



ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СЕЧЕНИЙ ПЕРЕКРЕСТНЫХ БАЛОК ФУНДАМЕНТОВ ЖИЛЫХ И ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

УДК 624.155.9

АВТОР

СЕМЕНЮК С.Д., д-р техн. наук, заведующий кафедрой, ГУВПО «Белорусско-Российский университет»

АННОТАЦИЯ

В статье приведены исследования напряженного состояния перекрестных балок фундаментов жилых и гражданских зданий в сечениях, подверженных совместному воздействию крутящего и изгибающего моментов, поперечной силы и крутящего момента, при совместном действии поперечной силы крутящего и изгибающего моментов.

The deformation principles of the terrestrial surface under karst formation conditions and on the anthropogenic soils are presented in the article. The analysis of ongoing processes and their influence on the building constructions is given.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

сечения, перекрестные балки, тензор напряжений, деформация, инварианты напряженного состояния.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Для обеспечения безотказной работы при эксплуатации и предотвращения аварий зданий и сооружений, возводимых на неравномерно деформируемом основании или на слабых грунтах, железобетонные фундаменты устраивают в виде непрерывных стен или железобетонных перекрестных балок. Современные методы расчета железобетонных конструкций зданий и сооружений должны учитывать максимальное соответствие расчетной схемы и реальной конструкции с учетом пространственного характера работы сооружения или системы. Расчетные схемы фундаментов под жилые и гражданские здания чаще всего представляют в виде системы перекрестных балок на упругом основании [1-3]. За расчетную модель пространственного фундамента в аварийном состоянии принята система перекрестных балок с жесткими узлами на упругом клиновидном основании. В [1-4] рассмотрены основные возможные случаи расположения фундаментов на деформируемом основании: нормальные условия эксплуатации; наличие поперечного уступа по всей ширине здания; наличие продольного уступа по всей длине здания; диагональное расположение ребра клина под пятном здания. Для вышеперечисленных случаев подчеркиваем, что система перекрестных балок представляет совокупность жесткосоединенных между собой стержней, и от действия эксплуатационных нагрузок в них будут проявляться крутящие и изгибающие моменты, а также поперечная сила.



АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ, В КОТОРЫХ НАЧАТО РЕШЕНИЕ ДАННОЙ ПРОБЛЕМЫ

Неравномерные деформации основания, возникающие при возведении и эксплуатации жилых зданий в сложных грунтовых условиях [5], следует считать одним из основных факторов, влияющих на их несущую способность, деформативность и долговечность. Обычно строительство в сложных грунтовых условиях велось на так называемых «плавающих фундаментах», образованных либо сплошной монолитной плитой достаточной толщины, либо плитой с пустотами. Плиты с пустотами могут использоваться для различного рода встроенных помещений. Это весьма существенно при строительстве зданий повышенной этажности, когда все более актуальным становится вопрос о рациональном использовании фундаментно-подвальной части здания.

Цель статьи – по исследованиям работы пространственных сечений перекрестных балок фундаментов жилых и гражданских зданий выявить напряженное состояние, образование и развитие трещин от совместного воздействия крутящего и изгибающего моментов, поперечной силы и крутящего момента, при совместном воздействии поперечной силы, крутящего и изгибающего моментов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Отдельные балки фундамента из перекрестных лент (его расчетная схема - система перекрестных балок на упругом основании) работают в общем случае на поперечный изгиб с кручением (рис. 1).

