Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего
Профессионального образования

НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. Р.Е.Алексеева

Кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ РАМЫ

(Методические указания к лабораторной работе по курсам «Строительная механика машин», «Строительная механика корабля»)

Нижний Новгород
2009

СОДЕРЖАНИЕ

Стр

1 Цель работы ……3
2 Описание лабораторной работы ……..…… 3
3 Порядок выполнения работы …… 3
4 Представление результатов и обработка экспериментальных данных 4
5 Теоретические результаты ……. 5
6 Анализ полученных результатов …….. 7
Литература ……. 8

1 Цель лабораторной работы

1.1 Освоение методики экспериментального исследования линейных и угловых деформаций рамной конструкции.
1.2 Экспериментальное определение углов поворота узлов и углов перекоса рамы при действии заданной нагрузки.
1.3 Сравнение полученных экспериментальных данных с результатами теоретического расчета по методу угловых деформаций.

2 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка для исследования деформации рамы, схема которой показана на рис.1, состоит из симметричной рамы (1) со стержнями постоянного сечения, двух шарнирных опор (2), индикаторов часового типа (3), неподвижного каркаса (5) и грузов известной массы (4), подвешиваемых в заданных сечениях стержней рамы.

Рама (1) выполнена из стержней, составленных из двух алюминиевых прокатных равнополочных уголков 15х15х1,5 и соединенных между собой стенками через короткие чередующиеся между собой планки толщиной 3 мм. Материалом стержней рамы является алюминиевый сплав АМг6М с модулем продольной упругости $E=0,71\cdot10^5$ МПа. В узлах рамы стержни соединены между собой с помощью книц, толщиной 3 мм и расположенных между стенками уголков. На оси симметрии рамы установлен пиллерс коробчатого сечения, шарнирно соединенный в узлах. Горизонтальные стержни рамы имеют консоли, выступающие за вертикальные стержни, которые предназначены для измерения углов поворота стержней в узлах.

При испытаниях рама (1) опирается на цилиндрические опоры (2), неподвижно закрепленные на каркасе (5). Измерения углов поворота узлов осуществляется путем измерения линейных перемещений консоли на заданном плече.

Линейные перемещения измеряются индикаторами часового типа (2) с ценой деления 0,01 мм. При измерении по черной шкале индикатора положительным будет перемещение, соответствующее движению ножки внутрь индикатора, поэтому направление реального перемещения зависит от положения индикатора на установке. Схема размещения индикаторов также указана на рис.1. Нагрузка на раму создается с помощью калиброванных грузов заданной массы. Величина нагрузки и ее распределение задаются преподавателем.

Каркас (5) служит для крепления опор и крепления индикаторов.

3 Порядок выполнения работы

3.1 Проверяется работоспособность установки путем подвешивания грузов заданной величины в соответствии со схемой, предложенной преподавателем. При этом ножка каждого индикатора должна иметь постоянный контакт с данным конструктивным элементом рамы, как при экспериментальной нагрузке, так и в ненагруженном состоянии (с начальным несъемным во время эксперимента грузом).

3.2 Снимаются и записываются показания всех индикаторов в начальном ненагруженном состоянии (с начальным несъемным во время эксперимента грузом).

3.3 Прикладывается нагрузка в соответствии с заданной схемой нагружения.

3.4 Снимаются и записываются показания всех индикаторов в нагруженном состоянии.

3.5 Выполнятся разгрузка рамы до начального состояния.

3.6 Повторяются пункты 3.2 – 3.5 не менее 3 раз.

