

**ВЛИЯНИЕ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА РАБОТУ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ
КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ****INFLUENCE OF THE NODAL CONNECTION ON THE WORKING BEARING
ELEMENTS OF FRAME BUILDINGS**

Макалада имараттардын жана башка курулуштардын конструкцияларындагы негизги элементтердин ар кыл эсептөө модели берилген. Акыркы элементтер ыкмасын колдонуу менен сандык эсептөө жүргүзүлгөн. Конструкциялык өзгөчөлүктөрдүн чыңалып деформацияланган абалына тийгизген таасири жана системанын кысылган элементтерине келтирилген абдан чегине жеткен күч-басымдын мааниси чагылдырылган.

***Ачык сөздөр:** моделдер, эсептөө схемалары, конструкциялар, туруктуулук, чегине жеткенчекти күч-басым, түйүндүү жана түркүктүү бириктиргичтер, колонналар, плиталар, кабыктар.*

Представлены различные расчетные модели несущих элементов конструкций зданий и сооружений. Сделан численный расчет с использованием метода конечных элементов. Показано влияние конструктивных особенностей на напряженно-деформированное состояние и на значения критических нагрузок для сжатых элементов системы.

***Ключевые слова:** модели, расчетные схемы, конструкции, устойчивость, критические нагрузки, узловые и опорные соединения, колонны, плиты, оболочки*

The different calculation models of bearing elements of constructions of building and building are presented. A numeral calculation is done with the use of method of finite elements. Influence of structural features on the tensely-deformed state and on the values of the critical loading for the compressed elements of the system is shown.

***Keywords:** models, calculation charts, constructions, stability, critical loading, key and supporting connections, columns, flags, shells.*

Новые технологии и инновации в процессе строительства приводят к конструктивным изменениям, влияющих на совместную работу всех элементов системы. Особенно они важны при моделировании жесткости и податливости соединительных элементов. Целью данной работы является разработка расчетных моделей конструкций и оценка влияния конструктивных особенностей несущих элементов на напряженно-деформированное состояние зданий в расчетах на прочность и устойчивость. Для реализации поставленной цели были использованы компьютерные программы, имеющие возможность учитывать соответствующие конструктивные особенности.

Моделирование соединений и сопряжений несущих элементов. Моделирование работы соединений является важным этапом проектирования, поскольку оно может существенно влиять на построение расчетной модели конструкции. Влиянием работы соединений на распределение внутренних усилий и деформаций конструкции в целом можно пренебречь для упрощенных моделей или там, где это влияние составляет менее 10% от НДС [1-3]. Но там, где воздействия существенны (в соединениях с конечной жесткостью) это влияние значительно. Для принятия решения о необходимости учитывать при расчете влияния соединений, выделяют для них три типа соединений: 1- простое, для которого можно принять, что оно не передает изгибающий момент (шарнирное); 2-

жесткое, для которого можно принять отсутствие влияния на расчет; 3- с конечной податливостью, работа которого требует учета при расчете [4-5]. Наиболее простая схема для расчета – это шарнирное соединение, когда систему можно рассматривать как статически определимую. При жестком соединении система становится статически неопределимой и значения внутренних усилий и деформаций более занижены в сравнении с первым видом соединений. Третий тип соединений наиболее полно отражает истинную картину и должен учитываться при проектировании. Жесткость или податливость таких связей определяется через соответствующие коэффициенты, определяемые экспериментально или с помощью приближенных формул. В данной работе рассмотрены два предельных вида соединений: шарнирное и жесткое, сделана оценка их влияний на напряженно-деформированное состояние для 3-х решений: упругое, по первому предельному и второму предельному состояниям. Это дает возможность управлять жесткостью соединений в полученном диапазоне изменений НДС.

Как показывает практика, разрушение многих конструкций происходит в зонах сопряжений сборных конструкций, где наблюдается большая концентрация напряжений и деформаций. В данной работе взаимодействие колонн с плитами перекрытий моделируется для двух предельных вариантов: для связевых каркасов как шарнирное соединение и для рамных каркасов как жесткое. В действительности эти модели являются идеализированными. Расчетная схема плит перекрытий представляет собой сплошную пластину, шарнирно опертую по краям, т.к. в виду большой жесткости ригелей на изгиб, можно сопряжение по краям плиты представить как простое опирание. В рассмотренных примерах рассматриваются влияния узловых соединений и типы взаимосвязей колонн с фундаментом на НДС плит перекрытий.

