

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра Испытания сооружений

ЖУРНАЛ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
«ОБСЛЕДОВАНИЕ И ИСПЫТАНИЕ СООРУЖЕНИЙ»

*по дисциплине «Обследование и испытание сооружений»,
для обучающихся по направлению подготовки
08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений
всех профилей*

Выполнил:
студент _____
институт _____
курс _____ группа _____
принял _____

УДК 628.517.2(076)
ББК 38.711
О-93

С о с т а в и т е л и :

Ю.С. Кунин, И.А. Горбунов, А.Н. Шувалов, Л.Х. Сафина, А.В. Ивличев,
В.А. Ермаков, П.Ю. Шульгин, Л.З. Зейд Килани

О-93 Обследование и испытание сооружений [Электронный ресурс] : журнал лабораторных работ «Обследование и испытание сооружений» по дисциплине «Обследование и испытание сооружений», для студентов специалитета всех форм обучения, направления подготовки 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений / М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т., кафедра Испытания сооружений; сост.: Ю.С. Кунин, И.А. Горбунов, А.Н. Шувалов, Л.Х. Сафина, А.В. Ивличев, В.А. Ермаков, П.Ю. Шульгин, Л.З. Зейд Килани. — Электрон. дан. и прогр. (2 Мб). — Москва : НИУ МГСУ, 2022. — Учебное сетевое электронное издание — Режим доступа: http://lib.mgsu.ru/Scripts/irbis64r_91/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=IBIS&P21DBN=IBIS — Загл. с титул. экрана.

Настоящий журнал лабораторных работ является дополнением к методическим указаниям, разработанным кафедрой Испытания сооружений Московского Государственного Строительного Университета.

Журнал содержит общие требования к составлению и оформлению отчетов по результатам выполненных лабораторных работ. В журнале в краткой форме студент излагает суть работы с использованием эскизов, диаграмм, схем и формул. В таблицы, формы которых представлены в журнале, записываются показания измерительных приборов и результаты вычислений

Для студентов специалитета всех форм обучения, направления подготовки 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений.

Учебное сетевое электронное издание

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

«Определение прочностных характеристик бетона и кирпича разрушающими методами»

Цель работы _____

1. Определение прочности бетона на сжатие по контрольным образцам

Прочность бетона на сжатие определяются при испытании в прессе образцов, изготовленных и выдержанных в соответствии с ГОСТ 10180-2012.

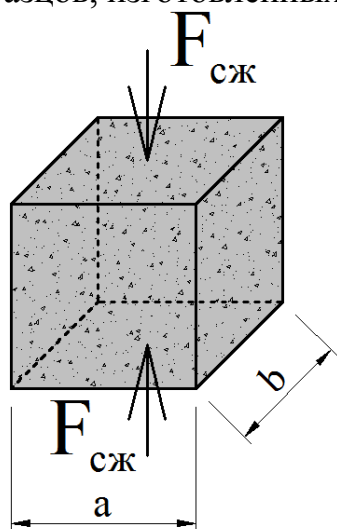


Рисунок 1.1 – Схема испытания бетона на сжатие

Прочность бетона на сжатие R , МПа, вычисляют с точностью до 0,1 МПа по формуле:

$$R = \alpha \frac{F_{сж}}{A} K_W$$

где α – масштабный коэффициенты для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базовых размера и формы, принимается по таблице 4 ГОСТ 10180-2012;

$F_{сж}$ – разрушающая нагрузка, Н;

A – площадь рабочего сечения образца, мм²;

$$A = a \cdot b$$

a, b – размеры поперечного сечения образца, мм

K_W – поправочный коэффициент, для ячеистого бетона принимается по таблице 5 ГОСТ 10180-2012, для других видов бетона равен $K_W = 1$.

Таблица 1.1 – Результаты испытаний образцов бетона на сжатие.

№ опыта	Размеры образца, мм		Площадь, A , мм ²	Разрушающая нагрузка $F_{сж}$, Н	Масштабный коэффициент α	Прочность бетона на сжатие, R_i , МПа
	a	b				
1						
2						
3						
4						
5						

Фактический класс бетона определяют по полученным результатам статистических расчётов с использованием формул:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} = \underline{\hspace{2cm}}; \text{ – среднее значение прочности бетона, МПа;}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R} - R_i)^2}{n-1}} = \underline{\hspace{2cm}}; \text{ – среднеквадратическое отклонение, МПа;}$$

$$v = \frac{S}{\bar{R}} = \underline{\hspace{2cm}}; \text{ – коэффициент вариации прочности бетона;}$$

$$B^* = \bar{R} \cdot (1 - 1,64 v) = \underline{\hspace{2cm}}; \text{ – фактическая величина, соответствующая классу бетона по прочности на сжатие, МПа.}$$

B – класс бетона по СП 52-101-2003

R_b – расчётное сопротивление бетона по СП 52-101-2003, соответствующее классу бетона по прочности на сжатие B .

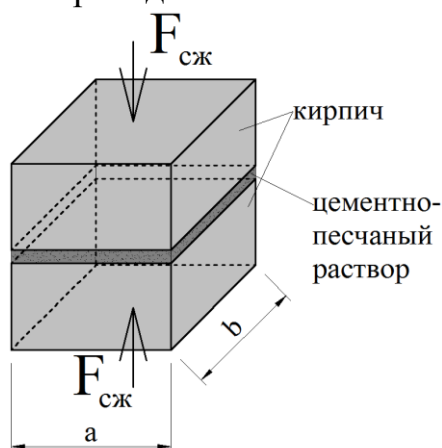
Таблица 1.2 – Статистическая обработка данных

№ опыта	Прочность R_i , МПа	$\bar{R} - R_i$, МПа	$(\bar{R} - R_i)^2$, МПа	S МПа	ν	B^* , МПа	B , МПа	R_b , МПа
1								
2								
3								
4								
5								

Выводы о прочности бетона:

2. Определение марки кирпича по прочности

Марку кирпича по прочности устанавливают по значениям пределов прочности при сжатии и при изгибе по ГОСТ 530-2012. Испытания на сжатие и изгиб проводят в соответствии ГОСТ 8462-85.



Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа, вычисляют с точностью до 0,1 МПа по формуле:

$$R_{сж} = \frac{F_{сж}}{A}$$

где $F_{сж}$ – разрушающая нагрузка, Н;
 A – площадь рабочего сечения образца, м²;

$$A = a \cdot b$$

Рисунок 1.2 – Схема испытания кирпича на сжатие

Таблица 1.3 – Результаты испытаний образцов кирпича на сжатие.

№ опыта	Размеры образца, мм		Площадь, A , мм ²	Разрушающая нагрузка $F_{сж}$ Н	Прочность кирпича на сжатие, $R_{сж,i}$, МПа	Среднее значение прочности кирпича на сжатие, $\bar{R}_{сж}$ МПа
	a	b				
1						
2						
3						
4						
5						

При испытании образцов на изгиб образец устанавливают на двух опорах прессы. Нагрузку прикладывают в середине пролета и равномерно распределяют по ширине образца согласно рисунку 1.3.

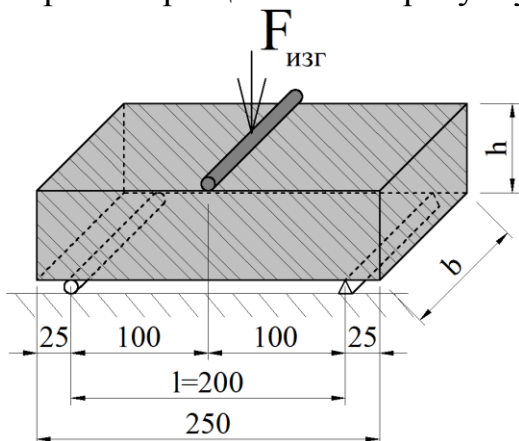


Рисунок 1.3 – Схема испытания кирпича на изгиб

Предел прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа, вычисляют с точностью до 0,1 МПа по формуле:

$$R_{изг} = \frac{3F_{изг} \cdot l}{2bh^2}$$

где $F_{изг}$ – разрушающая нагрузка, Н;
 l – расстояние между осями опор, м;
 b – ширина образца, м;
 h – высота образца в середине пролета без выравнивающего слоя, м;

Таблица 1.4 – Результаты испытаний образцов кирпича на изгиб.

№ опыта	Размеры образца, м		Расстояние между осями опор, l , м	Разрушающая нагрузка $F_{изг}$, Н	Прочность кирпича на изгиб, $R_{изг,i}$, МПа	Среднее значение прочности кирпича на сжатие, $\bar{R}_{изг}$ МПа
	b	h				
1						
2						
3						
4						
5						

Марку кирпича по прочности устанавливают по значениям пределов прочности при сжатии и при изгибе по таблице 7 ГОСТ 530-2012. Затем с учетом марки раствора по прочности (задается преподавателем), определяют расчетное сопротивление сжатию кладки из кирпича R .

Таблица 1.5 –

Результаты определения расчетного сопротивления сжатию кладки из кирпича.

Предел прочности при сжатии, $R_{сж}$ МПа		Предел прочности при изгибе, $R_{изг}$ МПа		Марка кирпича по прочности	Марка раствора по прочности	Расчетное сопротивление сжатию кладки, R , МПа
Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца			

Выводы: _____

Подпись студента _____

Подпись преподавателя _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

«Механические неразрушающие методы определения прочности бетона в конструкциях зданий и сооружений»

Цель работы: _____

1. Определение прочности и класса бетона методом отрыва со скалыванием

Метод испытания на отрыв со скалыванием связан с извлечением из тела бетона предварительно установленных анкеров. На рисунке 2.1 представлена принципиальная схема таких испытаний. С помощью домкратов из тела бетона конструкции извлекается анкер и фиксируется величина силы P , соответствующей моменту извлечения объема бетона. Прочность бетона в образце или конструкции определяется по градуировочной зависимости.

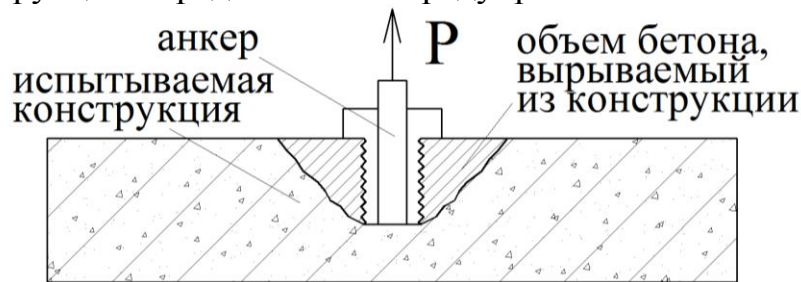


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема метода отрыва со скалыванием

При определении прочности бетона методом отрыва со скалыванием может быть использована градуировочная зависимость, приведенная в Приложении 5 ГОСТ 22690-88 или установленная по результатам неразрушающих (методом отрыв со скалыванием) и стандартных разрушающих испытаний контрольных кубов того же состава, что и бетон конструкции.

Аналитическое выражение градуировочной зависимости «усилие вырыва анкерного устройства – прочность бетона», приведенная в Приложении 5 ГОСТ 22690-88:

$$R = m_1 \cdot m_2 \cdot P, \text{ МПа}$$

где m_1 – коэффициент, учитывающий максимальный размер крупного заполнителя в зоне вырыва и принимаемый равным 1 при крупности менее 50 мм и 1,1 – при крупности 50 мм и более;

m_2 – коэффициент, служащий для перехода от усилия отрыва (кН) к прочности бетона (МПа), принимается по Таблице 9 ГОСТ 22690-2015;

P – усилие отрыва (кН).

Фактический класс бетона определяют по полученным результатам статистических расчетов с учетом формул:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} = \text{_____}; \text{ – среднее значение прочности бетона, МПа;}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R} - R_i)^2}{n-1}} = \text{_____}; \text{ – среднеквадратическое отклонение, МПа;}$$

Выполняется "отбраковка" аномальных результатов измерений:

$$T_i = \frac{[R_i - \bar{R}]^{MAX}}{S} = \text{_____};$$

где T_i – критерий "отбраковки" -го результата испытаний. Результат не учитывается при расчёте, если $T_i > T_k$ (где T_k – контрольная величина, определяемая по таблице 2.1).

Таблица 2.1 – Значения контрольной величины

Количество результатов испытаний	3	4	5	6	7	8
T_k	1.74	1.94	2.08	2.18	2.27	2.33

$v = \frac{S}{\bar{R}} =$ _____; – коэффициент вариации прочности бетона;

$B^* = \bar{R} \cdot (1 - 1,64 v) =$ _____; – фактическая величина, соответствующая классу бетона по прочности на сжатие B , МПа.

B – класс бетона по СП 52-101-2003

R_b – расчётное сопротивление бетона по СП 52-101-2003

Таблица 2.2 – Результаты испытаний и обработка данных

№ опыта	Усилие вырыва, P , кН	Прочность R_i , МПа	$\bar{R} - R_i$, МПа	$(\bar{R} - R_i)^2$, МПа	S , МПа	v	B^* , МПа	B , МПа	R_b , МПа
1									
2									
3									
4									
5									

Вывод о прочности бетона:

2.Определение прочности и класса бетона методом упругого отскока

Метод упругого отскока заключается в измерении величины обратного отскока ударника после соударения его с поверхностью бетона. Прочность бетона в образце или конструкции определяется по градуировочной зависимости. Градуировочная зависимость устанавливается по результатам неразрушающих (методом упругого отскока) и стандартных разрушающих испытаний контрольных кубов того же состава, что и бетон конструкции

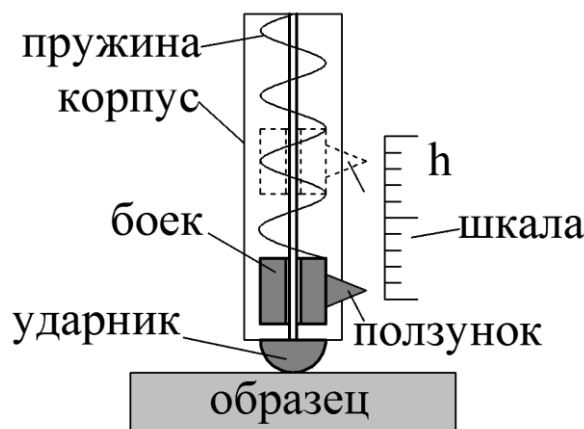


Рисунок 2.2 – Принципиальная схема метода упругого отскока

Аналитическое выражение градуировочной зависимости «величина отскока – прочность бетона»

$$R = a_1 + b_1 \cdot h, \text{ МПа}$$

где h – величина отскока, полученная по прибору;

$a_1 = 6,0$, $b_1 = 0,4$ – коэффициенты градуировочной характеристики.

Фактический класс бетона определяют по полученным результатам статистических расчётов с учётом формул:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} = \underline{\hspace{10em}}; \quad S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R} - R_i)^2}{n-1}} = \underline{\hspace{10em}};$$

Выполняется "отбраковка" аномальных результатов измерений:

$$T_i = \frac{[R_i - \bar{R}]^{MAX}}{S} = \underline{\hspace{10em}};$$

где T_i – критерий "отбраковки" i -го результата испытаний. Результат не учитывается при расчёте, если $T_i > T_k$ (где T_k – контрольная величина, определяемая по таблице 2.1)

$v = \frac{S}{\bar{R}} = \underline{\hspace{10em}}$; – коэффициент вариации прочности бетона;

$B^* = \bar{R} \cdot (1 - 1,64 v) = \underline{\hspace{10em}}$; – фактическая величина, соответствующая классу бетона по прочности на сжатие B , МПа.

