



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Металлические, деревянные и пластмассовые  
конструкции»

## **Методические указания**

для выполнения практических работ по  
курсам

«Обследование и испытание зданий и  
сооружений», «Испытания и обследования  
зданий и сооружений»

# **«Статические испытания мо- дели металлической фермы»**

Автор  
Скачков С.В.

Ростов-на-Дону, 2018

## Аннотация

Методические указания для выполнения практических работ по курсам «Обследование и испытание зданий и сооружений» и «Испытания и обследования зданий и сооружений» по направлениям подготовки 08.04.01 «Строительство» и 08.03.01 «Строительство» очной и заочной форм обучения.

Методические указания содержат изложение последовательности организации и проведения статических испытаний конструкций. Рассматриваются методы обработки экспериментальных данных, приводятся критерии оценки действительной работы и качества конструкций по результатам испытаний.

Текст в скобках – сведения и пояснения, необходимые для выполнения и оформления работы.

## Автор

доцент, к.т.н., доцент  
кафедры «МДиПК»  
Скачков С.В.





## Оглавление

<b>«СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ МОДЕЛИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФЕРМЫ» .....</b>	<b>4</b>
1. Цель работы .....	4
2. Организация испытаний модели металлической фермы .....	4
3. Проведение испытаний.....	11
4. Обработка результатов испытаний .....	13
5. Оценка качества конструкции по результатам испытаний .....	16
<b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>18</b>

## «СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ МОДЕЛИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФЕРМЫ»

### 1. Цель работы

1. Ознакомление с организацией натурных испытаний конструкций.
2. Приобретение практических навыков работы с измерительными приборами (выбор типов приборов, их тарировка, правила установки и снятия отсчетов, ведение журнала наблюдений).
3. Практическая проработка правил техники безопасности, методики загрузки и наблюдения за состоянием конструкции при проведении испытаний.
4. Изучение приемов обработки экспериментальных данных и методики оценки действительной работы конструкции.
5. Ознакомление с критериями оценки качества конструкции по результатам испытаний.

### 2. Организация испытаний модели металлической фермы

Испытания строительных конструкций и сооружений производятся бригадой квалифицированных специалистов, инженеров, техников и группой подсобных рабочих, выполняющих работы по подготовке к испытанию и загрузке конструкции испытательной нагрузкой. Перед испытанием конструкции необходимо определить круг вопросов, на которые должен быть дан ответ в результате производства испытаний.

Во главе бригады стоит ответственный руководитель испытания, отвечающий за технику безопасности и правильность всего комплекса работ. В его обязанности входит руководство следующими основными этапами подготовки испытания.

1. Определение целей и задач испытания.
2. Ознакомление с проектной документацией и производство освидетельствования конструкций в натуре. Проверка качества материалов и соединений. Составление дефектной ведомости.
3. Статические расчеты конструкции с учетом выявленных размеров, фактических нагрузок, обнаруженных дефектов и принятых расчетных схем. Проведение поверочных расчетов конструкций по I и II предельным состояниям.
4. Выбор элементов сооружения или конструкций для производства испытаний.

5. Составление программы и проекта производства испытаний:

а) разработка схемы испытательной установки; конструирование опор и крепления связей для обеспечения устойчивости; проектирование подвесок, люлек, рычагов или способов установки домкратов для загрузки испытательной нагрузкой. Выбор мест и способов установки динамометров для контроля величины нагрузки во время производства испытаний. Разработка мероприятий по технике безопасности для обеспечения способов разгрузки конструкций в момент, предшествующий разрушению. Обеспечение безопасности людей (выставка под люльки, применение загрузки домкратами, устройство подмостей для установки приборов, снятия отсчетов и возможности наблюдения за состоянием конструкций в период проведения испытания);

б) выбор приборов для производства измерений деформаций, составление схемы расстановки приборов в соответствии с целями и задачами испытаний;

в) разработка режимов проведения испытаний;

г) определение величины испытательной нагрузки производится с учетом действительных размеров, расчетной схемы, обнаруженных дефектов и задач, поставленных при испытании конструкции;

д) определение величины ступеней загрузки (обычно 20% от  $P_{мзх}$ ) и последовательности приложения и снятия нагрузки. Устанавливаются порядок снятия и записи отсчетов и время выдержки.

