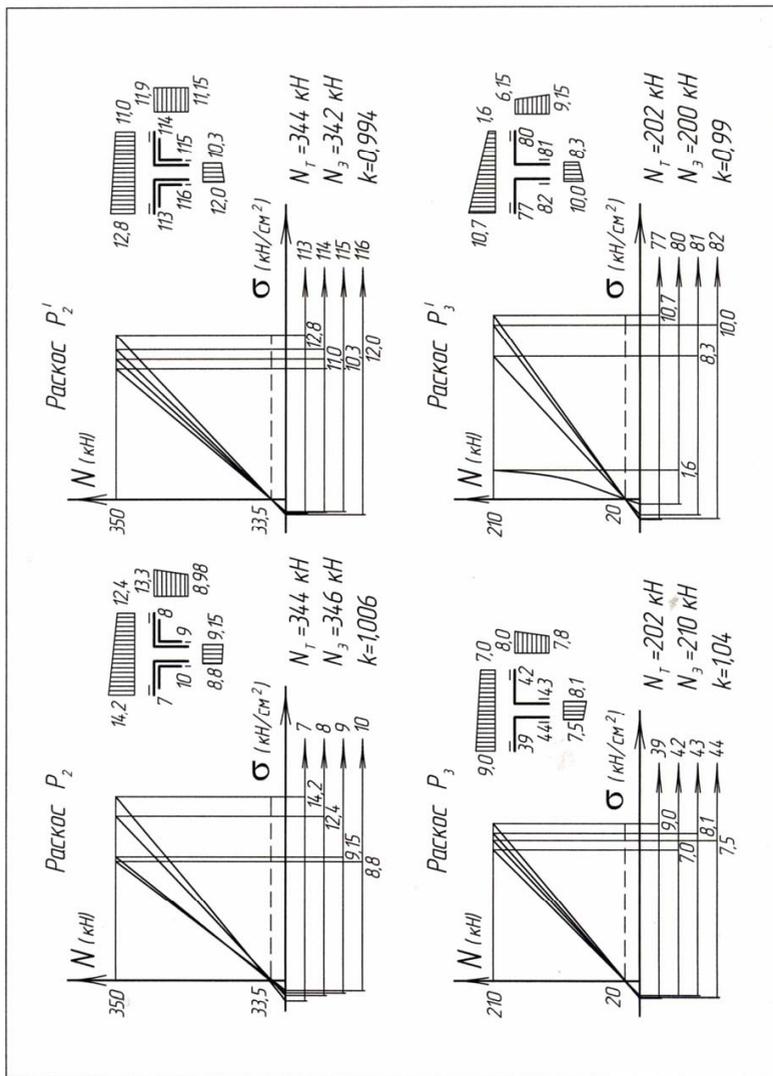


Рис. 45. Работа стоек C_1 , C_1' и раскосов P_4 , P_4'