К несущим элементам конструкции также относятся оболочки покрытия. Диафрагмы жесткости, на которые оболочка опирается, в виду их большой жесткости в своей плоскости, можно рассматривать как шарнирное опирание оболочки по всем краям. Эта упрощенная схема позволит получить в дальнейшем решение с использованием новой версии программы Лира-9-6.

Моделирование внутренних состояний конструкции. Внутренние усилия и деформации в элементах конструкции определяются, исходя из следующих состояний [6-8]:

- при расчете используется начальная геометрия конструкции, когда допустимо пренебрежение любыми изменениями поведения несущих элементов, вызванных увеличением внутренних усилий и деформаций. Эти критерии соответствуют упругому состоянию конструкции;

- при расчете учитывается влияние конечных деформаций, которые усиливают результаты внешних воздействий и существенно влияют на поведение конструкции. Эти критерии соответствуют образованию пластических шарниров и соответствуют пластическому состоянию конструкции.

В дальнейшем при расчете по предельным состояниям используется жесткопластическая модель. Упругопластическая модель приближенно реализуется с помощью метода малых упругопластических деформаций.

Моделирование конструктивных включений. В качестве дискретных включений в работе конструкции рассматриваются ребра, диафрагмы жесткости. Дискретность их расположений учитывается с помощью δ - функции и функции Дирака [6], в аналитических расчетах все виды включений заменены соответствующими реактивными усилиями (нормальными силами и моментами), действующими вдоль линий их действий, т.е. рассматриваются контактные задачи. В ребрах жесткости учитываются деформации растяжения, изгиба и кручения [6]. Грунтовое основание заменяется упругоподатливым основанием с двумя коэффициентами постели. В рассмотренных примерах рассмотрены три типа фундаментов: свайные, ленточные и плитные. Показаны степени влияния типов фундаментов на напряженно-деформированное состояние несущих элементов

конструкций. Рассмотрены 2 предельных вида соединений фундаментов с колоннами: жесткое и шарнирное. Это дает возможность определить диапазон изменений НДС несущих элементов для других видов соединений с фундаментом.

Разрешающие уравнения и зависимости для несущих элементов конструкции. При расчете колонн на прочность нормальные и касательные напряжения с учетом изгиба определяются по следующим формулам [1-3]:

$$\sigma_{\varphi} = \sigma_{\max} = \frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{J_{xn}} y \pm \frac{M_y}{J_{yn}} x, \quad (1)$$

где x, y – главные оси рассматриваемого сечения; N – продольное усилие; M_x, M_y – изгибающие моменты, возникающие при внецентренном сжатии; A_n – площадь поперечного сечения нетто; J_{xn}, J_{yn} – моменты инерции поперечного сечения.

$$\tau_{\text{изг}} = \frac{Q_y S_x^{\text{отс}}}{I_x \delta} + \frac{Q_x S_y^{\text{отс}}}{I_y \delta}, \quad S_x = \int_{A^{\text{отс}}} y dA = \sum_i \delta_i \int_{L^{\text{отс}}} y(s) ds, \quad (2)$$

$$S_y = \int_{A^{\text{отс}}} x dA = \sum_i \delta_i \int_{L^{\text{отс}}} x(s) ds.$$

В (2) Q_x, Q_y – поперечные силы при изгибе, δ – ширина сечения в рассматриваемой точке сечения, S_x, S_y – статические моменты. В виду большой жесткости колонн на кручение, в расчетах на прочность оно не учитывается.

Для тонкостенных стержней характерна слабая сопротивляемость кручению, поэтому при изгибе с кручением полное касательное напряжение определяется следующей суммой [7-8]:

$$\tau = \tau_{\text{кр}} + \tau_{\text{изг}} \quad (3)$$

При свободном кручении стержня касательные напряжения определяются по следующей формуле:

$$\tau_{\text{кр}} = \frac{M_{\text{кр}}}{\delta \cdot 2A} \quad (4)$$

В (4) $M_{\text{кр}}$ – крутящий момент при свободном кручении

При рассмотрении устойчивости сжатых тонкостенных элементов необходимо определять критические нагрузки, соответствующие появлению изгибно-крутильным формам потери устойчивости. Для ригелей необходимо определять критические нагрузки, соответствующие потере устойчивости плоской формы изгиба.