Большая трудоемкость и стоимость статических испытаний требуют большой тщательности подготовки программы испытаний, так как достаточная продуманность и четкость методов реализации поставленных задач, а также метрологическая проработка предопределяют эффективность всех остальных этапов работ, достоверность и надежность полученных результатов.

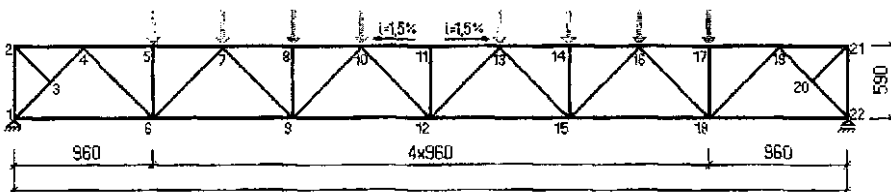
## 2.1. Задачи проведения испытаний

Натурные испытания статической нагрузкой модели металлической фермы производятся с целью:

- 1) определения жесткости фермы;
- 2) выявления действительной работы конструкции;
- 3) оценки качества конструкции и пригодности ее к дальнейшей эксплуатации по результатам испытаний.

## 2.2. Общая характеристика фермы

Объектом исследования является экспериментальная стропильная ферма пролетом  $L=36$  м по серии 1.460.3 – 18.1 КМ. Для экспериментального исследования действительной работы конструкции спроектирована и изготовлена крупноразмерная модель с использованием геометрического подобия в масштабе 1:6.3.



**5760**  
**Рис. 1. Схема фермы**

Пролет модели фермы  $L = 5760$  мм. Размер панели – 960 мм. Пояса параллельные с уклоном 1.5% из парных прокатных уголков, решетка раскосная из парных прокатных уголков. Соединение элементов с поясами при помощи фасонки на сварке. Пояса и решетка фермы выполнены из стали С 245 по ГОСТ 380-88\*, фасонки – из стали С 255 по ГОСТ 380-88\*. Сварка проводилась электродом типа Э-42 по ГОСТ 9466-75\*.

Верхний и нижний пояса модели фермы запроектированы из парных прокатных уголков размером 40x40x4 и 32x32x4, решетка – из парных прокатных уголков: 32x4, 25x4 и 20x4 (по ГОСТ 8509-93 – сталь прокатная угловая равнополочная). Толщина фасонки 4 мм. Расчетная схема фермы с указанием геометрических размеров и маркировкой узлов показана на рис. 1.

## 2.3. Освидетельствование конструкций в натуре

Первым этапом организации натуральных испытаний является освидетельствование конструкций и выбор объекта испытания. Освидетельствование выполняется в соответствии с СНиП П-23-81\* – раздел 20 "Дополнительные требования по проектированию стальных конструкций зданий и сооружений при реконструкции"<sup>1</sup>.

Обследование включает:

- 1) предварительный осмотр сооружений или конструкций;

2) ознакомление с имеющейся проектной документацией: чертежами, актами на скрытые работы, отчетами предыдущих обследований, документами на проведенную реконструкцию, ремонт и др;

3) программу проведения обследований, маркировочные схемы с обозначением осей, стержней, узлов;

4) детальное обследование конструкций с проверкой соответствия геометрических размеров сечений проекту, выявлением дефектов конструкций и подробным описанием отступлений от проекта; дефекты, влияющие на несущую способность и поддающиеся исправлению, должны быть устранены до производства испытаний.

По указанию руководителя студент производит детальное обследование одного из узлов фермы: проверку геометрических размеров, наличие и величины искривлений элементов, правильность центрирования стержней в узлах, проверку установки фермы в проектное положение. По результатам проведенных обследований в отчет заносятся сведения (табл. 1).

Таблица 1

### Дефектная ведомость

Номер узла	Эскиз узла (с указанием фактических размеров)	Обнаруженные дефекты и отступления от проекта	Влияние на несущую способность и мероприятия по усилению

## 2.4. Теоретические расчеты прочности и жесткости конструкции

Статический расчет производится на ПЭВМ по программе расчета плоских рамных систем.

В качестве расчетной схемы фермы принят плоская стержневая система с шарнирным сопряжением всех стержней в узлах.

Для упрощения расчета не учитывается возможное искривление стержней и их отклонение от вертикали.

Результаты определения усилий в основных элементах фермы и перемещений узлов по нижнему поясу от единичной нагрузки показаны в табл. 2 и 3.

Таблица 2

№	Номер стержня	Усилие $N, kH$	Сечение	Геометрические характеристики				
				$A, cm^2$	$W_x, cm^3$	$I_x, cm^4$	$i_x, cm$	$i_y, cm$
1	1-3	-5.209	2L32x4	4.86	2.0	4.52	0.96	1.49
2	3-4	-5.209	2L32x4	4.86	2.0	4.52	0.96	1.49
3	1-6	3.255	2L32x4	4.86	2.0	4.52	0.96	1.49
4	4-5	-6.51	2L32x4	4.86	2.0	4.52	0.96	1.49
5	4-6	5.104	2L25x4	3.72	1.18	2.06	0.74	1.21
6	9-10	-1.302	2L25x4	3.72	1.18	2.06	0.74	1.21
7	9-12	11.392	2 L40x4	6.16	3.2	9.16	1.22	1.8
8	10-11	-11.392	2L40x4	6.16	3.2	9.16	1.22	1.8
9	8-10	-10.58	2L40x4	6.16	3.2	9.16	1.22	1.8

Таблица 3

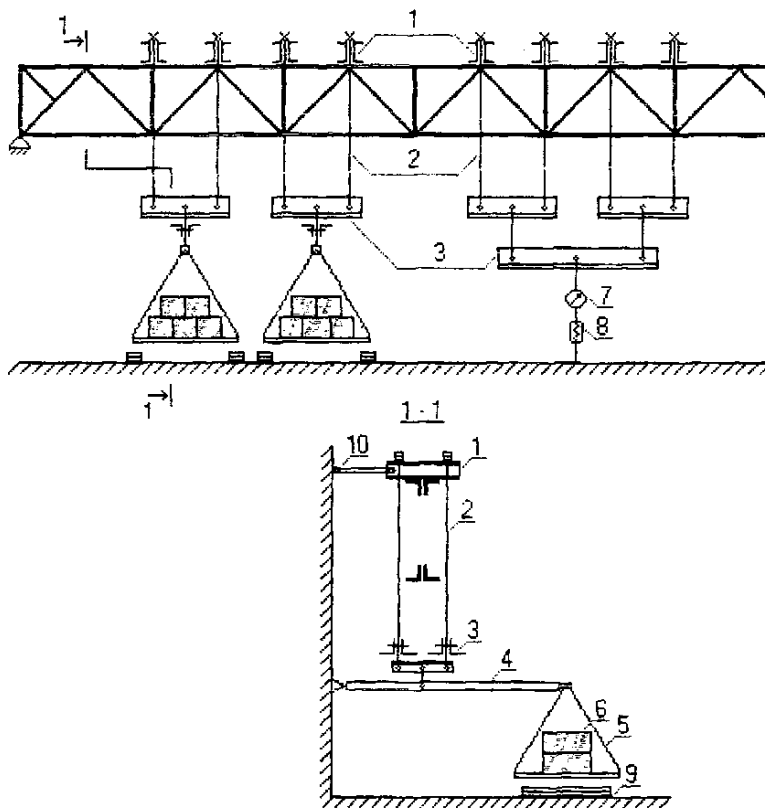
Нагрузка	Вертикальное перемещение узлов, мм				
	6	9	12	15	18
На L/2 слева	0.4	0.7	0.7	0.5	0.3
По всему пролету	0.7	1.2	1.3	1.2	0.7
На L/2 справа	0.3	0.5	0.7	0.7	0.4

### 2.5. Схема испытательной установки

Нагрузка на узлы 5, 7, 8, 10 (рис. 2) производится при помощи подвесок, рычагов (с соотношением плеч 1:5) и люлек. Люльки загружаются гирями по 0.2 кН в пять этапов.

Нагрузка на узлы 13, 14, 16, 17 прикладывается через систему подвесок и распределительных балок винтовым домкратом. Величина нагрузки контролируется динамометром.



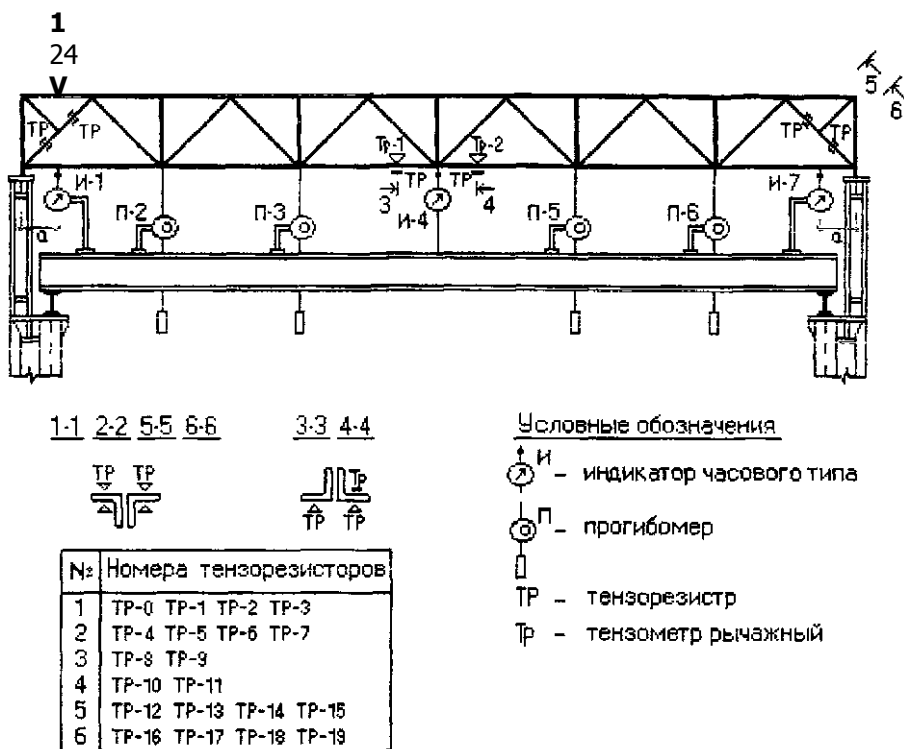


**Рис. 2. Схема испытательной установки**

1) прогоны, 2) подвески, 3) балансиры, 4) рычаг, 5) люлька, 6) гари, 7) динамометр, 8) домкрат, 9) страховочные клинья, 10)распорки для обеспечения устойчивости верхнего пояса фермы

### 2.6. Схема расстановки приборов

Для определения величины прогабов устанавливаются прогабомеры системы Максимова и индикаторы часового типа. Для определения величины напряжений -тензометры рычажные и тензорезисторы.



**Рис. 3. Схема расстановки приборов**

Количество и типы измерительных приборов и точки производства измерения выбираются в соответствии с задачами испытания. Расположение приборов на схеме указывается условными значками с указанием номера. Их местоположение привязывается к ближайшему узлу. Если в одном сечении располагается несколько приборов, то на схеме обозначаются номера сечений и на эскизе показывается расстановка и привязка приборов к сечению.

Схема расстановки приборов показана на рис. 3.

## 2.7. Режимы загрузки

С целью выявления возможного развития пластических деформаций, изменений величин упругих и нарастания остаточных деформаций, испытание металлических ферм производится тремя циклами загрузки.

В каждом цикле для исследования влияния возможных комбинаций распределения нагрузок на напряженное состояние конструкции загрузка фермы производится в следующей последовательности:

- а) нагрузка прикладывается на узлы 5,7, 8,10 (загрузка слева), затем на узлы 13,14,16,17 (загрузка по всему пролету);
- б) конструкция выдерживается под нагрузкой 10-15 мин со снятием отсчетов по приборам в начале и конце выдержки;
- в) разгрузка фермы производится сначала с правой стороны (нагрузка справа), а потом с левой (полное разгрузка).

Испытательная нагрузка прикладывается порциями по 0.50 кН на узел в пять этапов. Полная узловая нагрузка составляет 2.50 кН.

## 2.8. Основные мероприятия и правила техники безопасности

- четкая организация работ по загрузке конструкций, снятию отчетов и осмотру состояния конструкции во время проведения испытаний;
- возможность мгновенного снятия испытательной нагрузки для предотвращения внезапного лавинного разрушения конструкции. (Использование для загрузки домкратов или других механизмов; устройство подклиньки под грузовыми люльками; устройство поддерживающих лесов, способных воспринять на себя испытательную нагрузку и вес конструкции).

## 3. Проведение испытаний

### 1. Предварительное загрузка.

На этом этапе проверяется правильность действия испытательной установки, всех установленных приборов и аппаратуры. Производится окончательная отработка согласованных действий исполнителей.

Предварительное загрузка производится небольшой порцией нагрузки, которая затем снимается.

### 2. Запись показаний приборов.

Показания приборов записываются в журнал испытаний. Для каждого этапа загрузки записываются начальный отсчет Н.О., конечный отсчет К.О. и вычисляется разность отсчетов Р.О. Вычисление разностей отсчетов на каждом этапе загрузки во время проведения испытаний необходимо для контроля за их ходом.

При работе конструкции в пределах упругости при равных порциях загрузки должно, получаться примерно одинаковое приращение деформации. Причинами отличающихся друг от друга разностей отсчетов могут быть:

- ошибки снятия отсчетов;
- ненадежность установки прибора или его порча;
- неточность в приложении нагрузки;
- начало развития пластических деформаций.

Сопоставление деформаций на разных этапах загрузки позволяет вовремя устранить имеющиеся ошибки или принять меры по технике безопасности против внезапного обрушения конструкции. Запись показания приборов рекомендуется проводить с соблюдением возможно большей одновременности.

Помимо записи показаний, фиксируется время записи, номер этапа, величина нагрузки, а также условия проведения испытания, температура, влажность и другие атмосферные факторы, влияющие на точность измерений и величину деформаций.

В примечании должны обязательно отмечаться случайные толчки, удары, воспринимаемые конструкцией при загрузке. Эти данные могут быть использованы при обработке результатов испытания.

### 3. Наблюдение за состоянием нагружаемого объекта.

Перед началом испытаний на конструкции отмечаются краской все обнаруженные дефекты. После приложения каждой ступени нагрузки повторным осмотром выявляется как появление новых повреждений, так и степень развития старых. Выявленные и развивающиеся дефекты и трещины обозначаются на конструкции с указанием ступени загрузки. Кроме того, появление их отмечается в специальных ведомостях. В процессе загрузки и после окончания испытания необходима фотосъемка хода испытаний и поврежденных мест. Снимки являются важным документом, подтверждающим результаты исследования. Наличие таких фотографий облегчает обработку данных эксперимента и их оценку.

Во время всего хода проведения испытаний необходимо соблюдать правила техники безопасности.

## 4. Обработка результатов испытаний

### 4.1. Определение полных, остаточных и упругих прогибов

Вычисление величин полного, остаточного и упругого прогибов производится по формулам

$$f^n = f^{изм} - \frac{f_l + f_n}{2}; f^{изм}; f_l; f_n - \text{для полного нагружения,}$$

$$f^{ост} = f^{изм} - \frac{f_l + f_n}{2}; f^{изм}; f_l; f_n - \text{при полной разгрузке,}$$

$$f^{упр} = f^n - f^{ост}$$

где  $f^{изм}$  – измеренный прогиб (перемещение);

$f_l; f_n$  – перемещение (осадка) правой и левой опор

Если приборы, фиксирующие величину осадки  $f_l$  и  $f_n$  смещены с оси опор, то истинные величины полного, остаточного и упругого прогибов находятся умножением полученных величин на поправочный коэффициент “ $k$ ”

$$f_{ист}^n = k \cdot f^n; f_{ист}^{ост} = k \cdot f^{ост}; f_{ист}^{упр} = k \cdot f^{упр} \quad (4)$$

Коэффициент “ $k$ ” определяется по табл. 4 в зависимости от соотношения  $a/L$  и вида нагрузки, где  $a$  – расстояние от оси опоры до прибора;  $L$  – пролет.

Вид нагрузки	Коэффициент “ $k$ ” при отношении $a/L$					
	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
Равномерно-распределенная	1,285	1,189	1,146	1,104	1,068	1,033

Геометрический смысл вычислений по формулам (1) и (4) показан на рис. 4.

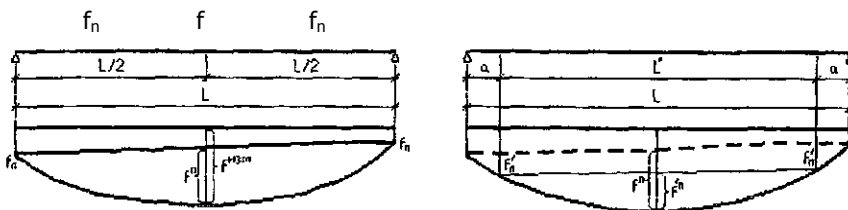


Рис.4

Определение полного, остаточного и упругого прогибов производится студентом по трем циклам загрузки и записывается в отчет.

#### 4.2. Изогнутая ось нижнего пояса фермы под полной нагрузкой

За начальное положение оси нижнего пояса условно принимается прямая линия, на которой изображаются точки расположения измерительных приборов. По вертикали откладываются измеренные величины по каждому прибору. Соединив концы отложенных отрезков ломаной линией, получают форму изогнутой оси нижнего пояса (рис. 5).

Обязательным условием при построении графиков является точное соблюдение выбранного масштаба.

Форма кривой изогнутой оси нижнего пояса характеризует работу фермы под нагрузкой и помогает выявить отдельные дефекты.

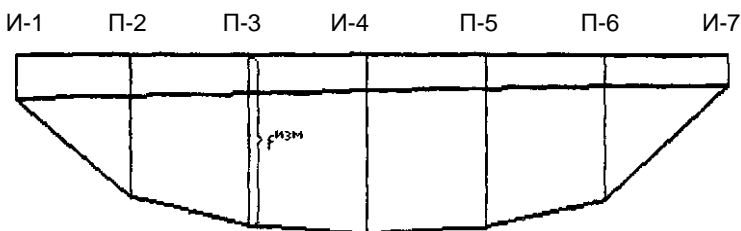


Рис 5.

#### 4.3. График зависимости прогиба фермы в середине пролета от нагрузки

Для построения графика определяются величины полных прогибов фермы для каждого этапа загрузки та формуле (1). График строится в координатах "нагрузка" – "прогиб". Форма графика показана рис. 6.

Если конструкция подчиняется закону Гука, то график будет представлен прямой линией.

Резкие переломы кривой "нагрузки – деформация" свидетельствуют о неправильной работе приборов, неполадках при проведении испытаний или о наличии развивающихся пластических деформаций.

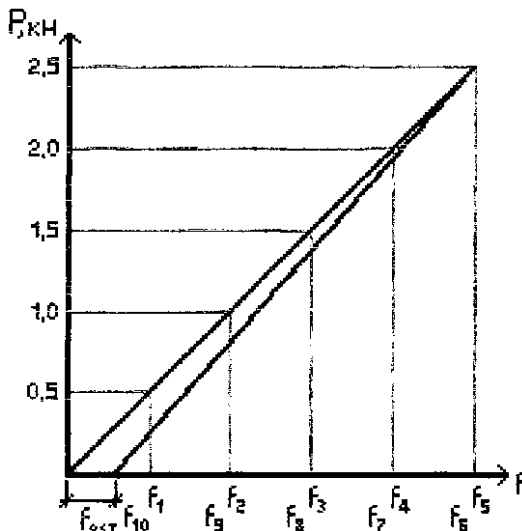


Рис.6

#### 4.4. Определение напряжений и фактических усилий в стержнях

Определение напряжений в стержнях при одноосном напряженном состоянии и отсутствии пластических деформаций определяется по закону Гука

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \quad (5)$$

При использовании механических тензометров:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E = \frac{\Delta l}{l} E = \frac{(n_k - n_n) E}{1000 \cdot l_\sigma} \quad (6)$$

при использовании тензорезисторов:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E = (n_k - n_n) \cdot 10^{-5} \cdot E \quad (7)$$

где  $k_6$  – база механического рычажного тензметра;  
 $n_k, n_n$  – конечный и начальный отсчеты по прибору. Напряжения, определенные по показаниям приборов, соответствуют месту их установки.

Студент по заданию преподавателя для характерных сечений вычисляет напряжения по показаниям механических тензметров и цифрового тензометрического комплекса 1ДТК-1.

## 5. Оценка качества конструкции по результатам испытаний

Оценка качества конструкции производится на основании всестороннего анализа опытных данных и сопоставления их с данными теоретических расчетов, уточненных в соответствии с фактическими размерами, характеристиками материалов и состоянием объекта

При оценке качества испытываемой фермы студенты проводят сравнения и анализ следующих факторов.

### 5.1. Величина упругих деформаций

$$f^{ynpI} \approx f^{ynpII} \approx f^{ynpIII} = const = \dots$$

Упругие деформации не изменяются.

5.2.  $f^{ynpI} = \dots \leq f^{meop} = \dots$

5.3.  $f^{ocmI} = \dots > f^{ocmII} = \dots$

При повторных нагрузках величина остаточных деформаций не увеличивается

5.4  $f^{ocm} = \dots < [f] = 0.05 f^{ynp} = \dots$

Остаточные деформации находятся в пределах требований норм.

5.5  $\sigma = \dots < \sigma^{meop} = \dots < R_y$



## Статические испытания модели металлической фермы

Напряжения в элементах конструкции не превышают значений расчетного сопротивления  $R_y$ .

### **Вывод**

Анализируя форму графиков, характеризующих работу конструкции и сравнивая опытные и теоретические величины, можно сделать вывод:

- ферма удовлетворяет условиям прочности и жесткости и может быть допущена к дальнейшей эксплуатации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния (утв. Приказом Ростехрегулирования от 27.12.2012 N 1984-ст)
2. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений /Госстрой России. М.,2004
3. Лужин О. В. и др. Обследование и испытание сооружений. - М: Стройиздат, 1987. – 263 с.
4. Обследование и испытание зданий и сооружений под ред. В.Л.Римшина. М., ВШ., 2006.
5. Г.Б.Авдейчиков. Испытание строительных конструкций. М.,2009
6. СП 20.13330.2016. Свод правил. Нагрузки и воздействия. (утв. Приказом Минрегиона РФ от 03.12.2010 N 891/пр)
7. СП 22.13330.2011. Свод правил. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\* (утв. Приказом Минрегиона РФ от 28.12.2010 N 823)
8. СП 16.13330.2011. Свод правил. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\* (утв. Приказом Минрегиона РФ от 27.12.2010 N 791)