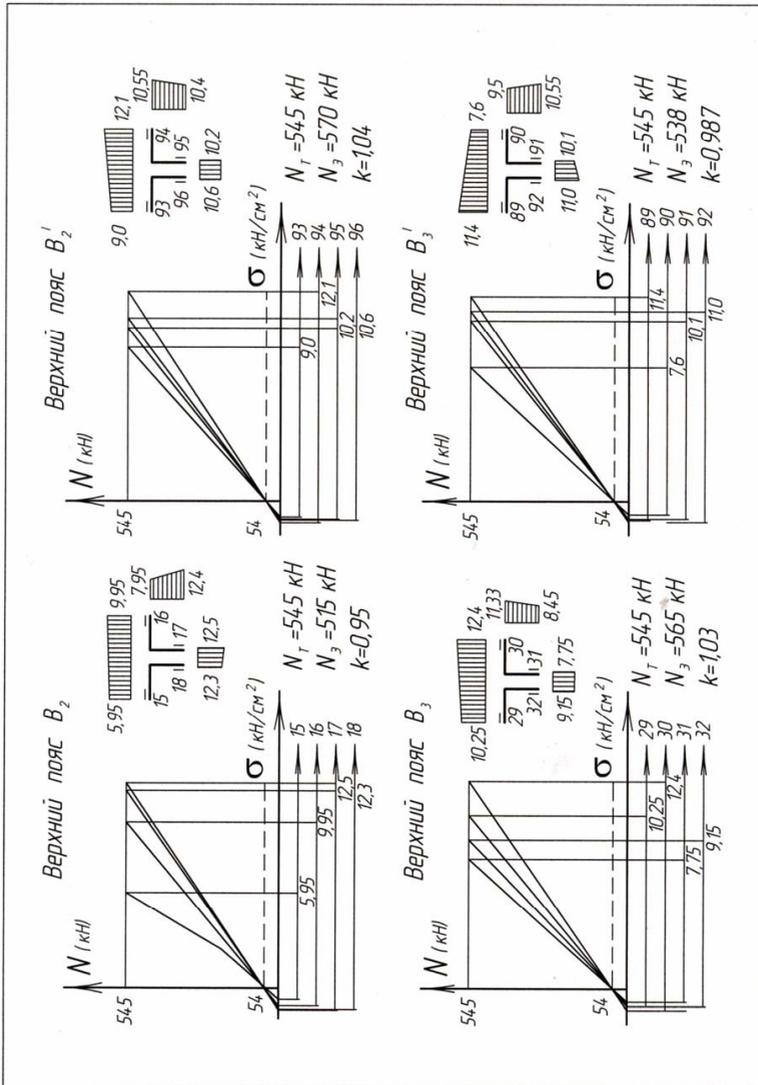


Рис. 46. Работа панелей верхнего пояса V_2, V_2', V_3, V_3'

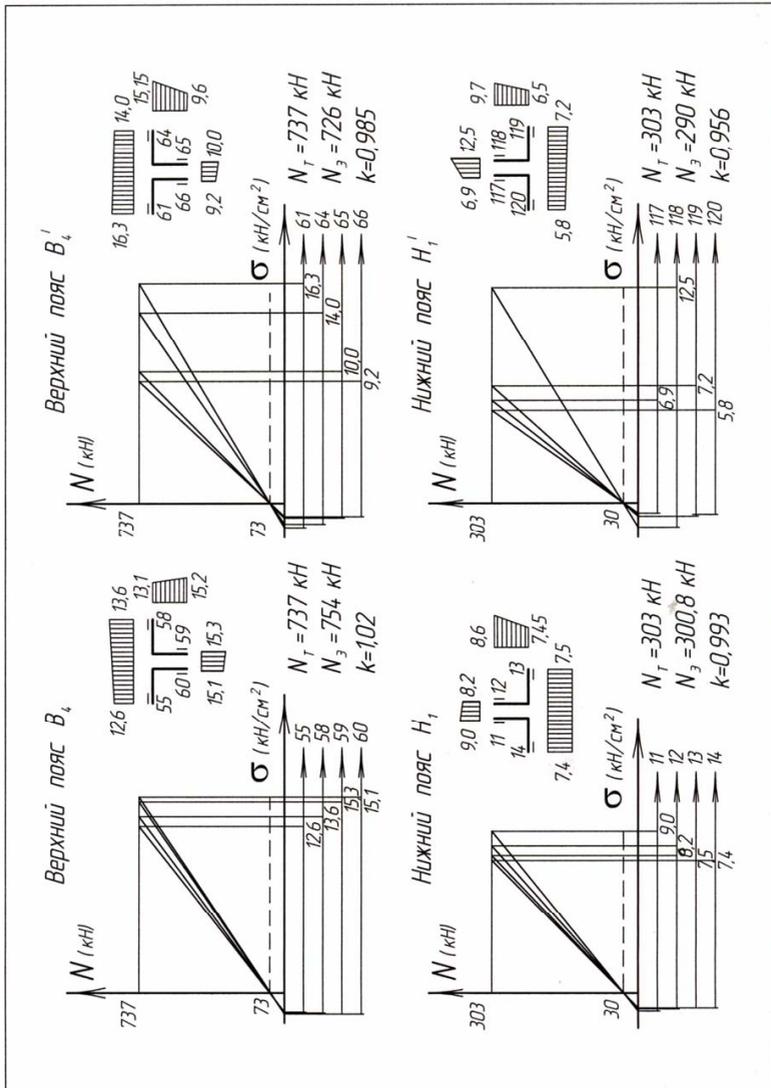


Рис. 47. Работа панелей верхнего пояса V_4 , V_4' и нижнего пояса H_1 , H_1'