B – класс бетона по СП 52-101-2003

R_b – расчётное сопротивление бетона по СП 52-101-2003

Таблица 2.3 – Результаты испытаний и обработка данных

№ опыта	Величина отскока, h , усл.ед	Прочность R_i , МПа	$\bar{R} - R_i$, МПа	$(\bar{R} - R_i)^2$, МПа	S МПа	v	B^* , МПа	B , МПа	R_b , МПа
1									
2									
3									
4									
5									

Вывод о прочности бетона:

3. Определение прочности и класса бетона ударно-импульсным методом

Метод ударного импульса заключается в регистрации энергии удара, возникающей в момент соударения бойка с поверхностью бетона. Прочность бетона в образце или конструкции определяется по градуировочной зависимости.

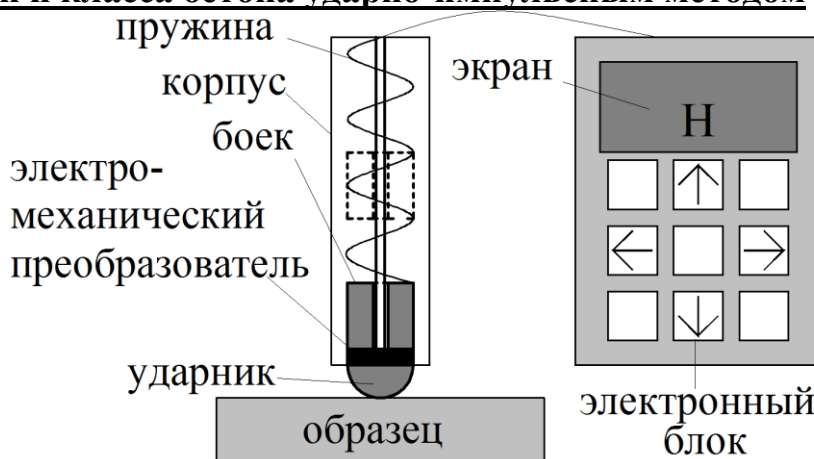


Рисунок 2.3 – Принципиальная схема ударно-импульсного метода

Градуировочная зависимость устанавливается по результатам ударно-импульсных неразрушающих и стандартных разрушающих испытаний контрольных кубов того же состава, что и бетон конструкции.

Аналитическое выражение градуировочной зависимости «условная характеристика – прочность бетона».

$$R = a_1 + b_1 \cdot H, \text{ МПа}$$

где H – условная характеристика, полученная по прибору;

$a_1 = -7,0$, $b_1 = 0,5$ – коэффициенты градуировочной характеристики.

Фактический класс бетона определяют по полученным результатам статистических расчётов с учётом формул:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} = \text{_____}; \text{ – среднее значение прочности бетона, МПа;}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R} - R_i)^2}{n-1}} = \text{_____}; \text{ – среднеквадратическое отклонение, МПа;}$$

Выполняется "отбраковка" аномальных результатов измерений:

$$T_i = \frac{[R_i - \bar{R}]^{MAX}}{S} = \text{_____};$$

где T_i – критерий "отбраковки" i -го результата испытаний. Результат не учитывается при расчёте, если $T_i > T_k$ (где T_k – контрольная величина, определяемая по таблице 2.1)

$$v = \frac{S}{\bar{R}} = \text{_____}; \text{ – коэффициент вариации прочности бетона;}$$

$$B^* = \bar{R} \cdot (1 - 1,64 v) = \text{_____}; \text{ – фактическая величина, соответствующая классу бетона по прочности на сжатие } B, \text{ МПа.}$$

B – класс бетона по СП 52-101-2003

R_b – расчётное сопротивление бетона по СП 52-101-2003

Таблица 2.4 – Результаты испытаний и обработка данных

№ опыта	Условная хар-ка, H , усл.ед	Прочность R_i , МПа	$\bar{R} - R_i$, МПа	$(\bar{R} - R_i)^2$, МПа	S МПа	v	B^* , МПа	B , МПа	R_b , МПа
1									
2									
3									
4									
5									
Вывод о прочности бетона:									

Выводы: _____

Подпись студента _____ Подпись преподавателя _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

«Механические неразрушающие методы определения прочностных характеристик стали в конструкциях зданий и сооружений»

1. Определение прочностных характеристик металла по методу Польди

По методу Польди (двойного отпечатка шарика) оценивается твердость материала образца на основании сравнения размеров отпечатков, которые остались на поверхности материала образца и на поверхности эталонного стержня, после соударения с ними стального шарика, при известной твердости эталонного стержня.

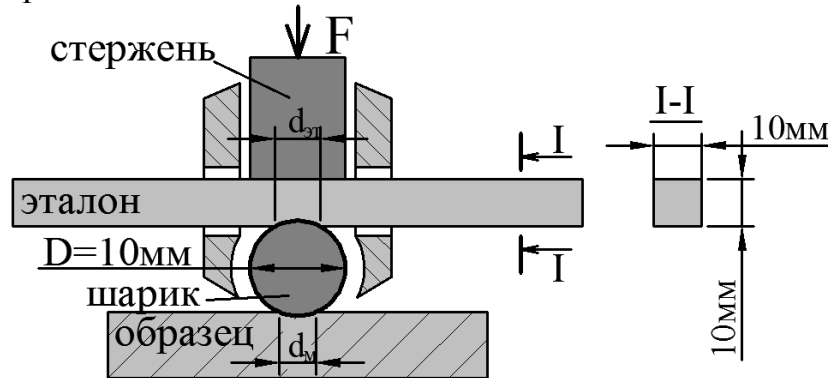


Рисунок 3.1 – Принципиальная схема определения твёрдости металла с помощью прибора Польди

Обработку полученных результатов проводят по следующим формулам:

$$HB_i = HB^{эТ} \frac{D - \sqrt{D^2 - d_{эТ}^2}}{D - \sqrt{D^2 - d_м^2}}, \text{ МПа}$$

где HB_i – твердость металла конструкции на i -том участке испытаний;

$HB^{эТ} = 1720 \text{ МПа}$ – твердость эталонного стержня;

$D = 10 \text{ мм}$ – диаметр шарика;

$d_{эТ}$ – диаметр отпечатка шарика на эталонном стержне;

$d_м$ – диаметр отпечатка шарика на металле конструкции.

Временное сопротивление металла конструкции определяется по формуле:

$$\sigma_{B,i} = k \cdot HB_i, \text{ МПа}$$

где $k = 0,35$ – коэффициент для малоуглеродистых сталей.

Среднее значение временного сопротивления металла конструкции

$$\bar{\sigma}_B = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{B,i}}{n}, \text{ МПа}$$

Таблица 3.1 – Результаты испытаний и обработка данных определения прочностных характеристик металла молотком Польди

№ удара	Диаметры отпечатков		Твёрдость HB_i , МПа	$\sigma_{B,i}$, МПа	$\bar{\sigma}_B$, МПа
	на металле d_M , мм	на эталоне $d_{ЭТ}$, мм			
1					
2					
3					
4					
5					
Вывод:					

Статистическую обработку выполняют с учётом формул:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{\sigma}_B - \sigma_{B,i})^2}{n-1}} = \text{_____}; \text{ – среднеквадратическое отклонение, МПа};$$

$$v = \frac{S}{\bar{\sigma}_B} = \text{_____}; \text{ – коэффициент вариации.}$$

Таблица 3.2 – Результаты статистической обработка данных определения прочностных характеристик металла с помощью молотком Польди

№ удара	$\sigma_{B,i}$, МПа	$\bar{\sigma}_B$, МПа	$\bar{\sigma}_B - \sigma_{B,i}$, МПа	$(\bar{\sigma}_B - \sigma_{B,i})^2$, МПа	S , МПа	v
1						
2						
3						
4						
5						
				$\Sigma =$		

2. Определение прочностных характеристик металла динамическим твердомером

В динамических твердомерах определяется значение твердости по Либу (HL). В ходе проведения испытания ударник с наконечником из твердого сплава приводится в действие пружиной, ударяется о поверхность и отскакивает. Магнит, встроенный в тело ударника, проходит через катушку и в процессе своего поступательного и возвратного движения создает электрический ток. Величины возникающих при этом токов пропорциональны скоростям удара и отскока. Результаты обрабатываются и представляются на дисплее в виде значения твердости. Твердость определяется как отношение величины скорости отскока ударника к величине скорости удара, умноженным на 1000.

$$HL = 1000 \frac{V_B}{V_A}$$

где V_A – скорость удара ударника;

V_B – скорость отскока ударника.

Временное сопротивление металла определяется как функция от твердости:

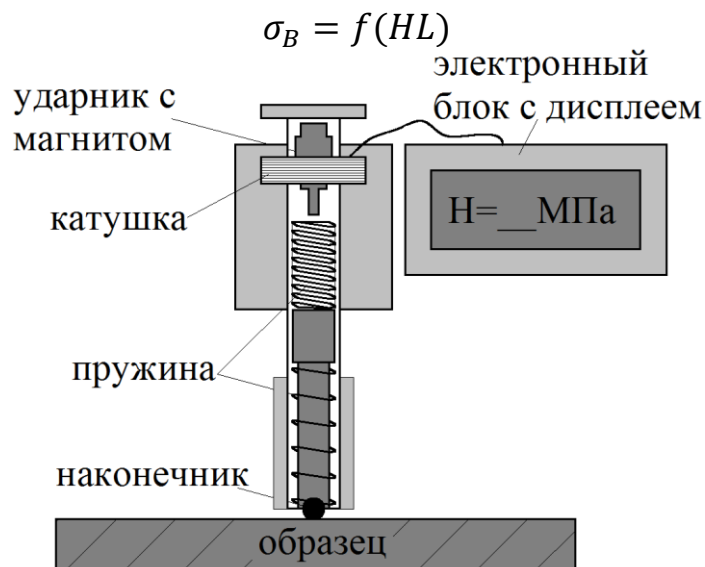


Рисунок 3.2 – Принципиальная схема определения твёрдости металла динамическим твердомером

Таблица 3.3 – Результаты испытаний и статистическая обработка данных определения прочностных характеристик металла динамическим твердомером

№ опыта	$\sigma_{B,i}$, МПа	$\bar{\sigma}_B$, МПа	$\bar{\sigma}_B - \sigma_{B,i}$, МПа	$(\bar{\sigma}_B - \sigma_{B,i})^2$, МПа	S , МПа	ν
1						
2						
3						
4						
5						
				$\Sigma =$		

Выводы: _____

Подпись студента _____ Подпись преподавателя _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

«Установление градуировочной зависимости «косвенная характеристика-прочность бетона» на примере ультразвукового метода»

Цель работы: _____

1. Установление градуировочной зависимости

Установление градуировочной зависимости осуществляется в соответствии с ГОСТ 17624-2012 по уравнению вида:

$$R = aV + b,$$

где R – прочность бетона на сжатие, МПа;

V – скорость ультразвука, м/с;

Коэффициенты a и b вычисляются по формулам:

$$b = \bar{R}_\phi - a\bar{V};$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (R_{\phi i} - \bar{R}_\phi)(V_i - \bar{V})}{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2};$$

где n – число образцов;

$R_{\phi i}$, МПа – прочность бетона i -го образца, определенная при испытании;

\bar{R}_ϕ , МПа – среднее значение прочности бетона;

V_i , м/с – скорость ультразвука на i -м образце;

\bar{V} , м/с – среднее значение скорости ультразвука;

Таблица 4.1 – Определение параметров градуировочной зависимости

№ образца	t, мкс	t _{ср} , мкс	b, м	V _i м/с	V̄ м/с	V _i - V̄ м/с	(V _i - V̄) ²	Прочность бетона, R _{φi} , МПа	R̄ _φ МПа	R _{φi} - R̄ _φ	(V _i - V̄) × (R _{φi} - R̄ _φ)
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											

$$\sum_{i=1}^n R_{\phi i} = \text{_____ МПа}; \quad \bar{R}_\phi = \frac{\sum_{i=1}^n R_{\phi i}}{n} = \text{_____ МПа};$$

$$\sum_{i=1}^n V_i = \text{_____ м/с}; \quad \bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} = \text{_____ м/с};$$

$$\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2 = \underline{\hspace{2cm}}; \quad \sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V}) \times (R_{\phi i} - \bar{R}_{\phi}) = \underline{\hspace{2cm}};$$

$$\text{Значение коэффициента } a = \frac{\sum_{i=1}^n (R_{\phi i} - \bar{R}_{\phi})(V_i - \bar{V})}{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2} = \underline{\hspace{2cm}};$$

$$\text{Значение коэффициента } b = \bar{R}_{\phi} - a\bar{V} = \underline{\hspace{2cm}};$$

Таким образом, аналитическое выражение градуировочной зависимости:

$$R = aV + b = \underline{\hspace{2cm}}$$

2. Отбраковка результатов испытаний и определение параметров градуировочной зависимости

После построения градуировочной зависимости проводят ее корректировку путем отбраковки единичных результатов испытания.

Таблица 4.2 – Корректировка параметров градуировочной зависимости

№ образца	Скорость ультразвука, V_i м/с	Прочность бетона по результатам испытаний, $R_{\phi i}$, МПа	Прочность бетона по град. зависимости, $R_{\text{н}i}$, МПа	$R_{\phi i} - R_{\text{н}i}$ МПа	$(R_{\phi i} - R_{\text{н}i})^2$ МПа	S МПа	$\frac{R_{\phi i} - R_{\text{н}i}}{S}$
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

$$\sum_{i=1}^n (R_{\phi i} - R_{\text{н}i})^2 = \underline{\hspace{2cm}};$$

Значения не удовлетворяющие условию $\frac{|R_{\phi i} - R_{\text{н}i}|}{S} < 2$ – отбраковывают.

где S – остаточное среднеквадратическое отклонение, определенное по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_{\phi i} - R_{\text{н}i})^2}{n-2}} = \underline{\hspace{2cm}}; \quad \frac{S}{\bar{R}_{\phi}} = \underline{\hspace{2cm}};$$

Определяют коэффициент корреляции градуировочной зависимости по формуле:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(R_{\text{н}i} - \bar{R}_{\text{н}}) \times (R_{\phi i} - \bar{R}_{\phi})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (R_{\text{н}i} - \bar{R}_{\text{н}})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (R_{\phi i} - \bar{R}_{\phi})^2}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Таблица 4.3 – Определение условий применения градуировочной зависимости

№ образца	$R_{\text{н}i}$, МПа	$\bar{R}_{\text{н}}$, МПа	$R_{\text{н}i} - \bar{R}_{\text{н}}$ МПа	$(R_{\text{н}i} - \bar{R}_{\text{н}})^2$ МПа	$R_{\phi i} - \bar{R}_{\phi}$ МПа	$(R_{\phi i} - \bar{R}_{\phi})^2$ МПа	$(R_{\text{н}i} - \bar{R}_{\text{н}}) \times (R_{\phi i} - \bar{R}_{\phi})$
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

$$\sum_{i=1}^n R_{Hi} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ МПа} \quad \bar{R}_H = \frac{\sum_{i=1}^n R_{Hi}}{n} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ МПа}$$

$$\sum_{i=1}^n [(R_{Hi} - \bar{R}_H) \times (R_{\Phi i} - \bar{R}_\Phi)] = \underline{\hspace{2cm}};$$

$$\sum_{i=1}^n (R_{Hi} - \bar{R}_H)^2 = \underline{\hspace{2cm}}; \quad \sum_{i=1}^n (R_{\Phi i} - \bar{R}_\Phi)^2 = \underline{\hspace{2cm}};$$

3. Условия применения градуировочной зависимости

Применение градуировочной зависимости для определения прочности бетона допускается только для значений скорости ультразвука, попадающего в диапазон от $V_{min} = \underline{\hspace{1cm}}$ м/с до $V_{max} = \underline{\hspace{1cm}}$ м/с.