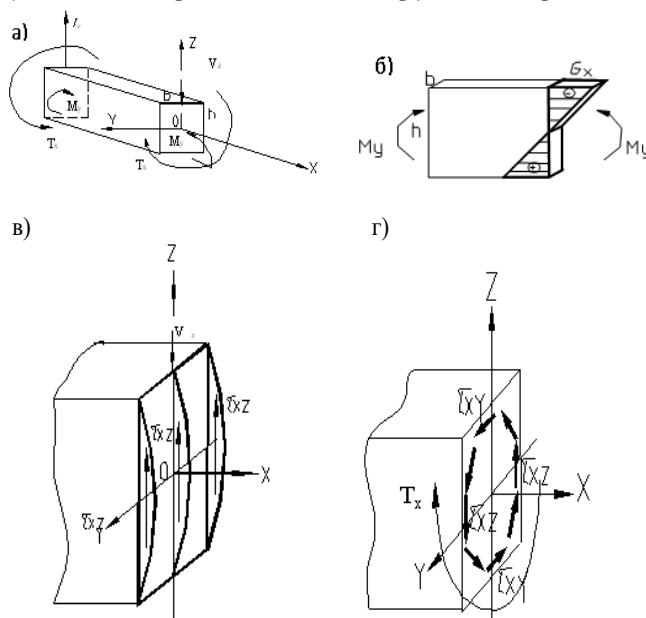


Рис. 1. Действия внешних силовых факторов на балку фундамента: а - общая схема; б - изгибающего момента - M_y ; в - поперечной силы - V_z ; г - крутящего момента - T_x ; M_y - изгибающий момент; T_x - крутящий момент; V_z - поперечная сила; b, h - размеры сечения

Рассмотрим подробнее работу балки прямоугольного сечения в упругой стадии.

Действие только изгибающего момента M_y (рис.1,б).

В этом случае напряженное состояние любой точки поперечного сечения описывается таким тензором напряжений ($\sigma_x = \frac{M_y}{J_y} \cdot z$):

$$T_n = \begin{bmatrix} \sigma_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Соответствующий тензор напряжений от действия только поперечной силы V_z ($\tau_{xz} = \frac{V_z \cdot S_{oy}}{b \cdot J_y}$) (рис.1, в):

$$T_n = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \tau_{xz} \\ 0 & 0 & 0 \\ \tau_{xz} & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Действие только крутящего момента T_x (рис.1, г).

Тензор напряжений, описывающий напряженное состояние:

$$T_n = \begin{bmatrix} 0 & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & 0 & 0 \\ \tau_{xz} & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где τ_{xy}, τ_{xz} - определяются формулами теории упругости в виде быстросходящихся рядов [6].

Таким образом, напряженное состояние в любой точке прямоугольного сечения балки, испытывающей деформацию плоского изгиба с кручением, описывается тензором напряжений [7]:

$$T_n = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & 0 & 0 \\ \tau_{xz} & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Для определения величин и направлений главных напряжений находим инварианты напряженного состояния. Для тензора напряжений (4):

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z = \sigma_x; \\ I_2 &= \sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{xz}^2 = -\tau_{xy}^2 - \tau_{xz}^2 < 0; \\ I_3 &= |T_n| = \tau_{xy} \tau_{xz}. \end{aligned} \right\} (5)$$

Находим главные напряжения из решения кубического уравнения:

$$\sigma^3 - I_1 \sigma^2 + I_2 \sigma - I_3 = 0; \quad (6)$$

$$\sigma^3 - \sigma_x \sigma^2 - (\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2) \sigma = 0. \quad (7)$$

Заметим, что в общем случае каждая балка системы перекрестных балок на упругом основании имеет:



- одно сечение, где $V_z=0$; $M_y=M_y^{max}$;
- два сечения, где $M_y=0$ (рис. 2).

Рассмотрим ниже каждый из этих случаев в отдельности

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДЛЯ ХАРАКТЕРНЫХ СЛУЧАЕВ

Случай 1

Рассмотрим сечение балки, на которое действует крутящий T_x и максимальный изгибающий момент M_y^{max} (рис. 3). Напряженное состояние любой точки этого сечения описывается тензором напряжений

$$T_n = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & 0 & 0 \\ \tau_{xz} & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

причем для каждой из четырех характерных точек сечения с наибольшими касательными напряжениями

$$T_n^A = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & 0 \\ \tau_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; T_n^{A'} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & 0 \\ \tau_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$T_n^B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \tau_{xz} \\ 0 & 0 & 0 \\ \tau_{xz} & 0 & 0 \end{bmatrix}; T_n^{B'} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \tau_{xz} \\ 0 & 0 & 0 \\ \tau_{xz} & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Таким образом, в точках В и В' прямоугольного сечения реализуется состояние чистого сдвига. В этих местах главные напряжения σ_1 и σ_3 направлены под углом 45° к осям ОХ и ОZ и лежат в плоскости, параллельной ХОZ. Главные напряжения $\sigma_2=0$. Если считать, что $b < h$, то $\tau_{xy} < \tau_{xz}$ и может получиться, что первая трещина образуется в точках В и В'. Рассмотрим этот вопрос подробнее. Для точки А (не для точки А', где бетон работает на растяжение!) последовательно находим главные напряжения.

$$\left. \begin{aligned} I_1^A &= \sigma_x (< 0); \\ I_2^A &= -\tau_{xy}^2 (< 0); \\ I_3^A &= 0; \end{aligned} \right\} \sigma^3 - \sigma_x \sigma^2 - \tau_{xy}^2 \sigma = 0; \quad (9)$$

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x}{2} + \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{4} + \tau_{xy}^2}; \quad \sigma_2 = 0; \quad \sigma_3 = \frac{\sigma_x}{2} - \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{4} + \tau_{xy}^2}.$$

Если учесть, что $\sigma_x < 0$, то, очевидно, для точки А $\sigma_1 < |\tau_{xy}|$, а так как $b < h$, то напряжение в точке В будет больше напряжения в точке А (оба растягивающие) $\sigma_1^B > \sigma_1^A$. Отсюда следует вывод, что при действии крутящего и изгибающего моментов трещины образуются посередине вертикальной стороны балки и их плоскость перпендикуляр-

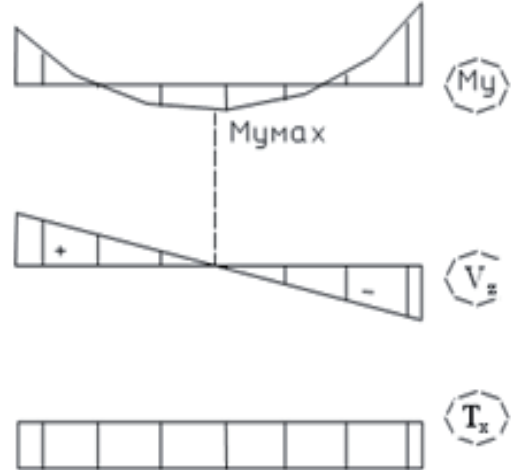


Рис. 2. Эпюры усилий в балке из системы перекрестных лент

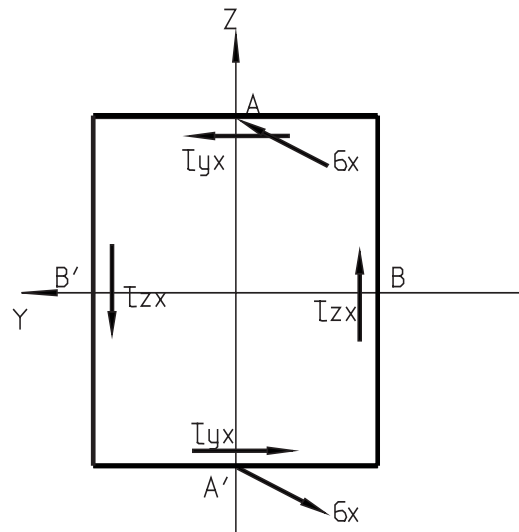


Рис. 3. Характер напряжений в сечении балки от действия крутящего и изгибающего моментов

на плоскости ХОZ и составляет 45° с осями ОХ и ОZ (рис. 4), так как направляющие косинусы $l = \frac{\sqrt{2}}{2}$; $m=0$; $n = \frac{\sqrt{2}}{2}$. В соответствии [7] производим проверку направляющих косинусов:

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1; \quad \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2 + 0^2 + \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2 = \frac{1}{2} + 0 + \frac{1}{2} = 1.$$

Следовательно, вышеизложенные выкладки верны.

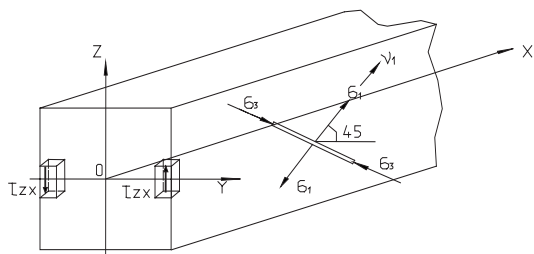


Рис. 4. Положение трещины в балке прямоугольного сечения при совместном действии крутящего и изгибающего моментов

Случай 2

Рассмотрим сечение балки с $M_y=0$ и совместном действии поперечной силы и крутящего момента. Напряженное состояние каждой точки такого сечения описывается тензором напряжений (рис. 5)

$$T_H = \begin{bmatrix} 0 & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & 0 & 0 \\ \tau_{xz} & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

Из этого (рис. 5) можно сделать вывод, что первая трещина образуется в точке В под углом 45° к продольной оси балки и становится винтовой, последовательно огибая А и А', а затем и В', так как все эти точки находятся в условиях чистого сдвига.