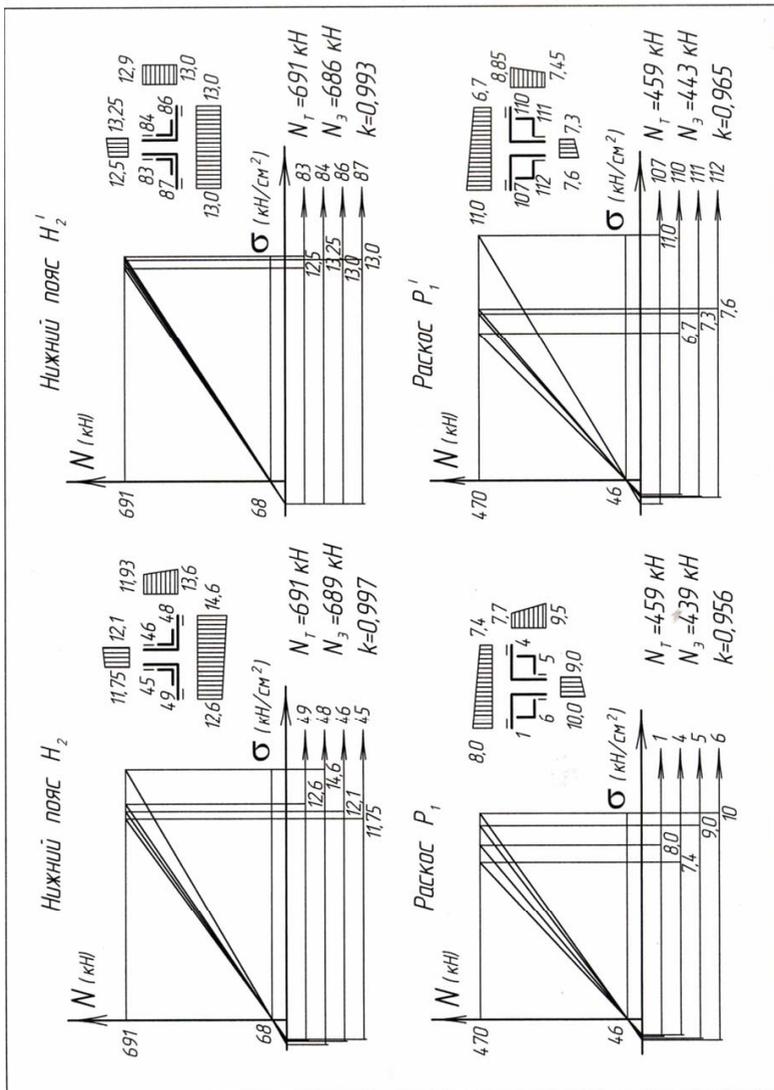


Рис. 48. Работа панелей нижнего пояса H_2, H_2' и раскосов P_1, P_1'

Таблица 5

Усилия и конструктивные поправки

Маркировка стержней фермы	Теоретические усилия N_T (кН)	Экспериментальные усилия $N_{\text{э}}$ (кН)	Конструктивная поправка $K_{\text{э}} = N_{\text{э}} / N_T$
B_2	545	515	0,95
B_2^1	545	570	1,04
B_3	545	565	1,03
B_3^1	545	538	0,987
B_4	737	754	1,02
B_4^1	737	726	0,985
H_1	303	301	0,993
H_1^1	303	290	0,956
H_2	691	689	0,997
H_2^1	691	686	0,993
P_1	459	439	0,965
P_1^1	459	443	0,956
P_2	344	346	1,006
P_2^1	344	342	0,994
P_3	202	210	1,04
P_3^1	201	200	0,99
P_4	70,7	66,8	0,945
P_4^1	70,7	66,0	0,934
C_1	101	96,0	0,95
C_1^1	101	99,9	0,99

Методические указания по выполнению самостоятельной работы

Самостоятельная работа студентов всех форм и видов обучения является одним из обязательных видов образовательной деятельности, обеспечивающей реализацию требований Федеральных государственных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО), созданных на основе Федерального закона от 29.12.2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации».

Конкретные требования к самостоятельной работе студентов определяются в Федеральных государственных образовательных стандартах высшего профессионального образования по направлениям и специальностям.

Нормативные требования к самостоятельной работе студентов дополняются документами локального характера: уставом Тольяттинского государственного университета, Порядком организации балльно-рейтинговой системы оценки успеваемости студентов, утвержденным приказом ректора ТГУ № 5408 от 26.10.2017 г.