Если коэффициент корреляции $r < 0,7$, то контроль и оценка прочности по полученной градуировочной зависимости не допускается.

$r = \underline{\hspace{1cm}}$ 0,7 – условие (выполняется) (не выполняется).

Если коэффициент вариации $\frac{S}{R_\Phi} > 0,15$, то контроль и оценка прочности по полученной градуировочной зависимости не допускается.

$\frac{S}{R_\Phi} = \underline{\hspace{1cm}}$ 0,15 – условие (выполняется) (не выполняется).

4. Построение графика градуировочной зависимости

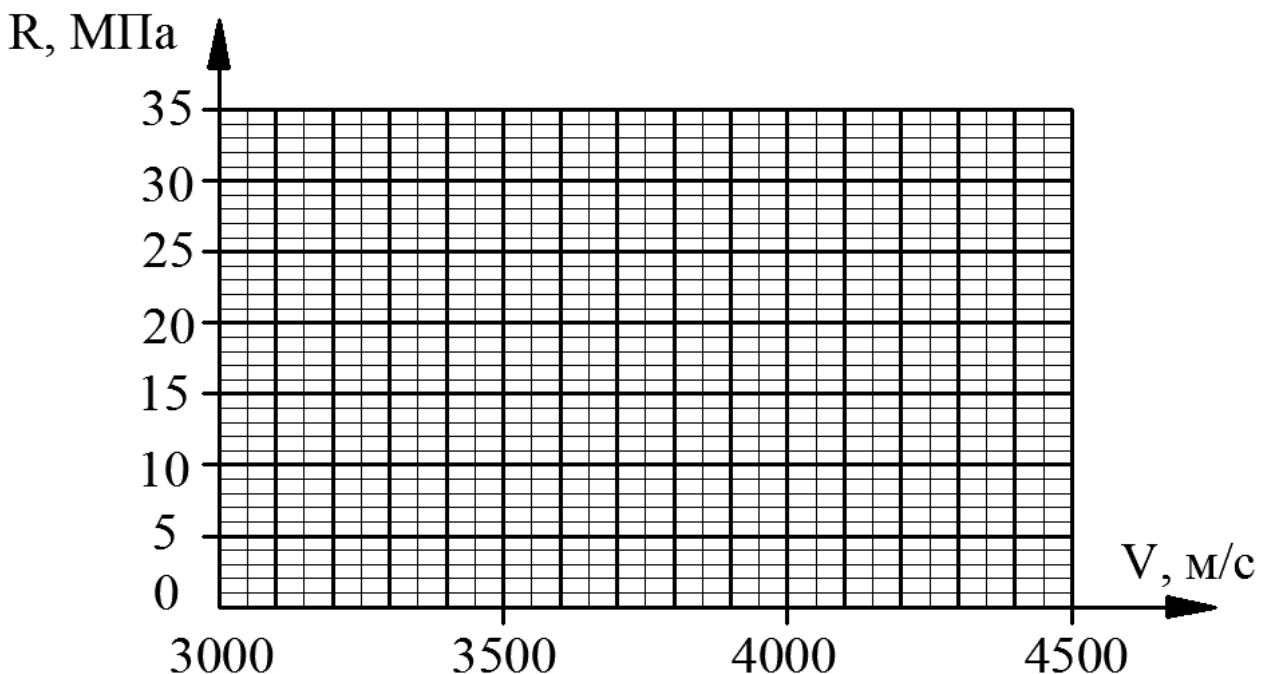


Рисунок 4.1 – Градуировочная зависимость «скорость УЗК – прочность бетона»

Выводы: _____

Подпись студента _____ Подпись преподавателя _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

«Ультразвуковой импульсный метод исследования свойств строительных материалов в образцах, конструкциях и сооружениях»

Цель работы: _____

1. Определение динамического модуля упругости материалов

$$E_{\text{дин}} = V^2 \cdot \rho \cdot \frac{1}{k}, \text{ МПа}$$

где V – скорость ультразвукового импульса, м/с;

ρ – плотность материала, $\text{Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$;

k – коэффициент формы образца.

Таблица 5.1 – Ведомость испытаний свойств материалов

№ п/п	Наименование материала	База L , м	Время t , 10^{-6} с	Скорость V , м/с	Плотность ρ , $\text{Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$	$E_{\text{дин}}$, МПа
1	Бетон				$2,37 \cdot 10^3$	
2	Кирпич (глин)				$1,76 \cdot 10^3$	
3	Кирпич (сил)				$1,85 \cdot 10^3$	
4	Гипс				$1,20 \cdot 10^3$	
5	Графит				$1,93 \cdot 10^3$	

2. Определение прочности и класса бетона

Прочность бетона в образце или конструкции определяется по ранее установленной градуировочной зависимости по измеренной скорости ультразвука (рисунок 5.1).

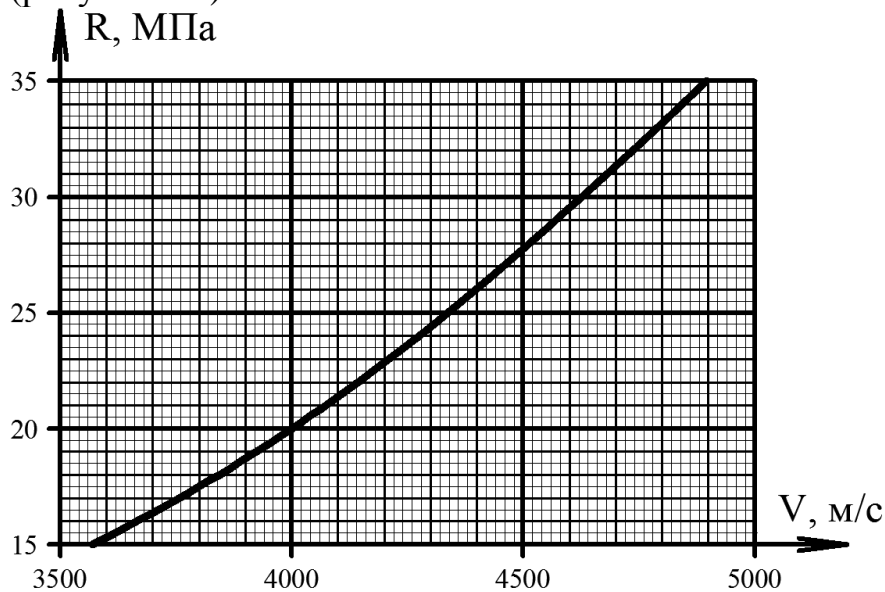


Рисунок 5.1 – Градуировочная зависимость
“скорость УЗК – прочность бетона”

Примечание: Градуировочная зависимость получена ранее по результатам ультразвуковых неразрушающих и стандартных разрушающих испытаний контрольных кубов того же состава, что и бетон конструкции.

Фактический класс бетона определяют по полученным результатам статистических расчётов с использованием формул:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} = \text{_____}; \text{-- среднее значение прочности бетона, МПа};$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R} - R_i)^2}{n-1}} = \text{_____}; \text{-- среднеквадратическое отклонение, МПа};$$

$$v = \frac{S}{\bar{R}} = \text{_____}; \text{-- коэффициент вариации прочности бетона};$$

$$B^* = \bar{R} \cdot (1 - 1,64 v) = \text{_____}; \text{-- фактическая величина, соответствующая классу бетона по прочности на сжатие } B, \text{ МПа.}$$

B – класс бетона по СП 52-101-2003

R_b – расчётное сопротивление бетона по СП 52-101-2003

Таблица 5.2 – Результаты испытаний и обработка данных

№ опыта	База $L, \text{ м}$	Время $t, 10^{-6} \text{ с}$	Скорость, $V, \text{ м/с}$	Прочность $R_i, \text{ МПа}$	$\bar{R} - R_i, \text{ МПа}$	$(\bar{R} - R_i)^2, \text{ МПа}$	$S, \text{ МПа}$	v	$B^*, \text{ МПа}$	$B, \text{ МПа}$	$R_b, \text{ МПа}$
1											
2											
3											
4											
5											

Выводы о прочности бетона:

3. Определение наличия и места расположения дефектов в конструкции методом сквозного прозвучивания:

Содержание и порядок работы:

Последовательно прозвучивая конструкцию в каждом створе узлов сетки, получить значения скоростей ультразвука. Наличие дефекта определить, сравнивая значения полученных скоростей.

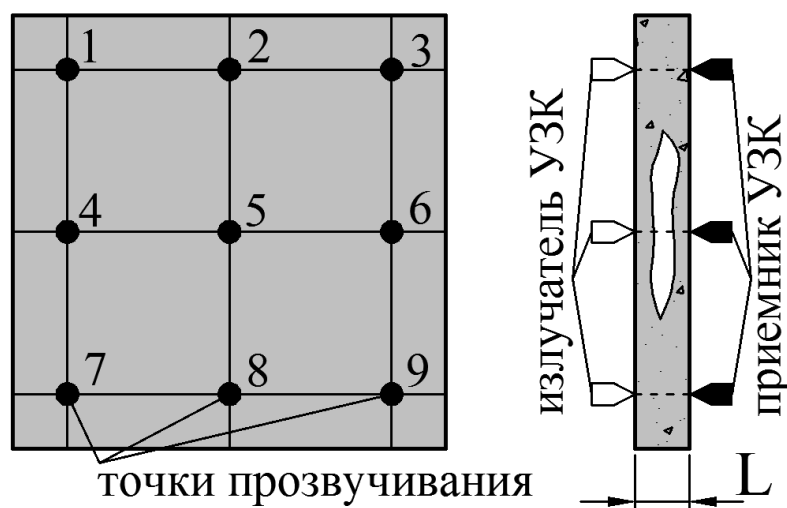


Рисунок 5.2 – Выявление дефектов при сквозном прозвучивании

Таблица 5.3 – Результаты испытаний и обработка данных

№ точки прозвучивания	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Время прохождения ультразвука t_i , мкс									
База прозвучивания L , м									
Скорость ультразвука V_i , м/с									
Выводы о наличии дефекта и месте его расположения									

4. Определение наличия и места расположения дефектов в конструкции методом поверхностного прозвучивания (продольного профилирования)

Порядок работы: последовательно измерить время распространения УЗК при линейном удалении приёмника от излучателя с постоянным шагом; заполнить таблицу, построить и проанализировать график (рисунок 5.3) изменения времени прохождения УЗК от базы прозвучивания.

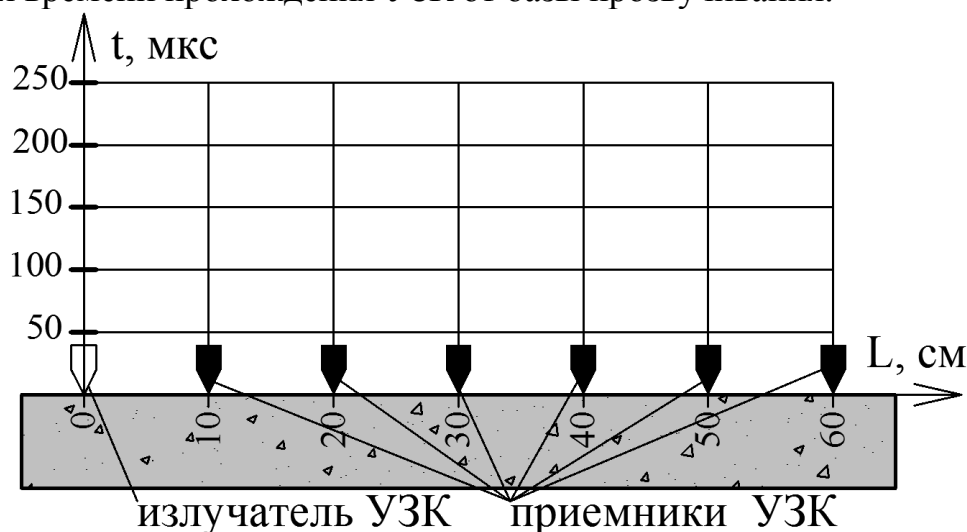


Рисунок 5.3 – Метод продольного профилирования: сверху – график скорости ультразвука; внизу – схема расстановки ультразвуковых излучателя и приёмника колебаний

Таблица 5.4 – Результаты испытаний и обработка данных

№ точки прозвучивания	1	2	3	4	5	6
База прозвучивания L , см	10	20	30	40	50	60
Время прохождения ультразвука t , мкс						
Выводы о наличии дефекта и месте его расположения						

Выводы: _____

Подпись студента _____

Подпись преподавателя _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

«Определение геометрических параметров и дефектоскопия бетонных и железобетонных конструкций с помощью ультразвукового томографа»

Цель работы _____

Ультразвуковой томограф MIRA A1040 предназначен для определения размеров конструкций из бетона, железобетона и камня, и их дефектоскопии при одностороннем доступе к ним. Чувствительными элементами томографа MIRA A1040 служат 48 (4 ряда по 12) ультразвуковых датчиков.

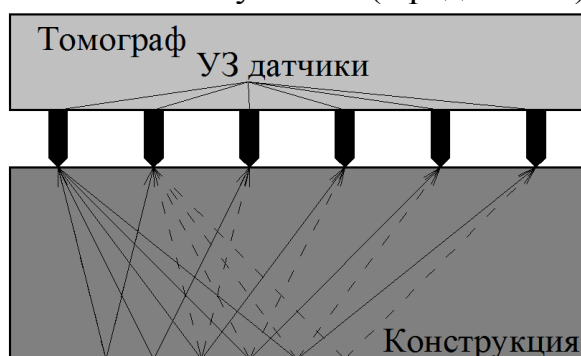


Рисунок 6.1 – Принципиальная схема работы ультразвукового томографа

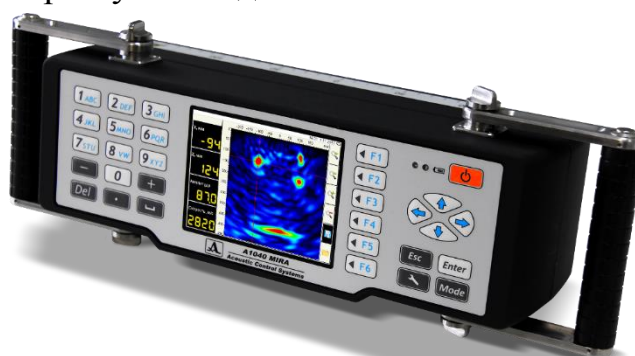


Рисунок 6.2 – Общий вид томографа MIRA A1040

1. Настройка параметров томографа

Перед проведением измерений, в зависимости от свойств материала, устанавливают рабочую частоту колебаний. Также определяют скорость ультразвуковых поперечных волн в данной конструкции на участке без дефектов. Затем проводится калибровка прибора по дефекту с известными параметрами. Яркостное усиление подбирается так чтобы размеры неоднородности на экране и её реальные размеры были сопоставимы:

Таблица 6.1 – Основные параметры настройки

Рабочая частота, кГц	Скорость УЗК, м/с	Диаметр дефекта, мм	Яркостное усиление, дБ

2. Исследование объекта и обработка данных полученных при помощи томографа

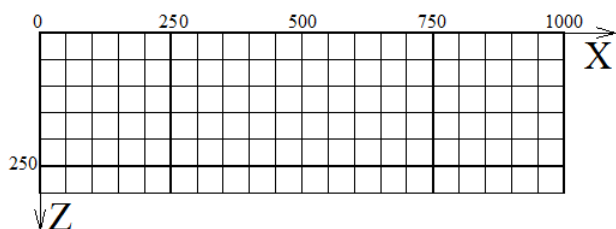
Исследование объекта производится в режиме «Карта». Исследуемый объект размечается на линии с постоянным шагом и производятся последовательные измерения по всей конструкции. Далее в программе происходит считывание данных из прибора и представление их в виде томограмм, и в 3-х мерном объемном виде. По томограммам можно определить толщину конструкции (донный сигнал), а также размеры и местоположение дефектов и других инородных включений, в том числе арматуры.