Дополнительные напряжения с учетом изгибно - крутильных деформаций вычисляются по формулам [9]:

$$\sigma_{\omega} = \frac{B_{\omega}}{J_{\omega}} \omega, \quad \tau_{\omega} = \frac{M_{\omega} S_{\omega}^{\text{отс}}}{J_{\omega} \delta}. \quad (5)$$

Величина J_{ω} – секториальный момент инерции сечения. ω – секториальная площадь, B_{ω} – бимомент, обобщенный силовой фактор в сечении, отвечающий напряжениям σ_{ω} , S_{ω} – статический секториальный момент, M_{ω} – крутящий момент стесненного кручения.

Для плит перекрытий использована техническая теория изгиба пластин [7-8]:

$$\nabla^2 \nabla^2 w = \frac{q}{D}, \quad \nabla^2 w = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}. \quad (6)$$

В (6) w – прогибы срединной поверхности пластины; q – интенсивность внешней нормальной нагрузки; D – цилиндрическая жесткость.

Для оболочек покрытий используются уравнения равновесия, полученные на основе гипотез Кирхгоффа-Лява [9]. Практические расчеты оболочек чаще всего связаны с нормальной составляющей внешней нагрузки P_3 , поэтому в дальнейшем $P_1=P_2=0$

После преобразований получаются следующие основные уравнения теории пологих оболочек [10]:

$$\Delta_k^2 \varphi + D \Delta^2 \Delta^2 w - P_3 = 0, \quad \frac{1}{Eh} \Delta^2 \Delta^2 \varphi - \Delta_k^2 w = 0, \quad (7)$$

$$\text{где } \Delta_k^2 = \frac{\partial}{\partial x} (k_2 \frac{\partial}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k_1 \frac{\partial}{\partial y}).$$

В (7) φ – функция напряжений, w – прогибы срединной поверхности оболочки.

Между ребром и оболочкой по линии их контакта имеется полное сопряжение в отношении прогибов и угла поворота. Условия сопряжения оболочки с ребрами и контурными элементами выражаются в равенстве перемещений по линии контакта.

Вдоль ребер i -го направления условия неразрывности деформаций с оболочкой имеют вид [4, 6]:

$$\omega_i^0 = \omega_i, u_i^0 = u_i - \eta_i \frac{\partial \omega_i}{\partial x}, v_i^0 = v_i - \eta_i \frac{\partial \omega_i}{\partial y}. \quad (8)$$

Индекс «0» означает ось ребра, а η_i – эксцентриситет i -го ребра к срединной поверхности оболочки ($\eta_i > 0$), когда ребра расположены по наружной поверхности). В (8) u, v, ω , тангенциальные и нормальные смещения точек срединной поверхности.

Заменяем действие ребер подкрепленной оболочки эквивалентной системой реактивных сил и моментов, приложенных к обшивке вдоль координатных линий [6].

Результаты численных и аналитических исследований. В качестве примера рассматривается трехэтажное железобетонное здание размером 12x30м. Геометрические параметры и жесткость всех элементов, нагрузки и данные по грунту подобраны соответственно нормам [11], заложенных в программе. При расчете использовались аналитические и численные методы [11-12].

На рис.1 представлена диаграмма зависимости сжимающих усилий от вида узловых соединений в вертикальных несущих элементах конструкции (крайние колонны в поперечном направлении). Рассмотрены 3 решения: 1-упругое решение, 2-решение по 1-му предельному состоянию, 3- решение по 2-му предельному состоянию. Как видно, при шарнирном соединении в сравнении с жестким эти усилия увеличиваются на 7-10%. Наиболее напряженными в работе являются средние колонны, в них сжимающие усилия увеличиваются в сравнении с крайними колоннами соответственно для 3 решений на 40%, 35% и 33%.

На Рис.2. представлена диаграмма зависимости максимальных сжимающих усилий в средних колоннах в зависимости от типа соединения с основанием. Рассмотрены 3 решения: 1-упругое решение, 2-решение по 1-му предельному состоянию, 3- решение по 2-му предельному состоянию. Как видно расхождения для продольных сил в колоннах для жесткого и шарнирного соединений с основанием составляет менее 5%.

На рис.3 представлена диаграмма зависимости критических сжимающих усилий от вида узловых соединений в вертикальных несущих элементах конструкции для средних колонн. Представлены 4 решения: 1-упругое решение, 2- критические силы для упругого решения без учета кручения, 3- критические силы для упругого решения с учетом кручения, 4- расчетные усилия. Учет кручения понижают значения критических сил на 3% для жестких узловых соединений и на 6% для шарнирных соединений. При расчете на устойчивость можно пренебречь кручением при жестких соединениях в узлах.