Случай 3

Рассмотрим общий случай сечения при совместном действии изгибающего и крутящего моментов и поперечной силы. Напряженное состояние любой точки такого сечения описывается тензором напряжений:

$$T_H = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & 0 & 0 \\ \tau_{xz} & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

Сразу можно отметить, что направление σ_1 и σ_3 в точках В и В' подобно направлению σ_1 и σ_3 в случае, представленном на рис.5.

Величины σ_1 в точке А $\sigma_1 < |\tau_{xy}|$.

Поэтому первая трещина образуется в точке В и будет направлена, как изображено на рис. 4. Далее справедливо все, отмеченное для случая 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При совместном действии изгибающего и крутящего моментов и поперечной силы на балку прямоугольного сечения первая трещина образуется посередине высоты сечения и направлена под углом 45° к продольной оси элемента.

Для того чтобы обобщить полученные выше результаты для случая работы материала сечения в неупругой стадии, нам следует лишь предположить, что при работе в неупругой стадии не меняется вид напряженного состояния, т.е. каждая балка работает на поперечный изгиб с кручением. Это предположение безусловно справедливо,

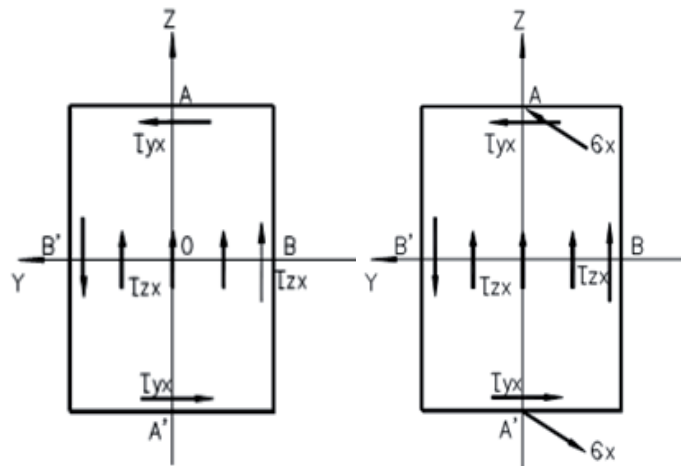


Рис. 5. Распределение касательных напряжений при совместном действии поперечной силы и крутящего момента

Рис. 6. Распределение напряжений в сечении балки при совместном действии изгибающего и крутящего моментов и поперечной силы.

поэтому все вышеперечисленные выводы будут справедливы и для неупругой работы балок системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Босаков С.В. Расчет системы перекрестных балок на двухслойном упругом основании / С.В. Босаков, С.Д. Семенюк // Вестник БПТИ. Строительство и архитектура. – Брест, 2000. – №1. – С. 14-16.
2. Семенюк С.Д. Расчет пространственных железобетонных фундаментов, как систем перекрестных балок, на упругом клиновидном основании / Семенюк С.Д. // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. – 2000. – №4. – С. 114-118.
3. Босаков С.В. Расчет железобетонных пространственных фундаментов, как систем перекрестных балок, на упругом основании с учетом ползучести бетона / С.В. Босаков, С.Д. Семенюк // Вестник БГТУ. Строительство и архитектура. – 2001. – №1. – С. 13-16.
4. Семенюк С.Д. Расчет по деформациям сборно-монолитных пространственно-рамных фундаментов / Семенюк С.Д. // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовки инженерных кадров Республики Беларусь: Сб. трудов VII международного науч.-метод. семинара. – Брест, БГТУ, 2001 – С. 385-390.
5. Метелюк Н.Е. Совершенствование расчета сооружений возводимых в сложных грунтовых условиях / Метелюк Н.Е. – Киев: Будівельник, 1980. – 143 с.
6. Тимошенко С.П. Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудвер. – М.: Наука, 1979. – 560 с.
7. Федосьев В.И. Сопроотивление материалов / Федосьев В.И. – М.: Наука, 1979. – 540 с.