Таблица 6.2 – Оценка погрешности измерений

Толщина конструкции, измеренная с помощью томографа, м	Фактическая толщина конструкции, м	Погрешность измерения, %

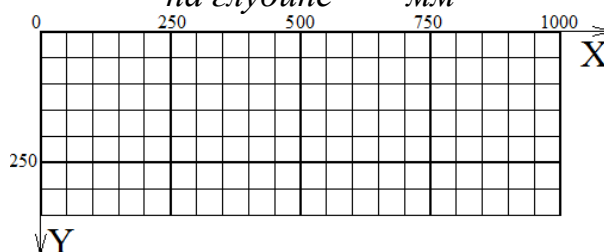
Томограмма конструкции (С-тип)
на глубине _____ мм

Томограмма конструкции (В-тип)



Вид сбоку

Томограмма конструкции (С-тип)
на глубине _____ мм



Вид сверху

Рисунок 6.3 – Схема конструкции с указанием выявленных объектов

Таблица 6.3 – Результаты измерений

№ п/п	Геометрические параметры и местоположение выявленных объектов, измеренные с помощью томографа						Фактические геометрические параметры и местоположение объектов							
	Диаметр, см	Координаты точки в осях, см						Диаметр, см	Координаты точки в осях, см					
		Начальной			Конечной				Начальной			Конечной		
		X	Y	Z	X	Y	Z		X	Y	Z	X	Y	Z
1														
2														
3														
4														

Выводы: _____

Подпись студента _____ Подпись преподавателя _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

«Освидетельствование элементов сооружения на примере железобетонной балки»

Цель работы: _____

1. Определение геометрических характеристик балки

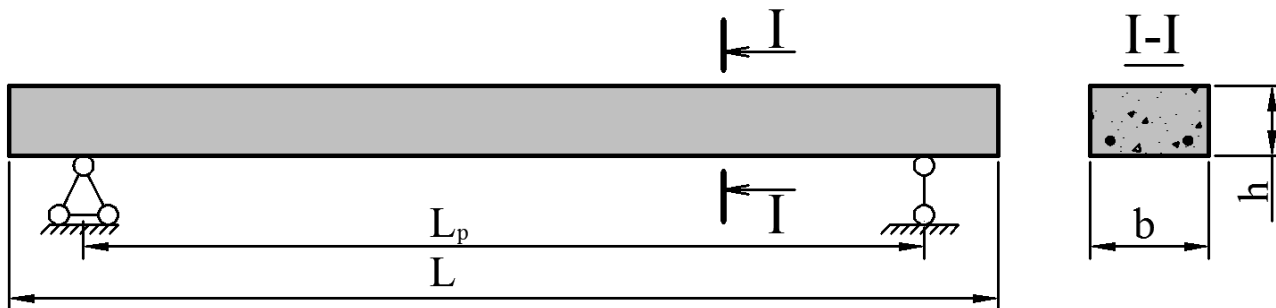


Рисунок 7.1 – Схема обследуемой балки с указанием геометрических размеров

Таблица 7.1 – Геометрические характеристики балки

Размеры балки, м	L	L _p	b	h

2. Определение прочности бетона в опасном сечении

Определение прочности бетона конструкции проводят согласно ГОСТ 18105-2010 и ГОСТ 17624-2012, с помощью ультразвукового прибора, способом сквозного прозвучивания. Определение класса бетона проводят по формулам:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} = \underline{\hspace{2cm}}; \quad S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R} - R_i)^2}{n-1}} = \underline{\hspace{2cm}};$$

$$v = \frac{S}{\bar{R}} = \underline{\hspace{2cm}}; \quad B^* = \bar{R} \cdot (1 - 1,64 v) = \underline{\hspace{2cm}};$$

B – класс бетона по СП 52-101-2003

R_b – расчётное сопротивление бетона по СП 52-101-2003

Таблица 7.2 – Результаты испытаний и обработка данных

№ опыта	База b, м	Время t, 10 ⁻⁶ с	Скорость, V, м/с	Прочность R _i , МПа	$\bar{R} - R_i$, МПа	$(\bar{R} - R_i)^2$, МПа	S МПа	v	B*, МПа	B, МПа	R _b , МПа
1											
2											
3											
4											
5											
6											

3. Определение характеристик армирования железобетонной балки

Фактические характеристики армирования определяют с помощью электромагнитного прибора согласно ГОСТ 22904-78. Для определения величины защитного слоя бетона $h_{зс}$ и диаметра арматуры d регистрируются показания прибора при расположении датчика над арматурным стержнем без пластины под зондом (h_1) и с пластиной толщиной Δ (h_2) на всех диапазонах измерения прибора. Результаты фиксируются в таблице 7.3.

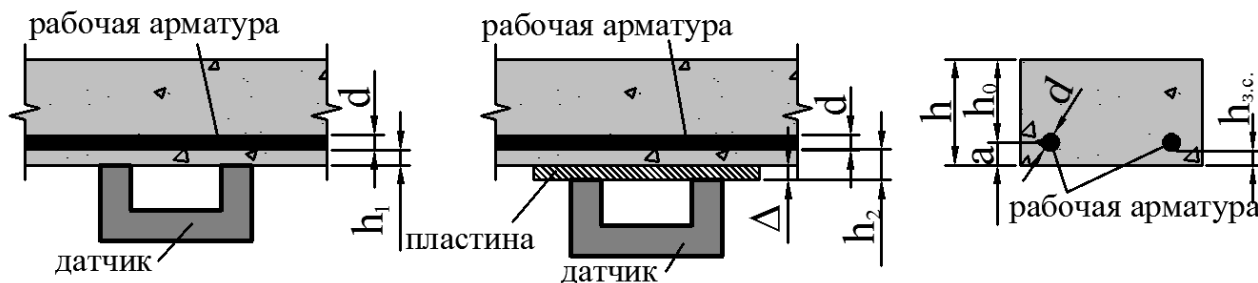


Рисунок 7.2 – Схема определения диаметра арматуры и величины защитного слоя бетона железобетонной балки

Таблица 7.3 – Результаты испытаний и обработка данных

Диапазон измерений, мм	h_1 , мм	h_2 , мм	(h_2-h_1) мм	Выводы:
6				$n =$ _____ ШТ.;
8				$\Delta =$ _____ мм;
10				$d =$ _____ мм;
12				$h_{зс} =$ _____ мм;
14				$a = h_{зс} + \frac{d}{2} =$ _____ мм;
16				$h_0 = h - a =$ _____ мм;
				$A_S =$ _____ мм ² ;
				$R_S =$ _____ МПа.

Примечание: Класс рабочей арматуры определяется после вскрытия бетона или по результатам исследования методами проникающих излучений по типу периодического профиля.

4. Определение наличия дефектов

Видимые дефекты и повреждения выявляются в ходе визуального осмотра. Результаты заносятся в дефектную ведомость (таблица 7.4) и показываются на схеме балки.

Таблица 7.4 – Ведомость дефектов

№ п/п	Описание дефекта	Место расположения дефекта
1		
2		
3		
4		



Рисунок 7.3 – Схема балки с указанием дефектов и повреждений

5. Расчётная схема конструкции

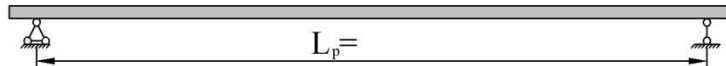


Рисунок 7.4 – Расчётная схема балки с указанием действующих нагрузок

Примечание: Вид и величина нагрузки задаётся преподавателем

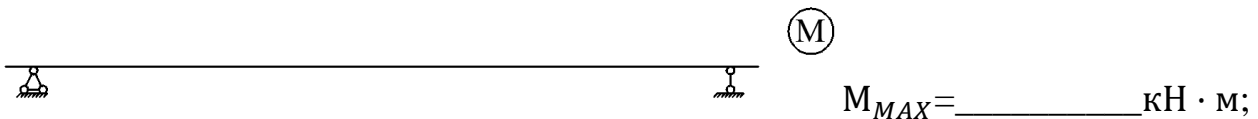
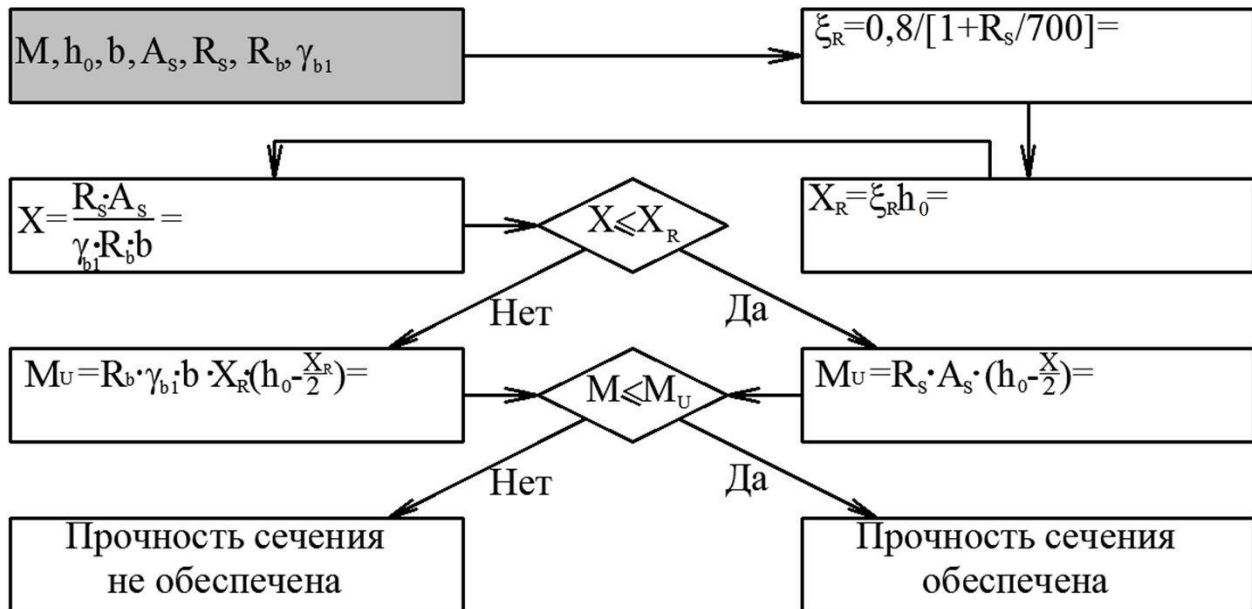


Рисунок 7.5 – Эюра изгибающих моментов

6. Проверка прочности нормальных сечений

Расчёт прочности балки проводится с помощью блок-схемы.



Примечание: M – изгибающий момент в опасном сечении от внешней нагрузки

M_U – максимальный момент в опасном сечении, который по расчёту может выдержать балка

γ_{b1} – коэффициент условий работы бетона, $\gamma_{b1} = 0,9$

Выводы в соответствии с ГОСТ 31937-2011: _____

Подпись студента _____ Подпись преподавателя _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

«Определение усилия натяжения арматурных стержней при изготовлении предварительно напряженных железобетонных конструкций»

Цель работы: _____

1. Определение усилий натяжения арматуры методом поперечной оттяжки

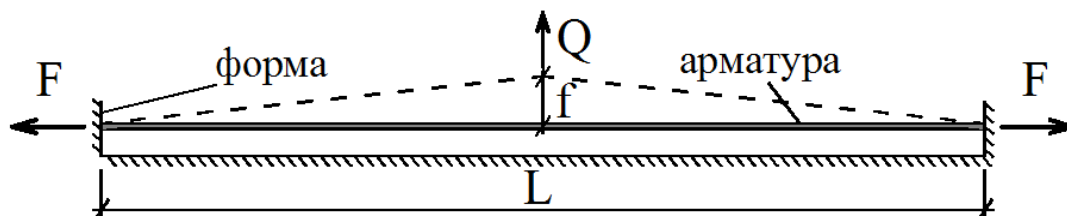


Рисунок 8.1 – Схема измерения усилий натяжения арматуры методом поперечной оттяжки

$$F = \frac{Q \cdot L}{4 \cdot f} - \text{усилие натяжения арматуры};$$

где Q – поперечная сила на стержень, создаваемая пружиной динамометра, определяется по градуировочной зависимости по величине сжатия силоизмерительной пружины.