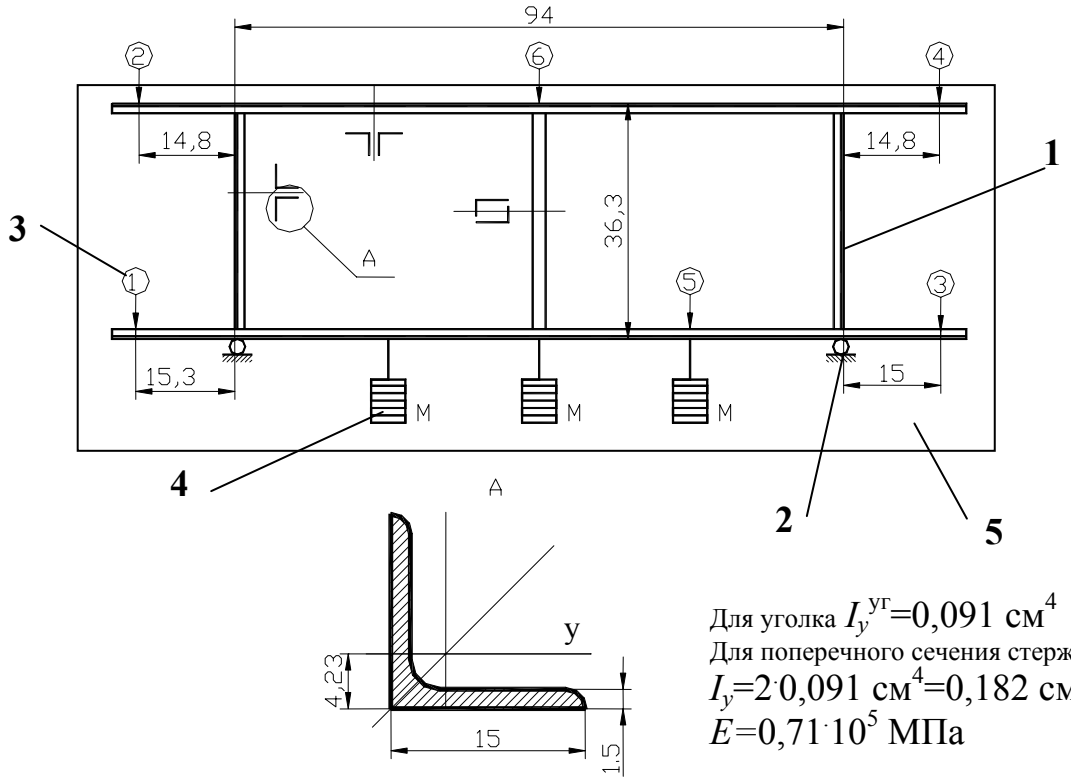

Рис.1 Схема лабораторной установки для исследования деформаций рамы
1 - рама (объект исследования); 2 - шарнирные опоры; 3 - индикаторы часового типа ИЧ-1; 4 – грузы; 5 - каркас.

4 Представление результатов и обработка экспериментальных данных

Результаты измерений представляются в виде, показанном в таблице 1. На основании полученных результатов измерений вычисляется для каждого индикатора среднее значение линейного перемещения, которое затем используется при последующих вычислениях.

Средние значения перемещений для каждого индикатора вычисляются по формуле

$$f_{icp} = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{j=m} f_{ij} \quad . \qquad (1)$$

Таблица 1 Результаты измерений

	№ опыта	№№ индикаторов на схеме					
		1	2	3	4	5	6
Начальные показания n_0, дел	1						
Показания при нагрузке n_1, дел							
Перемещение $f_i=(n_{1i}-n_{0i})0,01$, мм							
Начальные показания n_0, дел	2						
Показания при нагрузке n_1, дел							
Перемещение $f_i=(n_{1i}-n_{0i})0,01$, мм							
Начальные показания n_0, дел	3						
Показания при нагрузке n_1, дел							
Перемещение $f_i=(n_{1i}-n_{0i})0,01$, мм							
Средние $f_{icp}=\Sigma f_{ij}/3$, где $j=1,2,3$							

Угол поворота i-го узла в радианах вычисляется по формуле

$\varphi_i=f_i/b_i$, (2)

где b_i – расстояние от узла до индикатора (плечо измерения угла), i=1,2,3,4.

Угол перекоса рамы вычисляется по формуле

$\psi=f_6/l_1$, (3)

где $l_1= l/2$=940/2=470 мм.

Экспериментальный прогиб нижнего стержня рамы в середине его пролета определится выражением

$w_5= f_5 - f_6/2$. (4)

5 Теоретические результаты

Для раскрытия статической неопределимости рамы используется метод угловых деформаций. Расчетная схема рамы и обозначения узлов приведены на рис.2.; пролеты стержней рамы приняты по нейтральным линиям стержней. Действующая на раму нагрузка показана условно. Основные размеры стержней рамы:

L=931,5 мм; H=354,5 мм; $L/2$=465,8 мм; I=0,182 см^4.

Приняв

$l_0 = l^{\max} = L/2 = 0{,}4658 м$

$J_0 = J^{\min} = J = 0{,}182 см^4$

Получим $k_{ij} = \frac{J_{ij}}{J_0} \cdot \frac{l_0}{l_{ij}}$ (5)

Тогда

k_{12}=0,4658/0,3545=1,314; $k_{17}=k_{26}$=1.

Составляем основные уравнения вида

$$2\left(\sum_j k_{ij}\right)\omega_i + \sum_j k_{ij}\omega_j - 3\sum_j k_{ij}\psi_{ij} = \sum_j m_{ij} - M_i \quad (6)$$

Узел 1

$2(k_{12}+k_{17})\omega_1 + k_{12}\omega_2 + k_{17}\omega_7 - 3k_{17}\psi_{17} - 3k_{12}\psi_{12} = m_{12} + m_{17}$

$2(1{,}314+1)\omega_1 + 1{,}314\omega_2 - 3\psi_{17} = m_{17}$

$4{,}628\omega_1 + 1{,}314\omega_2 - 3\psi_{17} = m_{17}$

где ψ_{12}=0, ω_7=0, m_{12}=0.

Узел 2:

$$2(k_{12}+k_{26})\omega_2+k_{12}\omega_1+k_{26}\omega_6-3k_{12}\psi_{12}-3k_{26}\psi_{26}=m_{21}+m_{26}$$

$$2(1{,}314+1)\omega_2+1{,}314\omega_1-3\psi_{26}=m_{26}$$

$$4{,}628\omega_2+1{,}314\omega_1-3\psi_{17}=m_{26}$$

где $\psi_{12}=0$, $\psi_{26}=\psi_{17}$, $\omega_6=0$, $m_{12}=0$.

Составляем дополнительное уравнение вида

$$-3k_{17}\frac{\psi_{17}}{\overline{\psi}_{17}}\omega_1-3k_{26}\frac{\psi_{26}}{\overline{\psi}_{17}}\omega_2-3k_{17}\frac{\psi_{17}}{\overline{\psi}_{13}}\omega_7-3k_{26}\frac{\psi_{26}}{\overline{\psi}_{17}}\omega_6+6\left[k_{17}\left(\frac{\psi_{17}}{\overline{\psi}_{17}}\right)^2+k_{26}\left(\frac{\psi_{26}}{\overline{\psi}_{17}}\right)^2\right]\psi_{17}=$$

$$=\frac{K_0A_{17}}{\overline{\psi}_{17}}-(m_{17}-m_{71})\frac{\psi_{17}}{\overline{\psi}_{17}}-(m_{26}-m_{62})\frac{\psi_{26}}{\overline{\psi}_{17}} \qquad (7)$$

Рассматриваемая рама при симметричной нагрузке имеет один возможный перекос, указанный на рис.3. Примем в качестве независимо поворачивающегося стержень 1-7, тогда независимый угол перекоса будет

$$\overline{\psi}_{17}-НУП,\quad а\quad соотношения\quad равны\quad \frac{\psi_{26}}{\overline{\psi}_{17}}=1;\quad \frac{\psi_{46}}{\overline{\psi}_{17}}=\frac{\psi_{37}}{\overline{\psi}_{17}}-1;$$

Работа на возможном перекосе равна

$$A_{17}=\frac{\psi_{17}}{K_0}\left(\sum_i P_il_i+\sum_j P_jl_j\right)$$

$$-3\omega_1-3\omega_2+6(1+1)\psi_{17}=\sum_i^k P_il_i+\sum_j^n P_jl_j$$

$$-3\omega_1-3\omega_2+12\psi_{17}=\sum_i^k P_il_i+\sum_j^n P_jl_j$$

Окончательный вид системы уравнений приведен в таблице 2

Таблица 2 Система уравнений

Коэффициенты при неизвестных			Правая часть
ω_1	ω_2	ψ_{17}	
4,628	1,314	-3	m_{17}
1,314	4,628	-3	m_{26}
-3	-3	12	$\sum_i^k P_il_i+\sum_j^n P_jl_j$