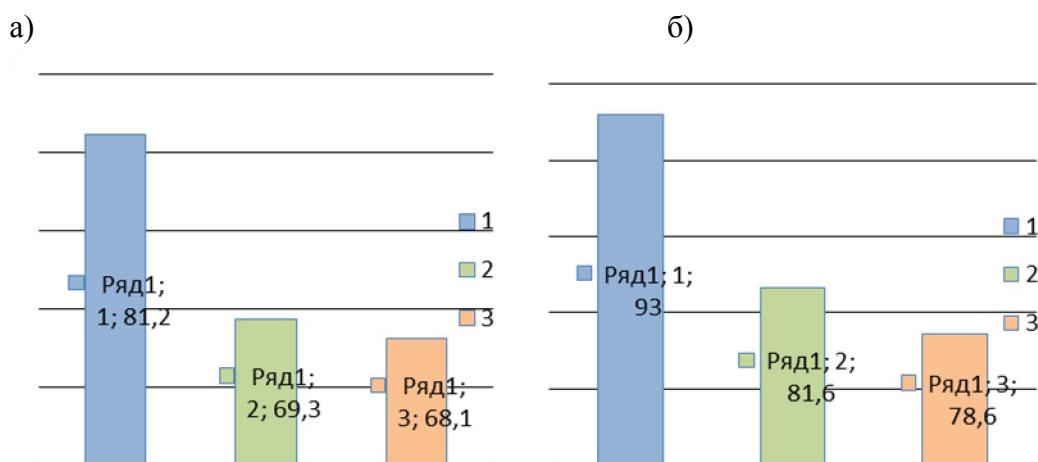


Рис.1. Диаграмма сравнений значений сжимающих усилий в зависимости от вида узловых соединений: а) жесткое соединение, б) шарнирное соединение (1-упругое решение, 2-решение по 1-му предельному состоянию, 3- решение по 2-му предельному состоянию).

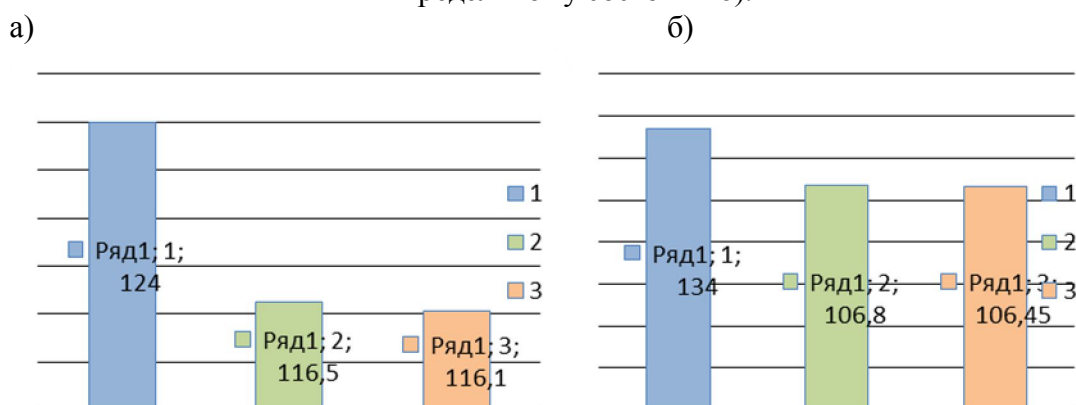


Рис.2. Диаграмма сравнений значений максимальных продольных сил в зависимости от типа соединения с основанием: а) жесткое соединение, б) шарнирное соединение. (1-упругое решение, 2-решение по 1-му предельному состоянию, 3- решение по 2-му предельному состоянию).

Многовариантные расчеты показывают, что значительные изгибающие моменты и поперечные силы возникают в крайних колоннах первого этажа. Их значения при шарнирном соединении в узлах в сравнении с жестким увеличиваются соответственно для 3 решений на 5%, 14% и на 26%.

Получены значения изгибающих моментов в плитах перекрытий в зависимости от вида соединений колонн с основанием: а) жесткое соединение, б) шарнирное соединение (1-упругое решение, 2-решение по 1-му предельному состоянию, 3- решение по 2-му предельному состоянию). При шарнирном соединении в сравнении с жестким изгибающие моменты в средних плитах перекрытий увеличиваются на 27% для упругого решения и на 48% при расчете по 1-му предельному состоянию и на 19% по 2-му

предельному состоянию. Наличие диафрагм жесткости уменьшают значения усилий и перемещений почти в 2 раза.

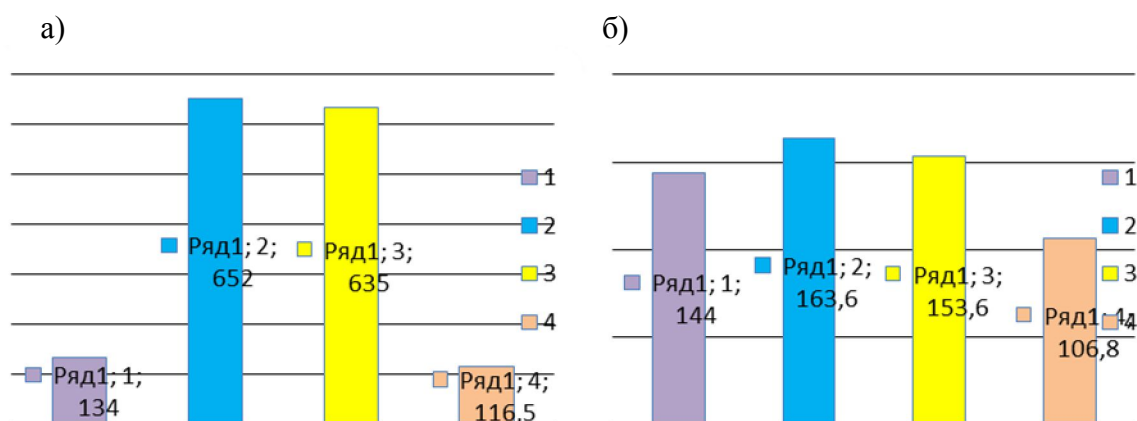


Рис. 3. Значения критических сил в зависимости от вида узлового соединения:
а) жесткое соединение, б) шарнирное соединение.

(1-упругое решение, 2-решение по 1-му предельному состоянию, 3- решение по 2-му предельному состоянию, 4- расчетные усилия)

На Рис. 4. представлены значения изгибающих моментов в плитах перекрытий в зависимости от вида соединений с ригелем. а) жесткое соединение, б) шарнирное соединение (1-упругое решение, 2-решение по 1-му предельному состоянию, 3- решение по 2-му предельному состоянию). При шарнирном соединении в сравнении с жестким изгибающие моменты увеличиваются на 19% для упругого решения и на 20% при расчете по 2-му предельному состоянию.

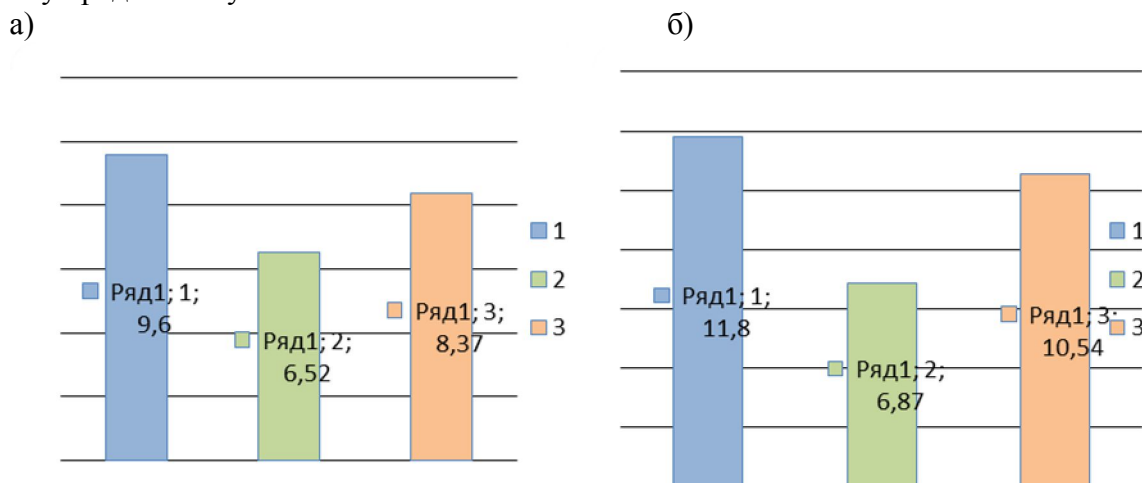


Рис.4. Изгибающие моменты в плитах перекрытий в зависимости от вида соединений с ригелем: а) жесткое соединение, б) шарнирное соединение.

(1-упругое решение, 2-решение по 1-му предельному состоянию, 3- решение по 2-му предельному состоянию)

В таблице 1 представлены значения внутренних усилий для гладкой и ребристой оболочки [мм, т, тм, т]. Наличие ребер жесткости в оболочке покрытия уменьшают прогибы в середине почти в 2 раза, продольные усилия и крутящие моменты в приконтурных точках значительно уменьшаются.

Таблица 1 - Значения внутренних усилий для гладкой и ребристой оболочки [мм, т, тм, т]

Расположение элементов	Тип оболочки	W_{mm}	N_x	N_y	M_x	Q_x	Q_y	M_{xy}
Приконтурные точки вдоль короткой стороны	Гладкая	-3,75	7,63	-0,04	0,02	1,72	21,38	-1,17
	Ребристая	-3,75	3,78	2,42	0,01	1,38	11,28	-0,015
Середина оболочки	Гладкая	-22,9	4,35	1,51	1,67	-0,052	0,13	0,018
	Ребристая	-11,0	3,72	0,08	0,49	-0,049	0,077	0,016
Приконтурные точки вдоль длинной стороны	Гладкая	-3,75	4,31	0,04	1,67	-1,72	1,16	0,87
	Ребристая	-3,75	7,02	4,91	1,53	-0,087	0,082	-0,017

Выводы

1. Сжимающие усилия в несущих вертикальных элементах конструкции существенно зависят от вида узловых соединений. Для упругого решения эти расхождения составляют от 7-10%, для расчета по предельным состояниям до 20%. Жесткость соединения с основанием незначительно влияет на продольные усилия в колоннах. Учет кручения в колоннах при шарнирном соединении уменьшают критические силы на 6%.

2. Изгибающие моменты в плитах перекрытий существенно зависят от вида соединений колонн с основанием. Для упругого решения эти расхождения составляют 27%, для расчета по 1 предельному состоянию- 48%, по 2 предельному состоянию – 19%. Соединение плит перекрытий с ригелем существенно влияет на изгибающие моменты только при расчете по 2 предельному состоянию.

3. Наличие ребер жесткости существенно уменьшает значения прогибов и изгибающих моментов в середине оболочки, в приконтурных областях это влияние уменьшается.

Список литературы

1. Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. СП 52-117-2008. Часть 1. Методы расчета и конструирования[Текст] / ФГУП НИЦ . - «Строительство», 2008.
2. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 2: Проектирование железобетонных конструкций[Текст]. - Москва: Издательство МИСИ-МГСУ, 2013.
3. Выдержки из строительных Еврокодов[Текст] / Пер. с англ. – Москва: ФГБОУ МГСУ, 2011.- 720с.
4. Перельмутер А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа[Текст] / А.В.Перельмутер и др. -М: АСВ, 2010.
5. Алмазов В.О. Проектирование железобетонных конструкций по евро нормам[Текст] / В.О.Алмазов. -М.: АСВ, 2007.- 216 с.
6. Григолюк Э. И. Контактные задачи теории пластин и оболочек[Текст] / Э. И. Григолюк, В.М.Толкачев.-М.: Машиностроение, 1980.-411с.
7. Кожаринова Л.В. Основы теории упругости и пластичности[Текст] / Л.В.Кожаринова. -М.: АСВ, 2010.
8. Александров А.В. Основы теории упругости и пластичности[Текст] / А.В. Александров, В.Д.Потапов. –М.: ВШ, 1990.- 400с.
9. Амосов А.А. Техническая теория тонких упругих оболочек[Текст] А.А.Амосов. - М.: АСВ, 2009.- 304с.

10. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения[Текст] / СНиП РК 4.01-02-2001.

11. Золотов А.Б. Численные и аналитические методы расчета строительных конструкций[Текст] / А.Б.Золотов,П.А. Акимов и др. –М: АСВ, 2009.

12. Достанова С.Х., Касымова Г.Т. Современные проблемы расчета и моделирования зданий и сооружений с конструктивными особенностями[Текст]С.Х. Достанова, Г.Т. Касымова // Сб. матер. Международ. конф. «Актуальные проблемы и перспективы развития строительных конструкций: инновации, модернизация и энергоэффективность в строительстве».- Алматы: изд. КазГАСА, 2013.–С. 31-38.