Аналитическое выражение градуировочной зависимости «осадка силоизмерительной пружины – усилие пружины динамометра» для механического динамометра ПРД-4:

$$Q = 866,55 \cdot \Delta y - 11,44, \text{ Н}$$

где Δy – величина сжатия силоизмерительной пружины, см;

$L = \underline{\hspace{2cm}}$ м – длина арматурного стержня;

$f = B - \Delta y$ – действительный прогиб стержня;

$B = n \cdot h$ – перемещение цилиндра;

$h = 0,175$ см – шаг винта;

n – число оборотов маховика;

Таблица 8.1 – Результаты испытаний и обработка данных

№ п/п	Отчет по индикатору		Сжатие силоизм. пружины Δy , см	Усилие пружины Q , Н	Число оборотов маховика n	Перемещение цилиндра B , см	Прогиб стержня f , см	Усилия натяжения арматуры F , Н	Среднее значение усилия натяжения арматуры \bar{F} , Н
	Начальный, Y_n	Конечный, Y_k							
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									

2. Определение усилий натяжения арматуры по частоте собственных поперечных колебаний

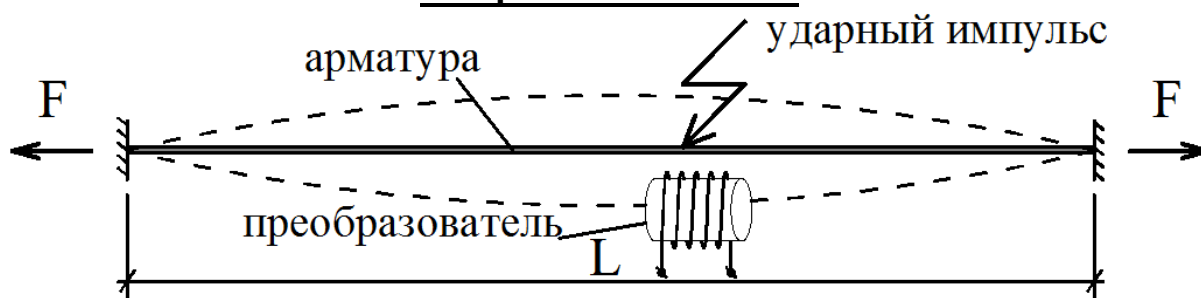


Рисунок 8.2 – Схема измерения усилия натяжения арматуры по частоте собственных колебаний

$F = 4 \cdot f_0^2 \cdot m \cdot L^2$ – усилие натяжения арматуры;

где f_0 – частота собственных поперечных колебаний арматуры;

m – погонная масса стержня;

L – длина арматурного стержня;

$F = \sigma \cdot A_S$ – усилие натяжения арматуры;

где σ – механические напряжения в арматуре;

$A_S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \underline{\hspace{2cm}}$ – площадь арматурного стержня, мм²;

$d = \underline{\hspace{2cm}}$ – диаметр арматурного стержня, мм;

Таблица 8.2 – Результаты испытаний и обработка данных

№ п/п	σ, МПа	Усилие натяжения арматуры F, Н	Среднее значение усилия натяжения арматуры \bar{F} , Н
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Выводы: _____

Подпись студента _____ Подпись преподавателя _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

«Определение коэффициента тензочувствительности тензорезисторов (градуировка тензорезисторов)»

Цель работы: _____

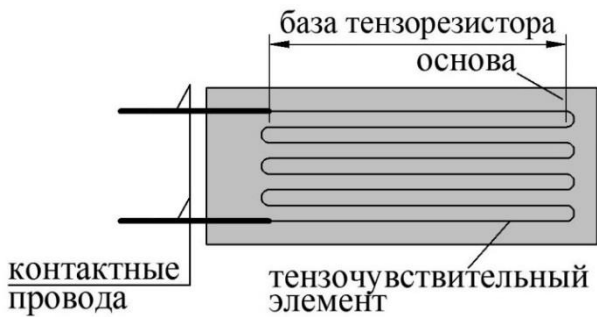


Рисунок 9.1 – Схема петлевого проволочного тензорезистора

Принцип работы тензорезистора

$$\frac{\Delta R}{R} = k_T \cdot \varepsilon$$

где $\Delta R/R$ – относительное изменение сопротивления тензорезистора;
 k_T – коэффициент тензочувствительности тензорезистора;
 ε – относительная линейная деформация поверхности исследуемого объекта;

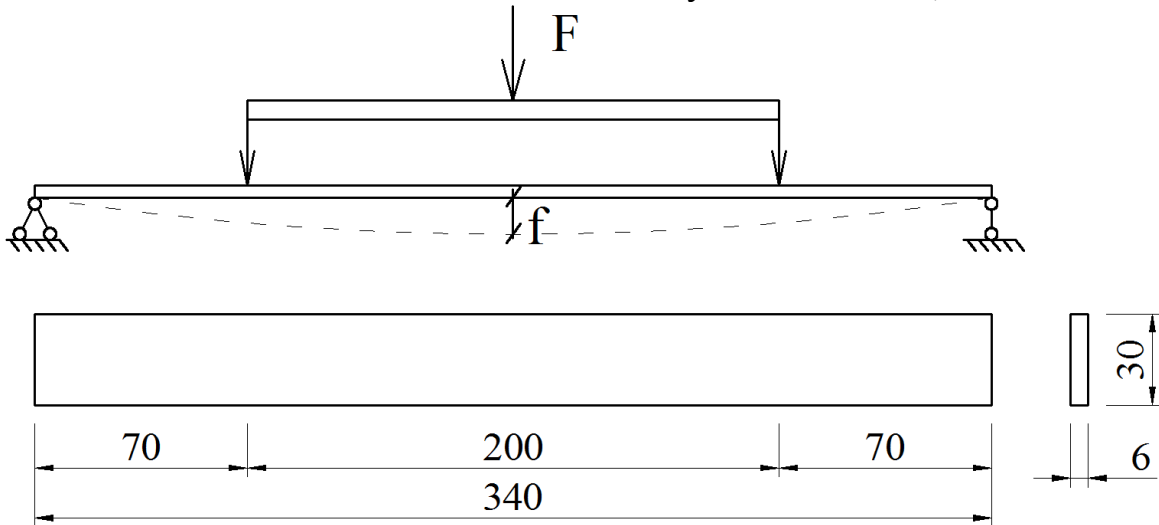


Рисунок 9.2 – Схема градуировочной балки с зоной «чистого» изгиба (размеры указаны в миллиметрах).

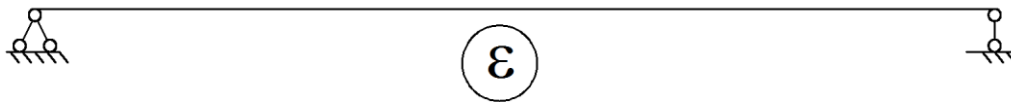


Рисунок 9.3 – Эпюра деформаций балки с зоной «чистого» изгиба.

Параметры балки с зоной «чистого» изгиба:

- $h = 6\text{мм}$ – толщина градуировочной балки,
- $b = 30\text{мм}$ – ширина градуировочной балки,
- $L = 340\text{мм}$ – длина градуировочной балки,
- $a = 70\text{мм}$ – расстояния от опоры градуировочной балки до точки приложения нагрузки,
- f – прогиб градуировочной балки в середине пролета
- Δf – прогиб градуировочной балки в середине пролета в зоне чистого изгиба,.

Результаты измерений записать в таблицу 9.1, а обработку полученных данных выполнить согласно приведённым ниже формулам и представить в таблице 9.2.

- $\delta_{j,i}$ – отсчёт по прибору для тензорезистора j на этапе i нагружения;
- $\Delta_{j,i} = |\delta_{j,i} - \delta_{j,(i-1)}|$ – абсолютная величина разности отсчётов;
- $\Delta_{j,cp} = \frac{\sum_{i=1}^6 \Delta_{j,i}}{6}$ – средняя величина разности для одного тензорезистора от действия внешней нагрузки;
- $\Delta_{cp} = \frac{\sum_{j=1}^n \Delta_{j,cp}}{n} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$ – средняя величина разности отсчетов группы тензорезисторов ($n = 4$ – для 4-х тензорезисторов);
- $\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{cp} = \Delta_{cp} \cdot C = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$;
где $C = 4 \cdot 10^{-6}$ – цена деления прибора в единицах $\Delta R/R$;
- $\varepsilon = \frac{12 \cdot h}{3 \cdot l^2 - 12 \cdot a \cdot (l-a)} \cdot \Delta f = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$ – относительная теоретическая деформация балки с зоной «чистого» изгиба;
- $k_T = \frac{(\Delta R/R)_{cp}}{\varepsilon} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$ – коэффициент тензочувствительности;

Таблица 9.1 – Результаты испытаний и обработка данных

Этап нагружения	Нагрузка	Отсчёты по тензорезисторам							
		1		2		3		4	
		$\delta_{1,i}$	$\Delta_{1,i}$	$\delta_{2,i}$	$\Delta_{2,i}$	$\delta_{3,i}$	$\Delta_{3,i}$	$\delta_{4,i}$	$\Delta_{4,i}$
	$\Delta f = 0$								
1	$\Delta f = 1\text{мм}$								
2	$\Delta f = 0$								
3	$\Delta f = 1\text{мм}$								
4	$\Delta f = 0$								
5	$\Delta f = 1\text{мм}$								
6	$\Delta f = 0$								
	$\Delta_{j,cp}$								

- $\Delta_{cp} - \Delta_{j,cp} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$; 9. $(\Delta_{cp} - \Delta_{j,cp})^2 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$;
- $S_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_{cp} - \Delta_{j,cp})^2}{n-1}} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$
– среднее квадратическое отклонение;
- $v_{\Delta} = \frac{S_{\Delta}}{\Delta_{cp}} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$ – коэффициент вариации результатов измерений;

Таблица 9.2 – Обработка данных

№ тензорезистора	Среднее значение отсчётов		$\Delta_{cp} - \Delta_{j,cp}$	$(\Delta_{cp} - \Delta_{j,cp})^2$	S_{Δ}	v_{Δ}
	по столбцу $\Delta_{j,cp}$	по строке Δ_{cp}				
1.						
2.						
3.						
4.						
				$\Sigma =$		

Выводы: _____

Подпись студента _____ Подпись преподавателя _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

«Тензорезисторный метод исследования напряжённо-деформированного состояния материала конструкций»

Цель работы _____

1. Определение коэффициента тензочувствительности тензорезисторов

С целью определения коэффициента тензочувствительности выполняем градуировку тензорезисторов на консольной балке равного сопротивления, либо однопролётной балке с зоной «чистого» изгиба.

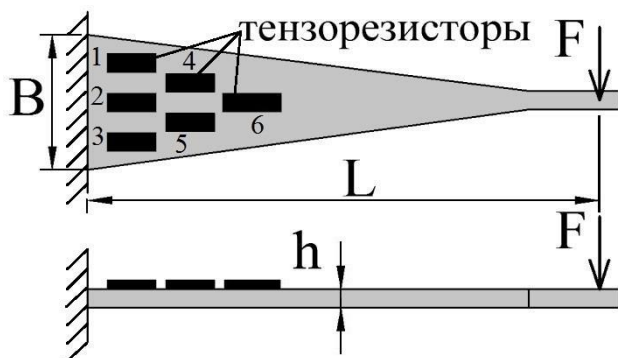


Рисунок 10.1 – Схема консольной балки равного сопротивления

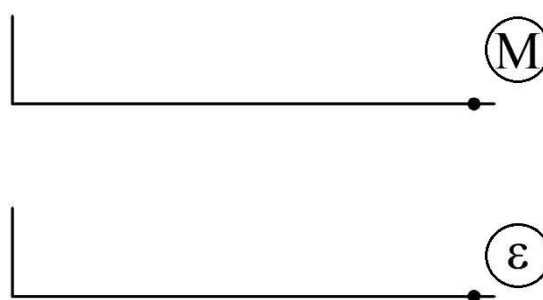


Рисунок 10.2 – Эюры моментов и деформаций

Параметры консольной балки:

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$L/B = 11,5;$$

$$h = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Результаты измерений записать в таблицу 10.1, а обработку полученных данных выполнить согласно приведённым ниже формулам и представить в таблице 1.2.

1. $\delta_{j,i}$ – отсчёт по прибору для тензорезистора j на этапе i нагружения;

2. $\Delta_{j,i} = |\delta_{j,i} - \delta_{j,(i-1)}|$ – абсолютная величина разности отсчётов;
3. $\Delta_{j,ср} = \frac{\sum_{i=1}^8 \Delta_{j,i}}{8}$ – средняя величина разности для одного тензорезистора от действия внешней нагрузки;
4. $\Delta_{ср} = \frac{\sum_{j=1}^n \Delta_{j,ср}}{n} = \dots = \dots$ – средняя величина разности отсчетов группы тензорезисторов ($n = 4$ – для 4-х тензорезисторов);
5. $\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{ср} = \Delta_{ср} \cdot C = \dots = \dots$;
где $C = 1 \cdot 10^{-6}$ – цена деления регистрирующего прибора РХИе 4330 в единицах $\Delta R/R$;
6. $\varepsilon = \frac{6 \cdot F \cdot L}{E \cdot h^2 \cdot B} = \dots = \dots$ – относительная теоретическая деформация консоли равного сопротивления;
7. $k_T = \frac{(\Delta R/R)_{ср}}{\varepsilon} = \dots = \dots$ – коэффициент тензочувствительности;

Таблица 10.1 – Результаты испытаний и обработка данных

Нагрузка	Отсчёты по тензорезисторам							
	1		2		3		4	
	$\delta_{1,i}$	$\Delta_{1,i}$	$\delta_{2,i}$	$\Delta_{2,i}$	$\delta_{3,i}$	$\Delta_{3,i}$	$\delta_{4,i}$	$\Delta_{4,i}$
0								
F=10 Н								
2F=20 Н								
F=10 Н								
0								
F=10 Н								
2F=20 Н								
F=10 Н								
0								
$\Delta_{j,ср}$								

8. $\Delta_{ср} - \Delta_{j,ср} = \dots = \dots$; 9. $(\Delta_{ср} - \Delta_{j,ср})^2 = \dots = \dots$;

12. $S_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_{ср} - \Delta_{j,ср})^2}{n-1}} = \dots = \dots$

– среднее квадратическое отклонение;

13. $v_{\Delta} = \frac{S_{\Delta}}{\Delta_{ср}} = \dots = \dots$ – коэффициент вариации результатов измерений;

Таблица 10.2 – Обработка данных

№ тензо-резистора	Среднее значение отсчётов		$\Delta_{ср} - \Delta_{j,ср}$	$(\Delta_{ср} - \Delta_{j,ср})^2$	S_{Δ}	v_{Δ}
	по столбцу $\Delta_{j,ср}$	по строке $\Delta_{ср}$				
1.						
2.						
3.						
4.						
				$\Sigma =$		

Полученный, в ходе градуировки, k_T заносится в программу в окне настройки:

Коэффициент тензочувствительности	Сопротивление датчика (Ом)	Начальное напряжение (мкВ)
	120	1.3095
Источник возбуждения	Напряжение возбуждения (В)	Схема подключения датчиков
Внутренний	2.5	¼-моста – тип I

2. Определение напряжённо-деформированного состояния пластины

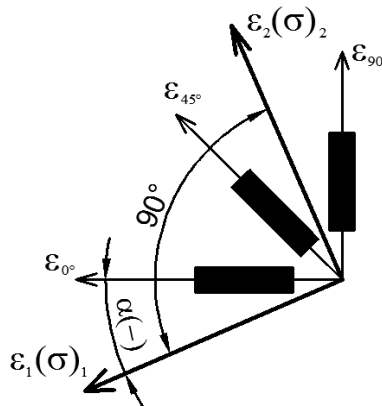
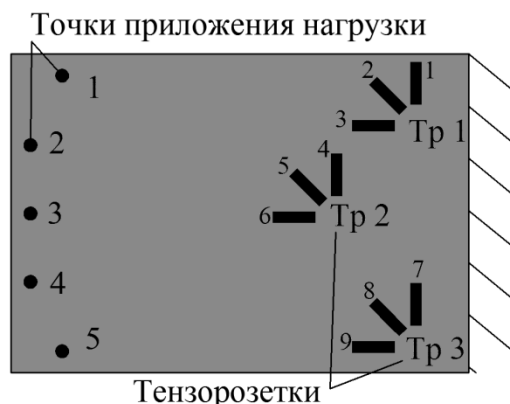


Рисунок 10.3 – Модель пластины из оргстекла

Рисунок 10.4 – Схема прямоугольной тензорозетки

Таблица 10.5 – Результаты измерения деформаций пластины

Нагрузка	Тензорезисторы /тензорозетка № ___, точка приложения силы __/					
	Т 0°		Т 45°		Т 90°	
	Отсчёт	ε_{0°	Отсчёт	ε_{45°	Отсчёт	ε_{90°
F=0						
F=5 Н						

$$\alpha = \frac{\arctg\left(\frac{2\varepsilon_{45^\circ} - (\varepsilon_{0^\circ} + \varepsilon_{90^\circ})}{\varepsilon_{0^\circ} - \varepsilon_{90^\circ}}\right)}{2} = \underline{\hspace{10em}};$$

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{2}\left(\varepsilon_{0^\circ} + \varepsilon_{90^\circ} + \frac{\varepsilon_{0^\circ} - \varepsilon_{90^\circ}}{\cos 2\alpha}\right) = \underline{\hspace{10em}};$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{2}\left(\varepsilon_{0^\circ} + \varepsilon_{90^\circ} - \frac{\varepsilon_{0^\circ} - \varepsilon_{90^\circ}}{\cos 2\alpha}\right) = \underline{\hspace{10em}};$$