Согласно требованиям нормативных документов самостоятельная работа студентов является обязательным компонентом образовательного процесса, так как она обеспечивает закрепление получаемых на лекционных занятиях знаний путем приобретения навыков осмысления и расширения их содержания, навыков решения актуальных проблем формирования общекультурных и профессиональных компетенций, научно-исследовательской деятельности, подготовки к семинарам, лабораторным работам, сдаче зачетов и экзаменов.

Самостоятельная работа студентов представляет собой совокупность аудиторных и внеаудиторных занятий и работ, обеспечивающих успешное освоение образовательной программы высшего профессионального образования в соответствии с требованиями ФГОС.

Навыки самостоятельной работы по освоению каких-либо знаний приобретаются человеком с раннего детства и развиваются в течение всей жизни.

К началу обучения в вузе каждый студент имеет личный опыт и навыки организации собственных действий, полученные в про-

цессе обучения в школе, учреждениях дополнительного образования, во время внешкольных занятий и в быту.

Однако при обучении в вузе требования к организации самостоятельной работы существенно возрастают, так как они связаны с освоением сложных общекультурных и профессиональных компетенций.

Практика показывает, что студенты различаются по уровню готовности к реализации требований к самостоятельной работе.

Выделяются две основные группы студентов.

Первая характеризуется тем, что ее представители ориентированы на выполнение заданий самостоятельной работы и обладают универсальными учебными компетенциями, позволяющими успешно справиться с требованиями к ее выполнению (умением понимать и запоминать приобретаемую информацию, логически мыслить, воспроизводить материал письменно и устно, проводить измерения, вычисления, проектировать и т. д.).

Студенты второй группы не имеют устойчивой ориентации на постоянное выполнение самостоятельной работы при освоении учебного материала и отличаются низким уровнем развития универсальных учебных компетенций и навыков самоорганизации.

Самостоятельная работа в рамках образовательного процесса в вузе решает следующие задачи:

- закрепление и расширение знаний, умений, полученных студентами во время аудиторных и внеаудиторных занятий, превращение их в стереотипы умственной и физической деятельности;
- приобретение дополнительных знаний и навыков по дисциплинам учебного плана;
- формирование и развитие знаний и навыков, связанных с научно-исследовательской деятельностью;
- развитие ориентации и установки на качественное освоение образовательной программы;
- развитие навыков самоорганизации;
- формирование самостоятельности мышления, способности к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- выработка навыков эффективной самостоятельной профессиональной теоретической, практической и учебно-исследовательской деятельности.

Для реализации задач самостоятельной работы студентов необходим ряд условий, которые обеспечивает университет:

- наличие материально-технической базы;
- наличие необходимого фонда информации для самостоятельной работы студентов и возможность работы с ним в аудиторное и внеаудиторное время;
- наличие помещений для выполнения конкретных заданий, входящих в самостоятельную работу студентов;
- обоснованность содержания заданий, входящих в самостоятельную работу студентов;
- связь самостоятельной работы с рабочими программами дисциплин, расчетом необходимого времени для самостоятельной работы;
- развитие преподавателями у студентов навыков самоорганизации, универсальных учебных компетенций;
- сопровождение преподавателями всех этапов выполнения самостоятельной работы студентов, текущий и конечный контроль ее результатов.

Специфическими принципами организации самостоятельной работы в рамках современного образовательного процесса являются:

- принцип интерактивности обучения (обеспечение интерактивного диалога и обратной связи, которая позволяет осуществлять контроль и коррекцию действий студента);
- принцип развития интеллектуального потенциала студента (формирование алгоритмического, наглядно-образного, теоретического стилей мышления, умения принимать оптимальные или вариативные решения в сложной ситуации, умения обрабатывать информацию);
- принцип обеспечения целостности и непрерывности дидактического цикла обучения (предоставление возможности выполнения всех звеньев дидактического цикла в пределах темы, раздела, модуля).

Самостоятельная работа студентов планируется каждым преподавателем в рабочей программе дисциплины, а зачетные ее виды фиксируются в технологической карте, где студенты всегда могут найти информацию об объеме самостоятельных работ, о времени

их выполнения и максимальном балле при оценивании результатов их выполнения.

Время, отведённое на внеаудиторную самостоятельную работу, отражается:

- в учебном плане в целом по теоретическому обучению, по каждому из циклов дисциплин, по каждой дисциплине;
- в рабочих программах учебных дисциплин с ориентировочным распределением по разделам или конкретным темам.