Определитель системы уравнений равен

$$\Delta=\begin{vmatrix}4{,}628 & 1{,}314 & -3\\ 1{,}314 & 4{,}628 & -3\\ -3 & -3 & 12\end{vmatrix}=124{,}4$$

Решение системы можно записать в виде

$\omega_1=\Delta_1/\Delta$; $\omega_2=\Delta_2/\Delta$; $\psi_{17}=\Delta_3/\Delta$,

где $m=\sum_i^k P_il_i+\sum_j^n P_jl_j$,

$$\Delta_1=\begin{vmatrix}m_{17} & 1{,}314 & -3\\ m_{26} & 4{,}628 & -3\\ m & -3 & 12\end{vmatrix}\qquad \Delta_2=\begin{vmatrix}4{,}628 & m_{17} & -3\\ 1{,}314 & m_{26} & -3\\ -3 & m & 12\end{vmatrix}\qquad \Delta_3=\begin{vmatrix}4{,}628 & 1{,}314 & m_{17}\\ 1{,}314 & 4{,}628 & m_{26}\\ -3 & -3 & m\end{vmatrix}$$

Окончательно решение запишется в виде

$\omega_1=0{,}374\ m_{17}-0{,}00544\ m_{26}+0{,}0799\ m$

$\omega_2=-0{,}0544\ m_{17}+0374\ m_{26}+0{,}0799\ m$

$\psi_{17} = 0{,}0799\, m_{17} - 0{,}0799\, m_{26} + 0{,}1583\, m$

Вычисляем углы поворота узлов и угол перекоса рамы

$\alpha_1 = \omega_1 / K_0$; $\alpha_2 = \omega_2 / K_0$; $\varphi_{17} = \psi_{17} / K_0$; где $K_0 = \dfrac{2EJ_0}{l_0}$.

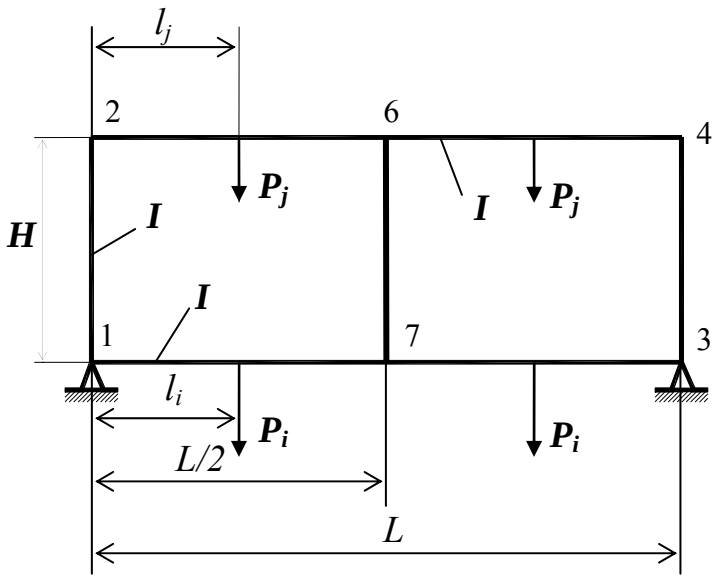

Рис.2 Расчетная схема рамы

6 Анализ полученных результатов

Результаты расчета сравниваются с полученными экспериментальными данными. Оценивается расхождение в процентах теоретических и экспериментальных данных по формулам

$$\Delta_i = \frac{\omega_i^э - \omega_i^m}{\omega_i^э} \cdot 100\%, \quad \Delta_\psi = \frac{\psi_{17}^э - \psi_{17}^m}{\psi_{17}^э} \cdot 100\%.$$

Результаты заносятся в таблицу 3.

Таблица 3 Результаты анализа

Величины	ω_1	ω_2	ψ_{17}
Экспериментальные			
Теоретические			
Расхождение Δ, %			

Литература

1. Описание и паспорта измерительных средств
2. Описание программного обеспечения «POWER GRACH»

Описание составили
Доцент, к.т.н. В.Д.Вешуткин
Доцент, к.п.н Т.В.Моисеева