$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_1 + \mu \cdot \varepsilon_2) = \underline{\hspace{10em}};$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_2 + \mu \cdot \varepsilon_1) = \underline{\hspace{10em}};$$

где $E = 3 \cdot 10^3$ МПа – модуль упругости оргстекла;

$\mu = 0,36$ – коэффициент Пуассона;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \sigma_1, \sigma_2$ – главные деформации и главные напряжения в месте испытания;

Выводы: _____

Подпись студента _____

Подпись преподавателя _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11

«Статические испытания монорельсового пути»

Цель работы: _____

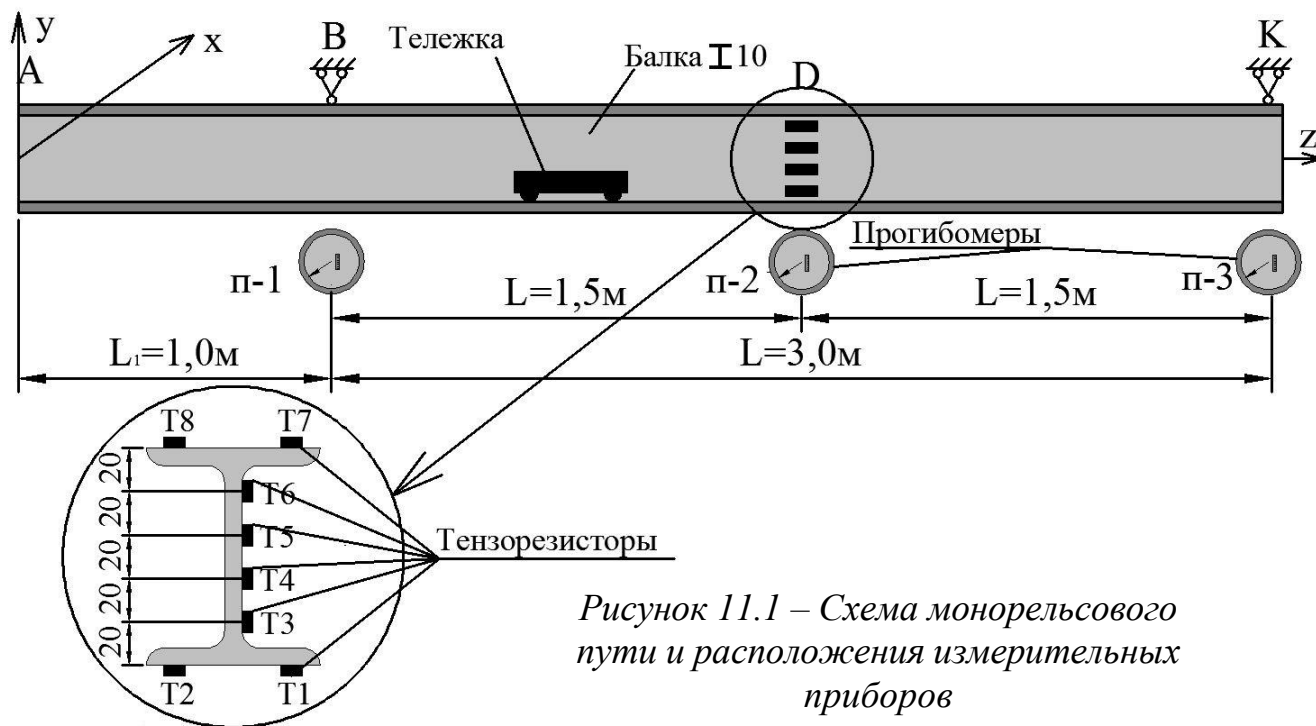


Рисунок 11.1 – Схема монорельсового пути и расположения измерительных приборов

1. Определение прогиба балки с учётом осадки опор

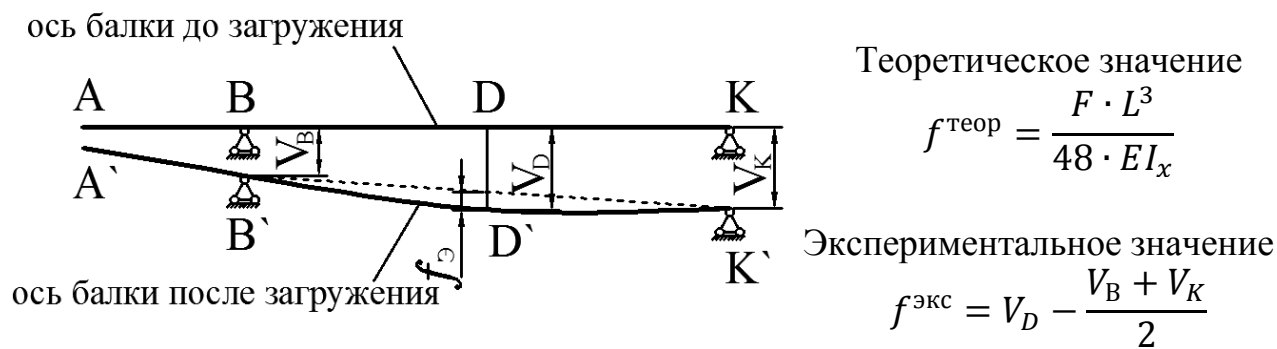


Рисунок 11.2 – Схема определения прогиба балки

Таблица 11.1 – Результаты испытаний и расчёт прогибов

№ прогибо- мера	Отсчёты по прогибомерам, мм		Вычислить			
	$F = 0$	$F = 2500H$	разность отсчётов, Δ , мм	прогиб, $f^{экс}$, мм	прогиб, $f^{теор}$, мм	$k_f = \frac{f^{экс}}{f^{теор}}$
п-1						
п-2						
п-3						

2. Определение напряжений в середине пролёта балки

Экспериментальные значения напряжений вычисляются по формуле:

$$\sigma_z^{\text{экс}} = \varepsilon \cdot E = \frac{C \cdot \Delta}{k_T} \cdot E, \text{ МПа}$$

где ε – относительная деформация;

Δ – разность отсчётов по тензорезисторам;

$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модуль упругости стали;

$C = 1 \cdot 10^{-6}$ – цена деления прибора в единицах относительного изменения сопротивления;

k_T – коэффициент тензочувствительности тензорезисторов.

$$\sigma_z^{\text{теор}} = \frac{M}{I_x} \cdot y_k, \text{ МПа}$$

где $M = \frac{F \cdot L}{4} = \underline{\hspace{2cm}}$, кН · м – теоретическое значение момента в середине пролёта;

$I_x = 198 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$ – момент инерции сечения;

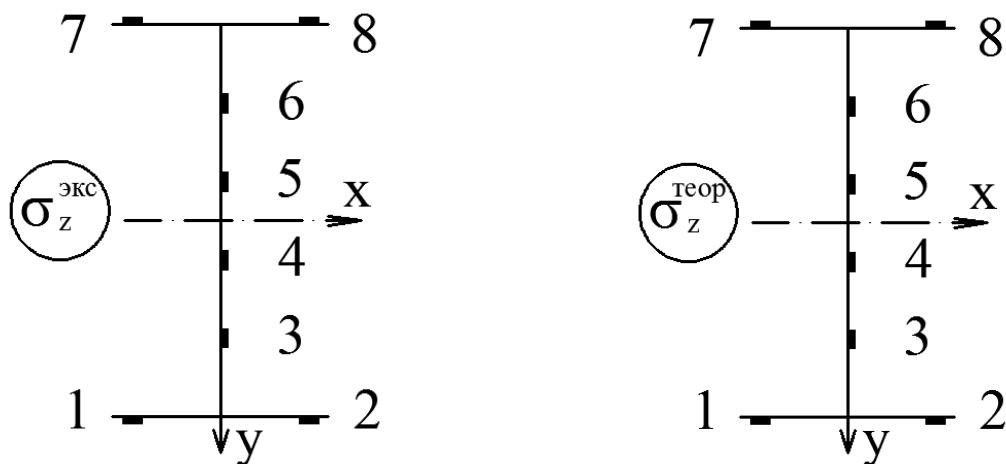
$L = 3,0 \text{ м}$ – расстояние между опорами балки;

y_k – расстояние от нейтральной оси до точки, в которой определяются напряжения.

Таблица 11.2 – Результаты испытаний и обработка данных

№ тензорезистора	Отсчёты по тензорезисторам при:		Вычислить			
	$F = 0$	$F = 2500 \text{ Н}$	деформация ε	напряжение $\sigma_z^{\text{экс}}$, МПа	напряжение $\sigma_z^{\text{теор}}$, МПа	$k_\sigma = \frac{\sigma_z^{\text{экс}}}{\sigma_z^{\text{теор}}}$
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Построение эпюр напряжений для сечения в середине пролёта балки



3. Построение линии влияния изгибающего момента для сечения в середине пролёта балки

Экспериментальное значение изгибающего момента в середине пролёта при различных положениях груза F вычисляется по формуле:

$$M_Z^{\text{эк}} = \varepsilon \cdot E \cdot W_X = \frac{C \cdot \Delta}{k_T} \cdot E \cdot W_X, \text{ Н} \cdot \text{ м}$$

где ε – относительная деформация;

Δ – разность отсчётов по тензорезисторам;

$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модуль упругости стали;

$W_X = 39,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ – момент сопротивления балки двутаврового сечения;

$C = 1 \cdot 10^{-6}$ – цена деления прибора в единицах относительного изменения сопротивления;

k_T – коэффициент тензочувствительности тензорезисторов.

Теоретическое значение изгибающего момента вычисляется по формуле:

$$M_T = y \cdot F, \text{ Н} \cdot \text{ м}$$

где y – ордината линии влияния момента в рассматриваемой точке от единичной нагрузки.

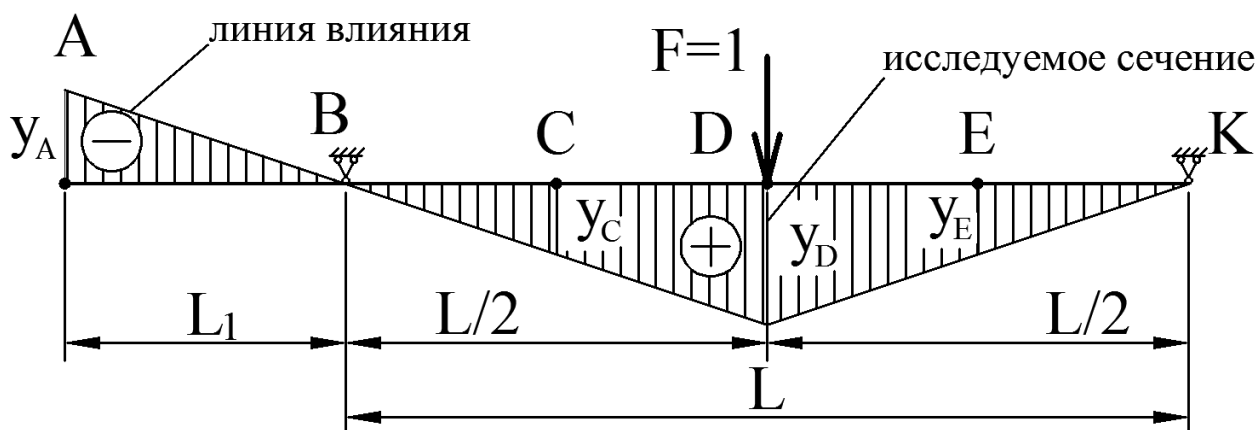


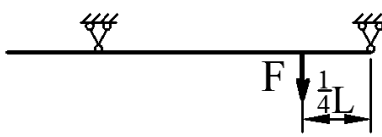
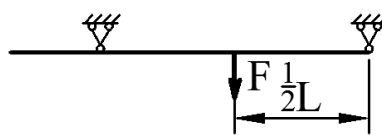
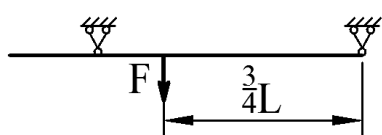
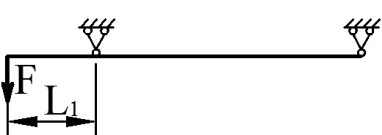
Рисунок 11.3 – Линия влияния изгибающего момента в сечении D от единичной силы

$$y_D = \frac{L/2 \cdot L/2}{L} = \underline{\hspace{2cm}};$$

$$y_C = y_E = \frac{y_D}{2} = \underline{\hspace{2cm}};$$

$$y_A = \frac{y_D \cdot L_1}{L/2} = \underline{\hspace{2cm}};$$

Таблица 11.3 – Результаты испытаний и обработка данных

№ тензореzystора	Положение груза на балке	Нагрузка Н	Отсчёт по тензорезисторам	Вычислить			
				Деформации ε	$M_Z^{\text{экс}}, \text{Н} \cdot \text{м}$	$M_Z^{\text{теор}}, \text{Н} \cdot \text{м}$	$k_M = \frac{M_Z^{\text{экс}}}{M_Z^{\text{теор}}}$
		F=0					
		F=2500					
		F=0					
		F=2500					
		F=0					
		F=2500					
		F=0					
		F=2500					

Линия влияния изгибающего момента в сечении D от силы F=2500Н
 Экспериментальная Теоретическая



Выводы: _____

Подпись студента _____ Подпись преподавателя _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12

«Исследование напряженного состояния модели металлической сварной фермы при действии статической нагрузки»

Цель работы _____

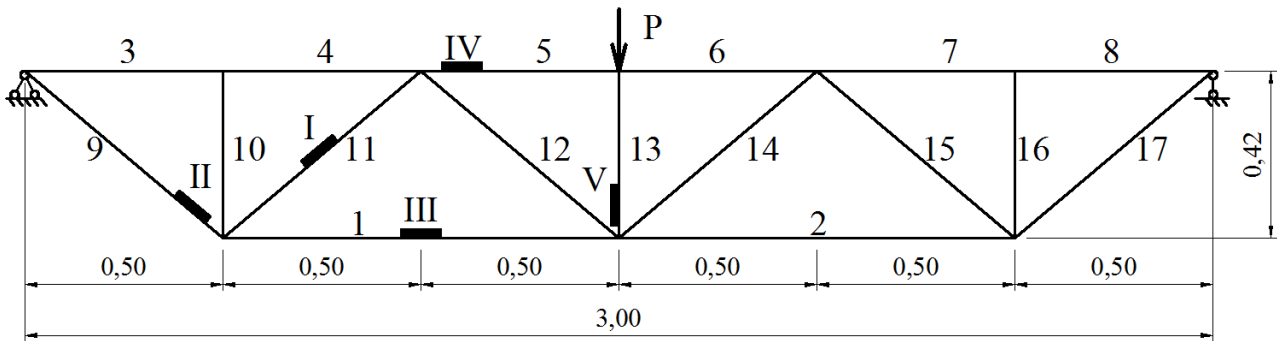
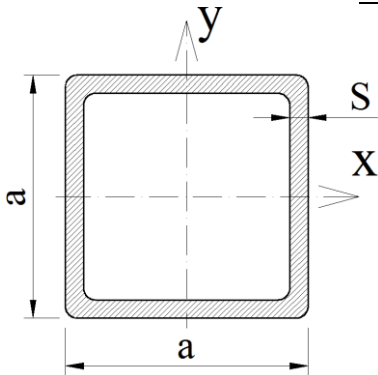