Самостоятельная работа студентов классифицируется: по месту организации (аудиторная и внеаудиторная); по целям организации (цели дисциплины, сформулированные и обоснованные в рабочей программе); по способу организации (индивидуальная, групповая).

Выбор формы организации самостоятельной работы студентов (индивидуальная или групповая) определяется содержанием учебной дисциплины и формой организации обучения (лекция, семинар, практическое занятие, контрольное занятие и др.).

В зависимости от формы промежуточной аттестации виды самостоятельной работы дополняются подготовкой к экзамену, зачету и процедурами текущей аттестации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Серьёзной проблемой новой России является подъём и развитие промышленности. В этой связи необходимо реконструировать до соответствия современным требованиям множество существующих производственных зданий. В значительном большинстве это здания каркасного типа, несущие конструкции которых выполнены из стали. Многие из них существенно изношены. Факторы износа и вероятного увеличения нагрузки на каркасы неизбежно потребуют усиления основных несущих конструкций.

В этой связи представляют интерес технические источники, содержащие информацию об особенностях обследований, оценки состояния несущих конструкций зданий и сооружений, о методах и приборах, применяемых при возможных испытаниях. К таким источникам относится данное пособие.

Учебное пособие «Методология испытаний строительных конструкций» фактически состоит из двух частей:

- в первой части (раздел 1) представлена информация об особенностях испытаний (методах, организации проведения, нагружения конструкций, применяемых приборах);
- вторая часть (раздел 2) посвящена испытанию натурной конструкции стальной фермы.

Первая часть сформирована из тем, в которых систематизирована известная информация. Во второй приведён материал, которого нет в известных источниках, дающий возможность в определённой степени понять действительную работу стальной фермы.

Как уже отмечалось, испытание фермы проводилось в рамках программы исследований работы конструкций, усиливаемых под нагрузкой, выполненных кафедрой «Металлические конструкции» МИСИ им. В.В. Куйбышева. Впервые была получена информация о работе стержней, усиливаемых в составе конструкции, работе самой фермы при усилении её стержней. Впервые была подтверждена возможность регулирования сварочных деформаций при усилении сжатых стержней методом увеличения их сечений. В настоящее время ведутся исследования, связанные с усилением сжатых стержней, имеющих начальные деформации (общие выгибы и местные погибы).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соснин, Э. А. Методология эксперимента : учеб. пособие / Э. А. Соснин, Б. Н. Пойзнер. – Москва : ИНФРА-М, 2017. – 162 с. + Доп. материалы. – (Высшее образование: Магистратура). – URL: <http://www.znaniium.com>. – www.dx.doi.org/10.12737/24370 (дата обращения: 20.05.21).
2. Мосесов, М. Д. Радиоэлектронные методы и средства испытаний строительных конструкций и сооружений : учеб. пособие / М. Д. Мосесов. – Москва : Форум : НИЦ ИНФРА-М, 2016. – 160 с. – (Высшее образование: Бакалавриат).
3. Родионов, И. К. Сварочные технологии регулирования напряженного состояния усиливаемых сжатых стержней стальных ферм покрытий : монография / И. К. Родионов. – Самара : СНЦ РАН, 2006. – 166 с.
4. Иллюстрации:

Номер рисунка	Источник
7, 16, 20, 22, 23, 24, 32, 33, 34, 35	https://yandex.ru/images/search
15, 18, 19, 25	https://yandex.ru/search
27, 28	http://www.stroypribor.com/netcat_files/404/284/psk.pdf
29	https://vunivere.ru/work98285/page7
36, <i>a</i>	https://yandex.ru/images/search
36, <i>б</i>	https://pandia.ru/text/78/417/28446.php
37, 38	https://infopedia.su/14x4309.htm

ГЛОССАРИЙ

Анкер (нем. *anker* – якорь) – крепёжное изделие, которое различными способами закрепляется в несущем основании и удерживает какую-либо конструкцию.

Арретирование (техн.) – установка чувствительного элемента, указателя или другой подвижной части механизма на механические стопоры (арретиры).

База (башмак) колонны – нижняя, уширенная часть колонны, имеющая конструктивное или архитектурное назначение.

Балка – конструктивный элемент, представляющий собой горизонтальный или наклонный брус, работающий преимущественно на поперечный изгиб.

Болт – крепёжное изделие в виде стержня с наружной резьбой и, как правило, шестигранной головкой под гаечный ключ, образующее соединение при помощи гайки.

Вибростенд – стенд для испытаний на вибрационные нагрузки.

Ветвь – один из вертикальных элементов стержня сквозной колонны.

Двутавр – профиль из металла, в сечении напоминающий букву Н.

Домкрат (нидерл. *dommekracht*) – стационарный, переносный или передвижной механизм для подъёма опирающегося на него груза.

Диафрагма – элемент сквозной колонны, располагаемый между ветвями; предназначение – предотвращение закручивания стержня.

Заклёпка – металлический стержень с головкой на одном конце, применяемый для соединения металлических частей путем расплющивания другого, выступающего конца стержня.

Индикатор (лат. *indicator* – указатель) – прибор, устройство, информационная система, вещество, объект, отображающий изменения какого-либо параметра контролируемого процесса или состояния объекта в форме, наиболее удобной для непосредственного восприятия человеком визуально, акустически, тактильно или другим легко интерпретируемым способом.

Колонна – вертикальный элемент, передающий нагрузку от вышележащих конструкций на нижележащие.

Компоновка — составление схемы, целой системы из отдельных частей.

Манометр (греч. *manós* — неплотный + *metréō* — измеряю) — прибор, измеряющий давление жидкости или газа.

Настил (в рабочих площадках) — стальной лист, покрывающий балочные клетки.

Оголовок — верхняя часть колонны, предназначенная для восприятия нагрузки от вышележащих конструкций.

Плита — пластина, прикрепляемая к верхнему или нижнему торцу колонны.

Пояс (полка) — плоский элемент, прикрепляемый к стенкам двутавров и швеллеров.

Прокат (в металлургии) — продукция (листовая и фасонная), получаемая на прокатных станах путём горячей, теплой или холодной прокатки.

Основание — опорная часть предмета, сооружения.

Ребро (жёсткости) — пластина, привариваемая к стенке и полкам сварной сплошностенчатой металлической балки или колонны.

Рейка (нивелирная) — измерительное устройство, используемое при нивелировании; представляет собой деревянный брус прямоугольного или двутаврового сечения длиной 3–4 м с нанесённой на лицевой поверхности шкалой.

Рычаг — простейший механизм, представляющий собой балку, вращающуюся вокруг точки опоры.

Решетка — элементы, соединяющие ветви сквозной колонны.

Резервуар (фр. *reservoir*) — герметично закрываемый или открытый стационарный сосуд, наполняемый жидким или газообразным веществом.

Стержень (колонны) — основной вертикальный конструктивный элемент, сплошностенчатый или сквозной.

Стенка — плоский элемент, расположенный между полок двутавров и швеллеров.

Струбцина (нем. *Schraubzwinge*) — один из видов вспомогательных инструментов, используемый для фиксации каких-либо деталей в момент обработки либо для плотного прижатия их друг к другу.

Стык (монтажный) — узел сопряжения отдельных отправочных марок (или узел укрупнительной сборки конструкции) перед её монтажом.

Тензомер — прибор, позволяющий измерить величину деформации изделия на локальном (базовом) участке.

Трибка — мелко модульное зубчатое колесо с малым числом зубьев, составляющее одно целое со своей осью вращения; применяется в часах и др. точных механизмах.

Узел — сопряжение отдельных конструктивных элементов при сборке на заводе или монтаже.

Фёрма (фр. *ferme*, лат. *firmus* — прочный) — стержневая система в строительной механике, остающаяся геометрически неизменяемой после замены её жёстких узлов шарнирными.

Фундамент — часть здания (сооружения), воспринимающая нагрузку от вышележащих конструкций и передающая её на грунт основания.

Цена деления (шкалы) — разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы (определяется как разность двух соседних значений шкалы, делённая на количество делений шкалы между ними).

Швёллер — профиль из металла, в сечении напоминающий букву П.

Шестерёнка — зубчатое колесо (обыч. шестерня), основная деталь зубчатой передачи в виде диска с зубьями на цилиндрической или конической поверхности, входящими в зацепление с зубьями другого зубчатого колеса.

Шкала́ (лат. *scala* — лестница) — часть показывающего устройства средства измерений, представляющая собой упорядоченный ряд отметок вместе со связанной с ними нумерацией.

Шкив — фрикционное колесо с ободом или канавкой по окружности, которое передаёт движение приводному ремню или канату.