Рисунок 12.1 – Схема металлической фермы и расположения измерительных приборов. Цифрами I-V на схеме указаны тензорезисторы. Цифрами 1-17 на схеме указаны номера элементов фермы

Геометрические характеристики фермы:



- $a = 20\text{мм}$
- Толщина стенки $S = 1,5\text{мм}$
- Площадь сечения $A = 1,071\text{см}^2$
- Масса погонного метра $m = 0,841\text{кг}$
- Момент инерции $I_X = I_Y = 0,600\text{см}^4$
- Момент сопротивления $W_X = W_Y = 0,600\text{см}^3$

1. Определение теоретических значений усилий в элементах фермы (методом сечений)

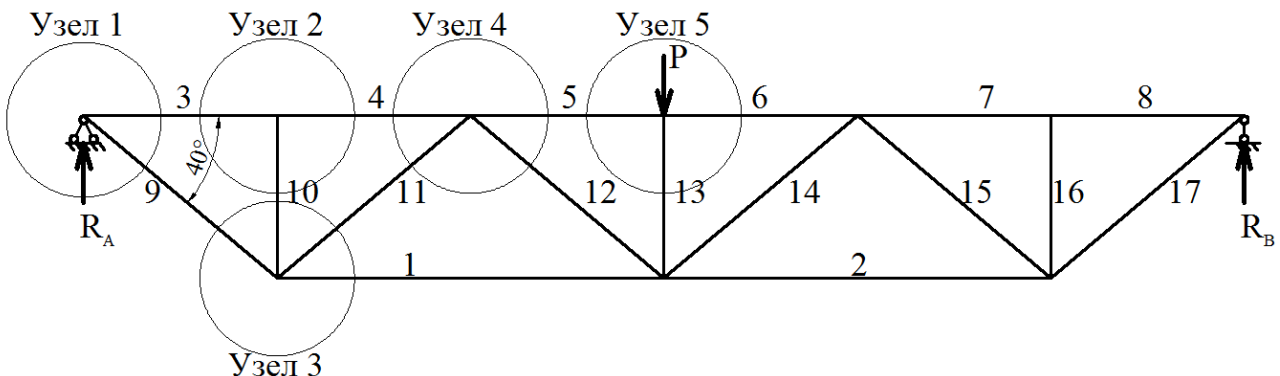


Рисунок 12.2 – Схема к расчету усилий в элементах фермы методом сечений

1. Определить опорные реакции. Учитывая симметричную форму фермы и приложение нагрузки $P = \underline{\hspace{2cm}}$ кН в середине пролета фермы:

$$R_A = R_B = \frac{P}{2} = \frac{\underline{\hspace{2cm}}}{2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

2. Определить усилия в элементах фермы методом вырезания узлов: последовательно рассмотрим условия равновесия сил, сходящихся в каждом из узлов фермы. Результаты записать в таблицу 12.1.

Таблица 12.1 – Определение теоретических значений усилий в элементах фермы

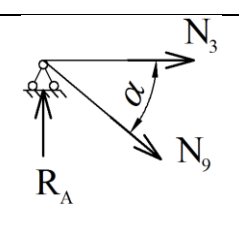
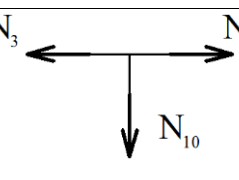
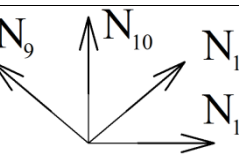
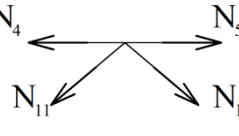
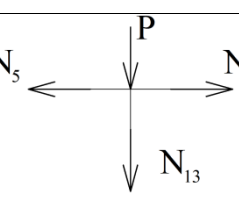
Номер узла	Сечения	Результаты определения усилий в элементах фермы
1		$\sum Y = 0; R_A - N_9 \cdot \sin\alpha = 0; N_9 = R_A / \sin\alpha$ $N_9 = \underline{\hspace{1cm}} \cdot \underline{\hspace{1cm}} = \underline{\hspace{1cm}}$ $\sum X = 0; N_3 + N_9 \cdot \cos\alpha = 0; N_3 = -N_9 \cdot \cos\alpha$ $N_3 = \underline{\hspace{1cm}} \cdot \underline{\hspace{1cm}} = \underline{\hspace{1cm}}$
2		$\sum Y = 0; N_{10} = 0$ $\sum X = 0; -N_3 + N_4 = 0; N_4 = N_3$ $N_4 = \underline{\hspace{1cm}}$
3		$\sum Y = 0; N_9 \cdot \sin\alpha + N_{11} \cdot \sin\alpha + N_{10} = 0; N_{11} = -N_9$ $N_{11} = \underline{\hspace{1cm}}$ $\sum X = 0; N_1 - N_9 \cdot \cos\alpha + N_{11} \cdot \cos\alpha = 0;$ $N_1 = (N_9 - N_{11}) \cdot \cos\alpha$ $N_1 = (\underline{\hspace{1cm}} - \underline{\hspace{1cm}}) \cdot \underline{\hspace{1cm}} = \underline{\hspace{1cm}}$
4		$\sum Y = 0; -N_{11} \cdot \sin\alpha - N_{12} \cdot \sin\alpha = 0; N_{12} = -N_{11}$ $N_{12} = \underline{\hspace{1cm}}$ $\sum X = 0; N_5 - N_4 - N_{11} \cdot \cos\alpha + N_{12} \cdot \cos\alpha = 0;$ $N_5 = N_4 + (N_{11} - N_{12}) \cdot \cos\alpha$ $N_5 = \underline{\hspace{1cm}} + (\underline{\hspace{1cm}} - \underline{\hspace{1cm}}) \cdot \underline{\hspace{1cm}} = \underline{\hspace{1cm}}$
5		$\sum Y = 0; -P - N_{13} = 0; N_{13} = -P$ $N_{13} = \underline{\hspace{1cm}}$ $\sum X = 0; -N_5 + N_6 = 0; N_6 = N_5$ $N_6 = \underline{\hspace{1cm}}$

Таблица 12.2 – Сводная таблица теоретические значений усилий в элементах фермы

Номер элемента	1, 2	3, 8	4, 7	5, 6	9, 17	10, 16	11, 15	12, 14	13
Усилие, $N^{\text{теор}}$ кН									

2. Определение фактических значений усилий в элементах фермы (с помощью тензорезисторов)

Экспериментальные значения напряжений вычисляются по формуле:

$$\sigma^{\text{экс}} = \varepsilon \cdot E = \frac{C \cdot \Delta}{k_T} \cdot E, \text{ МПа}$$

где ε – относительная деформация;

Δ – разность отсчётов по тензорезисторам;

$E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа – модуль упругости стали;

$C = 1 \cdot 10^{-6}$ – цена деления прибора в единицах относительного изменения сопротивления;

k_T – коэффициент тензочувствительности тензорезисторов.

Экспериментальные значения усилий вычисляются по формуле:

$$N^{\text{экс}} = \sigma^{\text{экс}} \cdot A$$

где $\sigma^{\text{экс}}$ – экспериментальные значения напряжений в элементе фермы;

A – площадь сечения элемента фермы;

Таблица 12.3 – Определение фактических значений усилий в элементах фермы

Номер тензорезистора	Номер элемента	Отсчёты по тензорезисторам при:		Деформация ε	Напряжение, $\sigma^{\text{экс}}$, МПа	Усилие, $N^{\text{экс}}$ кН
		$P = 0$	$P = \text{___}$ кН			
I	11					
II	9					
III	1					
IV	5					
V	13					

3. Сравнение теоретических и фактических значений усилий в элементах фермы

Таблица 12.4 – Сравнение теоретических и фактических значений усилий и напряжений в элементах фермы

Номер тензорезистора	Номер элемента	Усилие, $N^{\text{экс}}$ кН	Усилие, $N^{\text{теор}}$ кН	Напряжение, $\sigma^{\text{экс}}$, МПа	Напряжение, $\sigma^{\text{теор}} = \frac{N^{\text{теор}}}{A}$, МПа	$k_\sigma = \frac{\sigma^{\text{экс}}}{\sigma^{\text{теор}}}$
I	11					
II	9					
III	1					
IV	5					
V	13					

Выводы: _____

Подпись студента _____ Подпись преподавателя _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №13

«Динамические испытания балки в режиме свободных колебаний»

Цель работы: _____

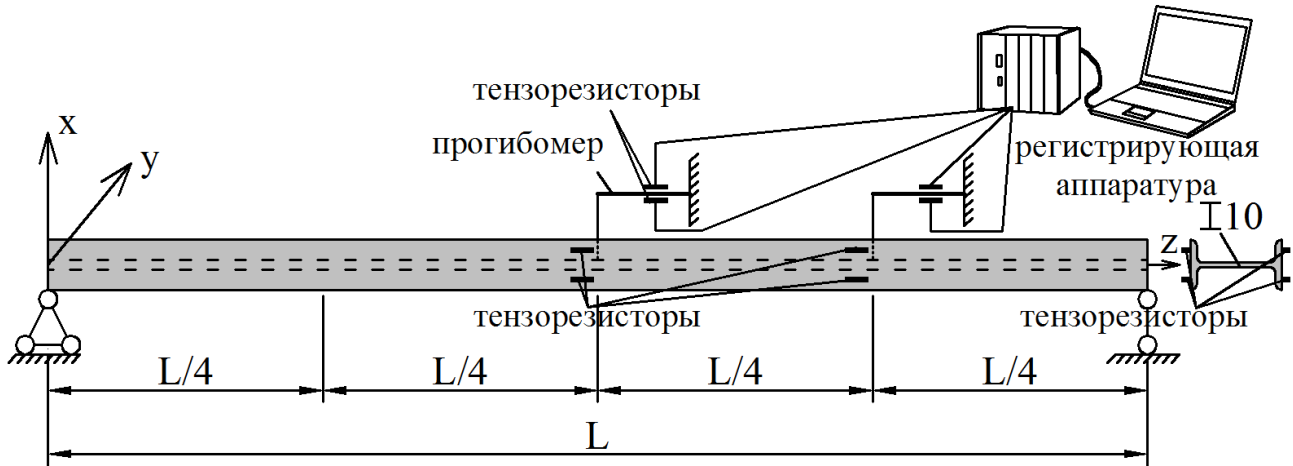


Рисунок 13.1 – Схема экспериментальной установки и расположения измерительных приборов

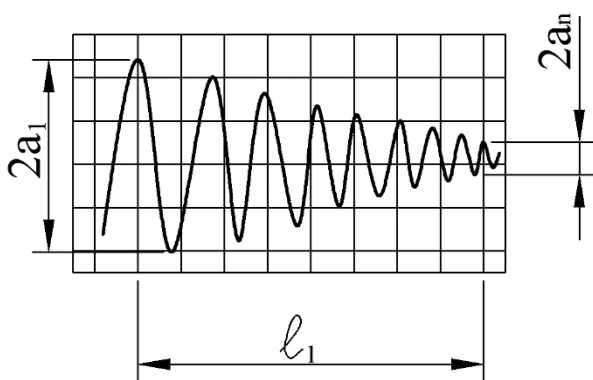


Рисунок 13.2 – К обработке виброграммы

$$f_c^{\text{э}} = n \cdot \frac{l_2}{l_1} \text{ Гц}$$

где $f_c^{\text{э}}$ – экспериментальное значение частоты собственных колебаний;
 l_1 – длина выбранного отрезка виброграммы, содержащего целое число колебаний;
 l_2 – длина отрезка виброграммы, соответствующего одной секунде;
 n – число колебаний на выбранном отрезке виброграммы длиной l_1 ;

$\delta = \frac{1}{n-1} \ln \frac{2a_1}{2a_n} = \text{_____}$ – логарифмический декремент колебаний, определяющий степень затухания собственных колебаний;

a_1 – амплитуда в начале выбранного отрезка виброграммы длиной l_1 ;

a_n – амплитуда в конце выбранного отрезка виброграммы длиной l_1 ;

Формула расчета теоретической величины частоты свободных колебаний:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{y_{\text{ст}}}}$$

где $y_{\text{ст}}$ – статический прогиб балки;

g – ускорение свободного падения;

Для шарнирно опертой балки

$$y_{\text{ст}} = \frac{P_{\text{прив}} \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_y}$$

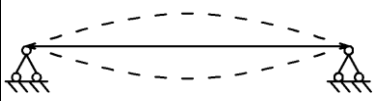
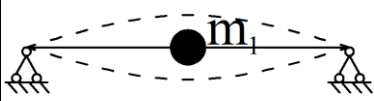
где $P_{\text{прив}}$ – приведенная нагрузка на балку;

$L = 3,75\text{ м}$ – длина балки;
 $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модуль упругости стали;
 $I_y = 17,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$ – момент инерции сечения.
 Приведенная нагрузка на балку:

$$P_{\text{прив}} = \frac{17}{35} m \cdot g \cdot L + m_1 \cdot g$$

где $m = 9,46 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^2$ – погонная масса балки;
 $m_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ – дополнительная масса;
 g – ускорение свободного падения;
 $L = 3,75\text{ м}$ – длина балки;

Таблица 13.1 – Параметры свободных колебаний

№ вибро- граммы	Схема колебаний	n	$l_1,$ мм	$l_2,$ мм	$2a_1,$ мм	$2a_n,$ мм	Вычислить			
							δ	$f_c^{\text{Э}},$ Гц	$f_c^{\text{T}},$ Гц	$k_f = \frac{f_c^{\text{Э}}}{f_c^{\text{T}}}$
1										
2										

Виброграмма 1

Виброграмма 2

Выводы: _____

Подпись студента _____ Подпись преподавателя _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №14

«Динамические испытания балки в режиме вынужденных колебаний»

Цель работы: _____

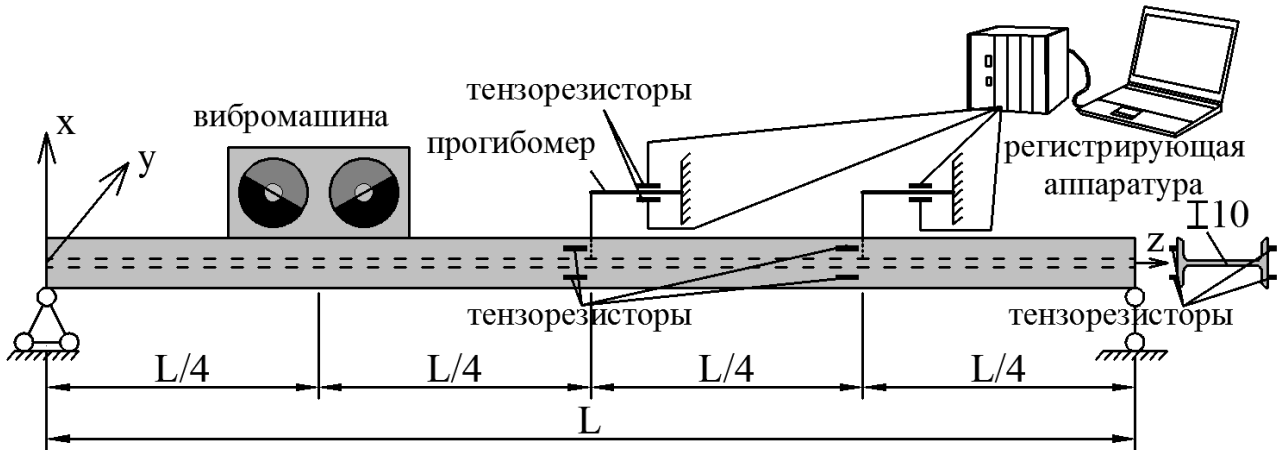


Рисунок 14.1 – Схема экспериментальной установки и расположения измерительных приборов

1. Определение резонансных частот колебаний балки f_B

$$f_B^{\text{э}} = n \cdot \frac{l_2}{l_1} = \text{_____ Гц}$$

где $f_B^{\text{э}}$ – экспериментальное значение частоты вынужденных колебаний;
 l_1 – длина выбранного отрезка виброграммы, содержащего целое число колебаний;

l_2 – длина отрезка виброграммы, соответствующего одной секунде;

n – число колебаний на выбранном отрезке виброграммы длиной l_1 ;

Формула расчета теоретической величины частоты собственных колебаний

$$f_C^T = \frac{k^2 \cdot \pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_y}{m}} = \text{_____ Гц}$$

где k – коэффициент, зависящий от формы колебаний и численно равный числу длин полуволен балки;

$L = 3,75\text{ м}$ – длина балки;

$m = 9,46 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^2$ – погонная масса балки;

$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модуль упругости стали;

$I_y = 17,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$ – момент инерции сечения.

Таблица 14.1 – Параметры вынужденных колебаний

№ виброграммы	Схема колебаний	n	l_1 , мм	l_2 , мм	Вычислить		
					$f_B^{\text{э}}$, Гц	f_C^T , Гц	$k_f = \frac{f_B^{\text{э}}}{f_C^T}$
1							
2							

Виброграмма 1

Виброграмма 2

2. Определение динамического коэффициента K_d
и динамического прогиба Y_d

Динамический коэффициент определяют для первой резонансной формы по формуле:

$$K_d = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f_{\text{вибр}}}{f_{B,1}}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{f_{\text{вибр}}}{f_{B,1}}\right)^2 \cdot \frac{\delta^2}{\pi^2}}} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\quad}{\quad}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{\quad}{\quad}\right)^2 \cdot \frac{\quad}{\quad}}};$$

Динамический прогиб:

$$Y_d = Y_{\text{ст}}^T \cdot K_d = \quad;$$

где $Y_{\text{ст}}^T$ – теоретическая величина статического прогиба в предположении статического действия силы, возникающей от вращения эксцентриков вибромашины.

$$Y_{\text{ст}}^T = \frac{11}{768} \frac{P_{\text{max}} \cdot L^3}{E \cdot I_y} = \quad;$$

где P_{max} – сила, возникающая от вращения эксцентриков вибромашины.

$$P_{\text{max}} = 2m_0 \cdot \omega_{\text{вибр}}^2 \cdot r_0 = \quad;$$

где $m_0 = 0,15 \text{ кг}$ – масса каждого из эксцентриков вибромашины;

$r_0 = 1,44 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ – радиус вращения центра массы эксцентрика;

$\omega_{\text{вибр}}$ – круговая частота вращения вибромашины;

$$\omega_{\text{вибр}} = 2\pi \cdot f_{\text{вибр}} = \quad;$$

где $f_{\text{вибр}}$ – частота вынужденных колебаний вибромашины, Гц. Задается преподавателем.

Выводы: _____

Подпись студента _____ Подпись преподавателя _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №15

«Определение перемещений и напряжений при ударе»

Цель работы: _____

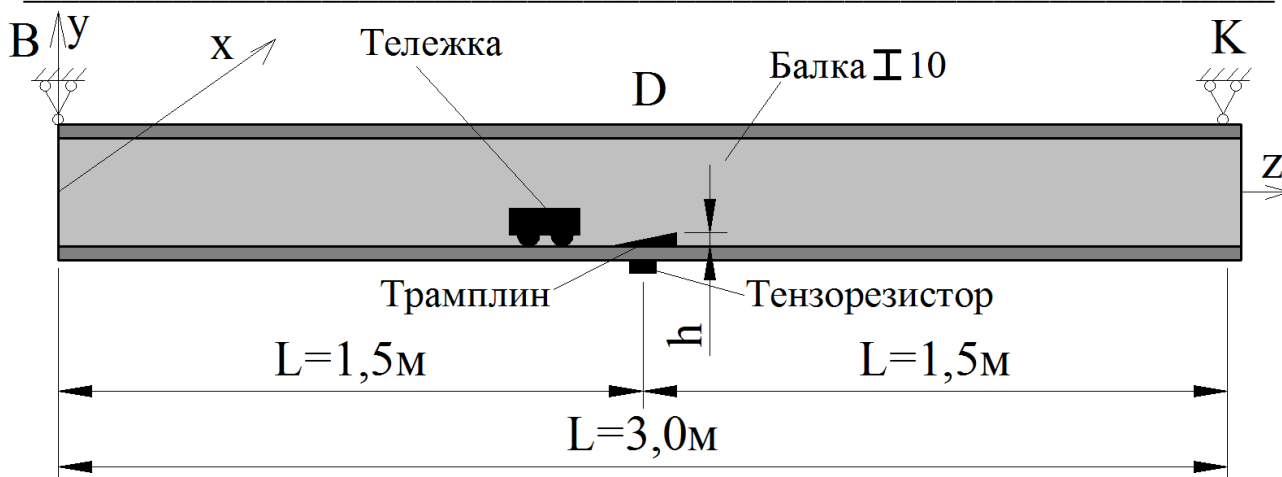


Рисунок 15.1 – Схема экспериментальной установки и расположения измерительных приборов

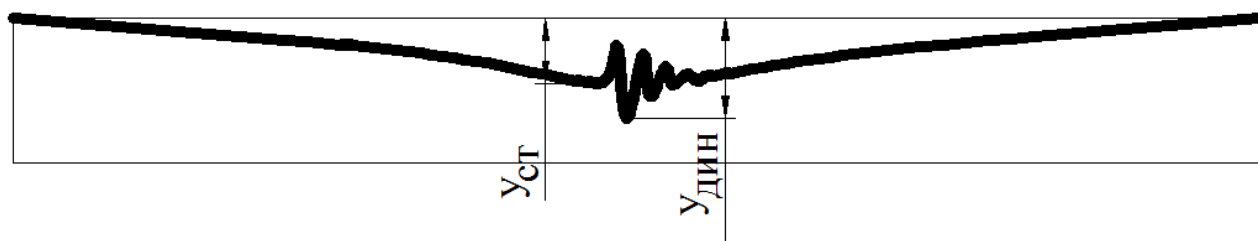


Рисунок 15.2 – К обработке виброграммы

Определяется экспериментальное значение динамического коэффициента:

$$K_{дин}^{экс} = \frac{Y_{д}}{Y_{ст}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

где $Y_{ст}$ – ордината виброграммы, соответствующая статическому прогибу балки;
 $Y_{д}$ – ордината виброграммы, соответствующая динамическому прогибу балки;

Определяется экспериментальное значения статического напряжения:

$$\sigma_{ст}^{экс} = \varepsilon \cdot E$$

где ε – относительная деформация;

$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модуль упругости стали;

Таблица 15.1 – Результаты испытаний и обработка данных

Отчёты по тензорезистору при:		Вычислить	
		деформации ε	напряжение $\sigma_z^{экс}$, МПа
$F = 0$	$F = \underline{\hspace{2cm}}$		

Определяется величина динамического напряжения:

$$\sigma_{дин}^{экс} = \sigma_{ст}^{экс} \cdot K_{дин}^{экс} = \underline{\hspace{2cm}};$$

Определяется теоретическая величина динамического коэффициента

$$K_{\text{дин}}^{\text{теор}} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{f_{\text{ст}}^{\text{теор}}}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

где $f_{\text{ст}}^{\text{теор}}$ – теоретическая величина статического прогиба

$$f_{\text{ст}}^{\text{теор}} = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot EI_x} = \underline{\hspace{2cm}}$$

где $L = 3,0$ м – расстояние между опорами балки;

$E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа – модуль упругости стали;

$I_x = 198 \cdot 10^{-8}$ м⁴ – момент инерции сечения;

Вычисляется теоретическая величина статического напряжения:

$$\sigma_{\text{ст}}^{\text{теор}} = \frac{M_x}{W_x} = \underline{\hspace{2cm}}$$

где M_x – теоретическое значение момента в середине пролёта;

$W_x = 39,7 \cdot 10^{-6}$ м³ – момент сопротивления балки двутаврового сечения;

$$M_x = \frac{F \cdot L}{4} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Вычисляется теоретическая величина динамического напряжения:

$$\sigma_{\text{дин}}^{\text{теор}} = \sigma_{\text{ст}}^{\text{теор}} \cdot K_{\text{дин}}^{\text{теор}} = \underline{\hspace{2cm}};$$

Таблица 15.2 – Результаты испытаний и обработка данных

Экспериментальное/ теоретическое значение	$K_{\text{дин}}$	$\sigma_{\text{дин}}$	$\left \frac{\sigma_{\text{дин}}^{\text{теор}} - \sigma_{\text{дин}}^{\text{экс}}}{\sigma_{\text{дин}}^{\text{теор}}} \right $
Экспериментальное			
Теоретическое			

Виброграмма 1

Выводы: _____

Подпись студента _____ Подпись преподавателя _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №16

«Оценка эффективности динамических гасителей колебаний»

Цель работы: _____

1. Определение параметров виброгасителя

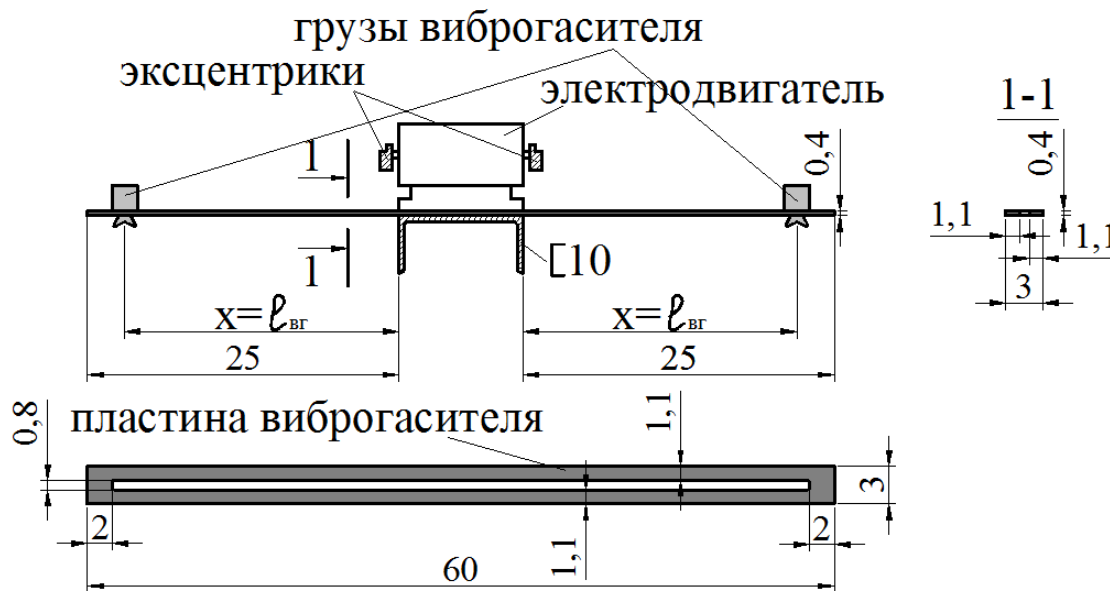


Рисунок 16.1 – Конструкция виброгасителя (размеры указаны в сантиметрах)

$A = (1,1 \cdot 0,4) \cdot 2 = 0,88 \text{ см}^2 = 0,88 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ – площадь сечения пластины виброгасителя;

$I_y = 2 \frac{b \cdot h^3}{12} = 2 \frac{1,1 \cdot 0,4^3}{12} = 0,0117 \text{ см}^4 = 0,0117 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$ – момент инерции пластины;

$m_{\text{гр}} = 0,47 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}^2}{\text{м}}$ – масса грузов виброгасителя;

$\rho = 7,85 \cdot 10^3 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4}$ – плотность материала пластины виброгасителя;

$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа} = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Па}$ – модуль упругости материала пластины виброгасителя;

$q = \rho \cdot A = 7,85 \cdot 10^3 \cdot 0,88 \cdot 10^{-4} = 0,691 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^2}$ – погонная масса пластины виброгасителя;

$q_{\text{прив}} = \frac{33}{140} \cdot q \cdot l = \frac{33}{140} \cdot 0,691 \cdot 0,25 = 0,041 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}^2}{\text{м}}$ – приведенная масса пластины виброгасителя;

2. Определение частоты и размаха вынужденных колебаний балки

$$f_{\text{в}}^{\text{э}} = \frac{n}{t} = \underline{\hspace{2cm}};$$

где $f_{\text{в}}^{\text{э}}$ – экспериментальное значение частоты вынужденных колебаний, Гц;

n – число пиков колебаний на выбранном отрезке виброграммы;

t – временной интервал, соответствующий выбранному отрезку виброграммы;

$2a = \underline{\hspace{2cm}}$ мм – размах колебаний (без виброгасителей).

Виброграмма 1

3. Определение положения грузов виброгасителя

$$l_{\text{вг}}^{\text{расч}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot E \cdot I_y}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_{\text{в}}^2 \cdot (m_{\text{гр}} + q_{\text{прив}})}} = \sqrt[3]{\frac{\quad}{\quad}} =$$

4. Оценка эффективности виброгасителя

$2a_{\text{вг}} =$ _____ мм, – размах колебаний (с установленными виброгасителями)

$k = \frac{2a}{2a_{\text{вг}}} =$ _____ – коэффициент характеризующий степень уменьшения

амплитуды колебаний

Виброграмма 2

Выводы: _____

Подпись студента _____ Подпись преподавателя _____

ОГЛАВЛЕНИЕ

Номер л/р	Название лабораторной работы	стр.
1	Определение прочностных характеристик бетона и кирпича разрушающими методами	3
2	Механические неразрушающие методы определения прочности бетона в конструкциях зданий и сооружений	6
3	Механические неразрушающие методы определения прочностных характеристик стали в конструкциях зданий и сооружений	10
4	Установление градуировочной зависимости «косвенная характеристика-прочность бетона» на примере ультразвукового метода	13
5	Ультразвуковой импульсный метод исследования свойств строительных материалов в образцах, конструкциях и сооружениях	16
6	Определение геометрических параметров и дефектоскопия бетонных и железобетонных конструкций с помощью ультразвукового томографа	19
7	Освидетельствование элементов сооружения на примере железобетонной балки	21
8	Определение усилия натяжения арматурных стержней при изготовлении предварительно напряженных железобетонных конструкций	24
9	Определение коэффициента тензочувствительности тензорезисторов (градуировка тензорезисторов)	26
10	Тензорезисторный метод исследования напряженно-деформированного состояния материала конструкций	28
11	Статические испытания монорельсового пути	31
12	Исследование напряженного состояния модели металлической сварной фермы при действии статической нагрузки	35
13	Динамические испытания балки в режиме свободных колебаний	38
14	Динамические испытания балки в режиме вынужденных колебаний	40
15	Определение перемещений и напряжений при ударе	42
16	Оценка эффективности динамических гасителей колебаний	44

Отв. за выпуск — кафедра Испытания сооружений

Подписано к использованию 02.09.2015 г. Уч.-изд. л. 2,3. Объем данных 2 Мб

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет» (НИУ МГСУ).
129337, Москва, Ярославское ш., 26.
Издательство МИСИ – МГСУ.
Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru