

Расчёт деформаций многопустотных плит

Плеханова Екатерина Александровна

Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема

Студент

Аннотация

В статье рассматриваются прогибы многопустотных плит, а также нормальные напряжения в бетоне и арматуре. Согласно численным и аналитическим расчётам с увеличением длины плиты прогиб постепенно увеличивается. Расчёты выполнены в программном комплексе ANSYS, а также аналитически, согласно нормативным документам. При этом расчёты выполнены в нелинейной постановке при разрушающей нагрузке, с образованием пластического шарнира в растянутой зоне сечения плиты.

Ключевые слова. Прогиб, многопустотная плита, отклонения, численный расчёт, аналитический расчёт

Calculation of deformations of hollow core slabs

Plehanova Ekaterina Aleksandrovna

Sholom-Aleichem Priamursky State University

Student

Abstract

The article discusses the deflections of multi-hollow slabs, as well as normal stresses in concrete and reinforcement. According to numerical and analytical calculations, with increasing plate length, the deflection gradually increases. The calculations were performed in the ANSYS software package, as well as analytically, in accordance with regulatory documents. In this case, the calculations were performed in a nonlinear setting with a breaking load, with the formation of a plastic hinge in the stretched section zone of the plate.

Keywords. Deflection, hollow core slab, deviations, numerical calculation, analytical calculation

Введение

В настоящее время многопустотные плиты перекрытия являются очень востребованными. Пустотные плиты активно используются в строительстве. Их основное преимущество – небольшой вес в сравнении с обычными плитами, что позволяет увеличивать их длину для перекрытия относительно больших пролетов.

Многие авторы рассматривают железобетонные многопустотные плиты. Семенюк С.Д., Шаховская Г.С в своей статье рассматривают несущую способность многопустотных железобетонных плит, усиленных

созданием неразрезности, по сжатой зоне сечения и по растянутой арматуре. [1] Аль Каради Али описывает виды многопустотных плит, технологию производства, эффективность и применение данных плит. [2] Абашева Л.П., Тонков И.Л., Тонков Ю.Л. изложили опыт объемного моделирования в среде ПК «SCAD» многопустотных плит перекрытия реального здания для расчета прогибов от несимметричной нагрузки. [3] Блажко В.П. даёт техническое решение плиты перекрытия с элементами усиления и армирования несущих ребер [4] Ладнушкин А.А., Авхадеев Р.Р., Хасанов Р.М., Садыков Р.Р. в статье рассматривают возможность устройства подвесов в виде сосредоточенных сил и анализ напряженно-деформированного состояния нагруженных сборных плит. [5] Анализ эффективности применения облегченных многопустотных плит перекрытия рассмотрели в своей работе Гаврилова А.И., Ханизбеков И.Г.[6]. Земляк В.Л., Козин В.М., Васильев А.С., Ипатов К.И исследовали влияние армирования на несущую способность ледовых переправ[7]. Также исследование напряжённо-деформированного состояния железобетонных плит рассмотрено в работах [8,9,10].

Цель данного исследования -выяснить, как и насколько будут отличаться результаты расчета прогибов пустотной плиты при разрушающей нагрузке, моделируя ее в естественной и упрощенной двутавровой форме; изучить деформативность многопустотных плит при кратковременном действии нагрузки.

Методы и материалы

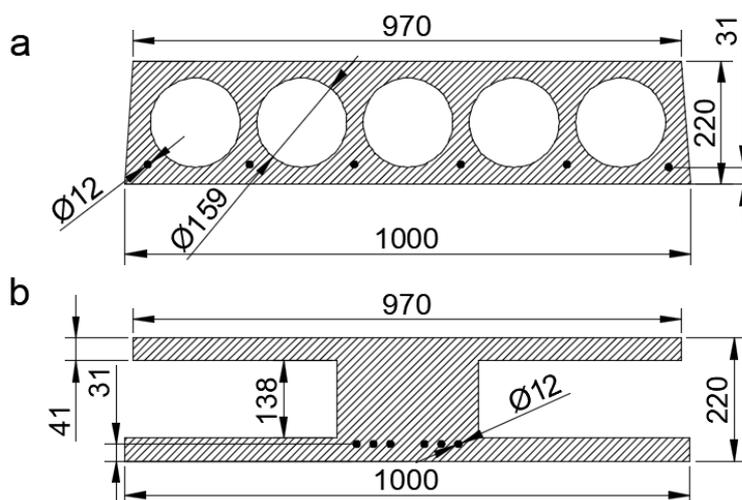


Рисунок 1-Поперечные сечения железобетонных многопустотных панелей:
а – естественная форма, б – форма двутавра.

Проектирование плит выполнялось в модуле программы ANSYS Design Modeller. Затем осуществлялся расчет в ANSYS Mechanical. Для железобетона использовался конечный элемент Solid 65, позволяющий выполнять нелинейные расчеты с учетом модели разрушения Willam-Warnke. Для отображения трещин была добавлена пользовательская функция в форме деформационного критерия Базанта, позволяющего учитывать трещинообразование в плитах и визуализировать этот процесс средствами

ANSYS. Также по краям были смоделированы опоры, на которых держится плита. Конечно-элементная сетка использовала КЭ в форме гексаэдра с максимальным размером 20 мм, показана на рисунке 3. Распределенная нагрузка, действующая на плиту, была приблизительно получена из аналитических расчетов. В результате выполнялось нагружение плит фиксированной нагрузкой. На первом шаге приложения разрушающей нагрузки образовывался пластический шарнир, происходило смещение нейтральной оси в сжатую зону и перераспределение усилий внутри плиты, обусловленное ползучестью бетона. На следующем шаге происходило непосредственно разрушение, обусловленное превышением предела текучести в арматуре и разрушением плиты. На каждом шаге фиксировались нормальные напряжения в бетоне и арматуре, а также прогибы.

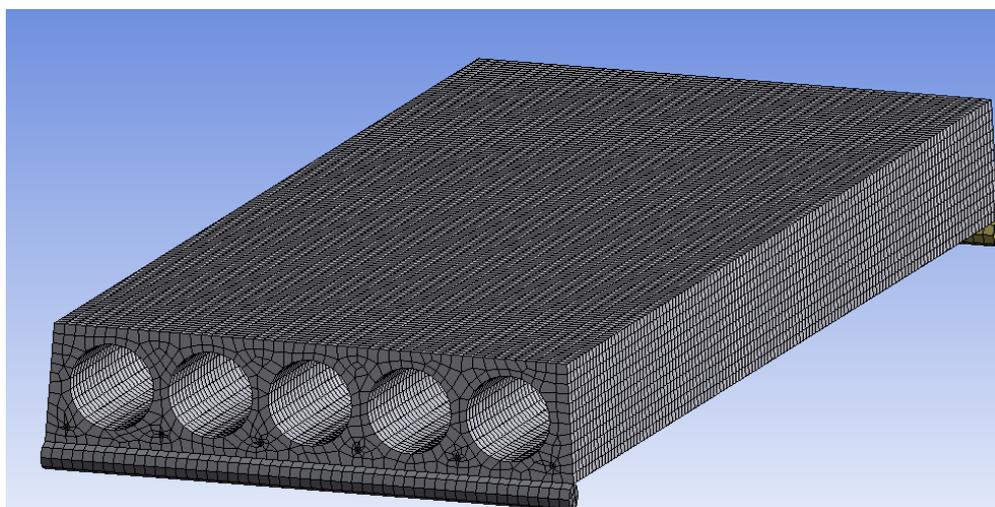


Рисунок 2-Дискретная модель плиты с конечными элементами в форме гексаэдра

Предложенная нелинейная модель для совместной работы двух материалов в программном комплексе ANSYS применялась в работах [7, 8, 9, 10].

Аналитический расчёт

Ниже представлен алгоритм расчёта прогибов по СП 63.13330.2012.[11] Дано: двутавровое сечение размерами $b=1000\text{мм}$, $b'_f = 250\text{мм}$, $h'_f = 41\text{мм}$, $h = 22\text{мм}$; $a = 31\text{мм}$, $h_0=220-31=189\text{мм}$, $l=2400\text{мм}$, тяжёлый бетон класса В25 ($E_b=30000\text{МПа}$, $R_b= 14,5\text{МПа}$, $R_{bt}=1,05\text{МПа}$); растянутая арматура класса А400 ($R_s = 350\text{МПа}$); площадь ее сечения $A_s = 678,58\text{мм}^2$ ($6\text{Ø}12$); $q= 48,1\text{кН/м}$.

Определение момента (по формуле 1) M_{\max} , кНм:

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{8} = \frac{48,1 \cdot 2,4^2}{8} = 34,632 \text{кН} \cdot \text{м} \quad (1)$$

Определение полной кривизны в сечении с наибольшим изгибающим моментом (по формуле 2) $\left(\frac{1}{r}\right)_{\max}$, м:

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{\max} = \frac{M_{\max} - \varphi_2 b h^2 R_{bt}}{\varphi_1 E_s A_s h_0^2} \quad (2)$$

где φ_1 - согласно таблице 4.5

φ_2 - согласно таблице 4.6

Для этого определяем коэффициент армирования (по формуле 3) μ :

$$\mu = \frac{A_s}{b h_0} = 0,0036 \quad (3)$$

При непродолжительном действии нагрузки коэффициент приведения арматуры равен $\alpha_{s1} = \frac{300}{R_b} = 20,7$. Из таблицы 4.5 при $\mu \alpha_{s1} = \frac{A_s}{b h_0} \cdot \alpha_{s1} = 0,074$

и $\mu_f' = \frac{(b_f' - b) h_f'}{b h_0} = 0,651$ находим $\varphi_1 = 0,75$, а из таблицы 4.6 при $\mu \alpha_{s1} = 0$ и

$$\mu_f' = \left(\frac{b_f' - b}{b h_0}\right) h_f' = 0,56 \text{ находим } \varphi_2 = 0.$$

Тогда

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{\max} = \frac{34,632 \text{ кН} \cdot \text{м} - 0}{0,75 \cdot 2 \cdot 10^8 \cdot 0,000678 \cdot 0,189^2} = 0,0095 \text{ м}^{-1}$$

Определение прогиба (по формуле 4) f , мм:

$$f = S l^2 \cdot \left(\frac{1}{r}\right)_{\max} \quad (4)$$

$$f = \frac{5}{48} \cdot 2,4^2 \cdot 0,0095 = 0,0057 \text{ м} = 5,7 \text{ мм}$$

Уточнение прогиба плиты за счёт переменной жесткости на участке с трещинами путём определения его по формуле 5:

$$f = \frac{l^2}{48} \left\{ \left(\frac{1}{r}\right)_{\max} (5 + 3m + 3mk + k)(1 - m) + 4m^2 \left(\frac{1}{r}\right)_{el} \right\} \quad (5)$$

где $M_{\text{трс}}$ - изгибающий момент при образовании трещин. $M_{\text{трс}} = 8,8 \text{ кН} \cdot \text{м}$

$\left(\frac{1}{r}\right)_{el}$ - кривизна без учёта трещин при непродолжительном действии

нагрузки

m и k - коэффициенты (по формуле 7 и 8)

Определение кривизны (по формуле 6) $\left(\frac{1}{r}\right)_{el}$ без учёта трещин при непродолжительном действии нагрузки:

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{el} = \frac{M_{crc}}{E_{b1} \cdot Y_{red}} \quad (6)$$

Где $E_{b1}=0,85E_b=25500\text{Мпа}$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{el} = \frac{8,8\text{м}}{2,55 \cdot 10^6 \cdot 0,000735} = 0,0047\text{м}$$

Коэффициенты m и k равны:

$$m = \frac{M_{crc}}{M_{max}} = 0,25 \quad (7)$$

$$k = \frac{\left(\frac{1}{r}\right)_{crc}}{\left(\frac{1}{r}\right)_{max}} = 0,25 \quad (8)$$

Где $\left(\frac{1}{r}\right)_{crc}$ -кривизна при действии момента M_{crc} с учётом трещин (по формуле 9):

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{crc} = \frac{M_{crc} - \varphi_2 b h^2 R_{bt}}{\varphi_1 E_s A_s h_0^2} \quad (9)$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{crc} = \frac{8,8\text{м} - 0}{0,75 \cdot 2 \cdot 10^8 \cdot 0,00678 \cdot 0,189^2} = 0,0024\text{м}$$

Определение прогиба f (по формуле 5), мм:

$$f = \frac{2,4^2}{48} \{0,0095(5 + 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,25 \cdot 0,25 + 0,25)(1 - 0,25) + 4 \cdot 0,25 \cdot 0,0047\} = 0,0053\text{м} = 5,3\text{мм}$$

Результаты расчётов представлены в таблице 1.

Результаты и обсуждение

Для отображения трещин была добавлена пользовательская функция в форме деформационного критерия Bazant [12], позволяющего учитывать трещинообразование в плитах и визуализировать этот процесс средствами ANSYS.

Картина трещин и прогибов плиты представлена на рисунке 3 (а,б).

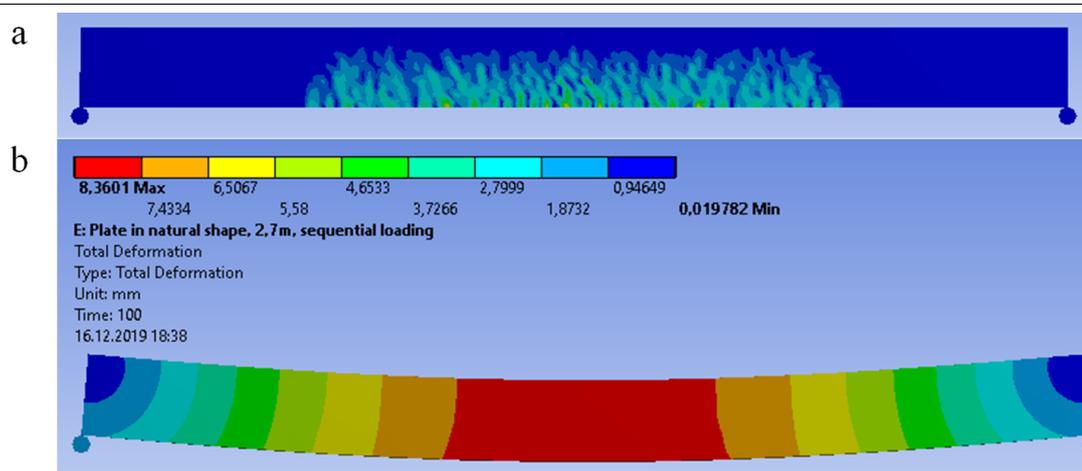


Рисунок 3- Визуализация результатов расчетов: а – картина трещин по критерию Бажанта, б – изополя вертикальных перемещений плиты

За эталон взят график прогиба плиты в естественной форме. Исходя из графиков видно, что с увеличением длины рассматриваемых образцов разница между прогибами плиты в естественной форме при разрушении и прогибами плиты в форме двутавра при разрушении близка к нулю. График показывает нам, что результаты прогибов при аналитическом расчёте и результаты прогибов при расчете плиты в естественной форме (ANSYS), имеют отличия в среднем на 11%.

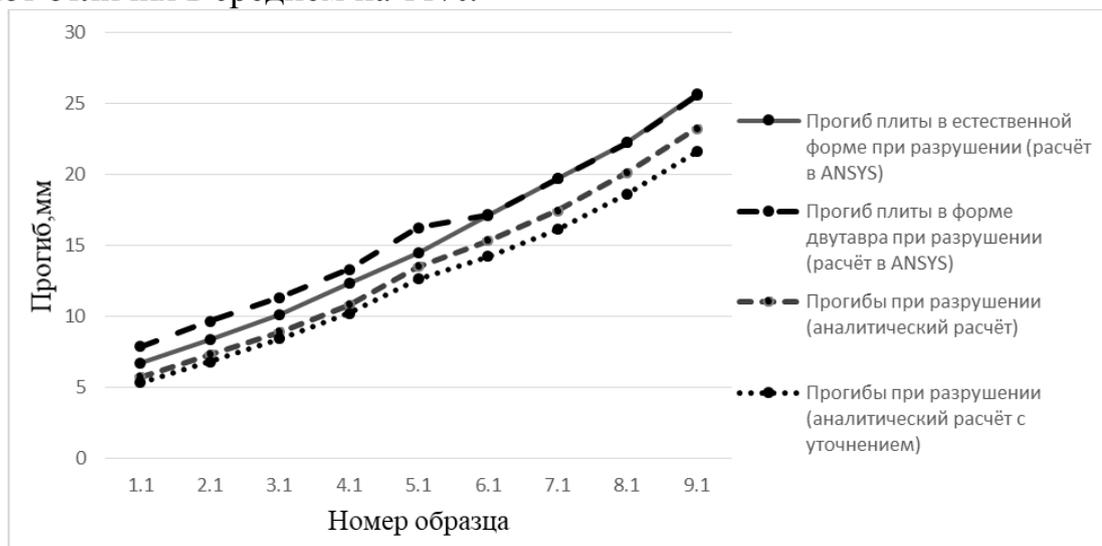


Рисунок 4- График прогибов

В таблице 1 представлены результаты расчетов в численной и аналитической форме. За эталон взята плита в естественной форме (ANSYS), и от нее вычислены отклонения для прогибов.

Из таблицы 2 видно, что отклонение расчёта в форме двутавра при разрушении от естественной формы для различных длин составило в среднем 7,21%, отклонение аналитического расчёта при разрушении- приблизительно 11,08%, а отклонение аналитического расчёта с уточнением-около 7,08%.

Таблица 1-Результаты расчётов прогибов

Длина плиты, мм	Прогиб плиты в естественной форме при разрушении (расчёт в ANSYS), мм	Прогиб плиты в форме двутавра при разрушении (расчёт в ANSYS), мм	Прогибы при разрушении (аналитический расчёт), мм	Прогибы при разрушении (аналитический расчёт с уточнением), мм
2400	6.684	7.8501	5,7	5,3
2700	8.3601	9.6515	7,3	6,8
3000	10.084	11.322	8,9	8,4
3300	12.282	13.31	10,8	10,2
3600	14.485	16.216	13,5	12,6
3900	17.115	17.154	15,3	14,2
4200	19.734	19.689	17,4	16,1
4500	22.272	22.234	20,1	18,6
4800	25.652	25.556	23,2	21,6

Таблица 2-Отклонения в расчётах

Длина плиты, мм	Отклонения расчёта в форме двутавра (ANSYS) от расчёта ANSYS в естественной форме, %	Отклонения аналитического расчёта от расчёта ANSYS в естественной форме, %	Отклонения аналитического расчёта с уточнением от расчёта ANSYS в естественной форме, %
2400	-17,4461	14,7217	20,7062
2700	-15,4472	12,6804	18,6613
3000	-12,2769	11,7414	16,6997
3300	-8,3699	12,0664	16,9516
3600	-11,9502	6,8001	13,0135
3900	-0,2279	10,6047	17,0135
4200	0,2280	11,8273	18,4149
4500	0,1706	9,7522	16,4871
4800	0,4238	9,5587	15,7960

Выводы

Исследуя прогибы многопустотных плит мы видим, что с увеличением длины плиты отклонения постепенно уменьшаются. Для образца 3600мм при аналитическом расчёте отклонение меньше, по сравнению с другими образцами, также как при аналитическом расчёте с уточнением, но затем снова незначительно увеличивается.

Библиографический список

1. Семенюк С.Д., Шаховская Г.С. Прочность нормальных сечений многопустотных железобетонных плит, усиленных созданием неразрезности// Вестник белорусско-российского университета. 2009. № 2 (23). С.158-166.

2. Аль Каради А. Производство, эффективность и применение многопустотных плит в строительстве// Технологии бетонов. 2014. № 5 (94). С. 32-36.
3. Абашева Л.П., Тонков И.Л., Тонков Ю.Л. Опыт объемного моделирования многопустотных железобетонных плит перекрытия при решении нестандартной задачи// Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 7-2 . С. 27-29.
4. Блажко В.П. О применении многопустотных плит безопалубочного формования в строительстве панельных и каркасных зданий//Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. 2014. С. 225-232.
5. Ладнушкин А.А., Авхадеев Р.Р., Хасанов Р.М., Садыков Р.Р. Анализ использования железобетонных плит промышленных зданий для технологии бескранового монтажа при модернизации действующих производств//Казанский государственный архитектурно-строительный университет. 2016. № 1 (35). С.233-239.
6. Гаврилова А.И., Ханизбеков И.Г. Анализ эффективности применения облегченных многопустотных плит перекрытия//Вестник научных конференций. 2018. № 5-1 (33). С.39-42
7. Земляк В.Л., Козин В.М., Васильев А.С., Ипатов К.И. Экспериментальное и численное исследование влияния армирования на несущую способность ледовых переправ// Основания, фундаменты и механика грунтов. 2019. №1. С. 14-19.
8. Тарануха Н.А., Васильев А.С., Резниченко А.Ю. Численное исследование напряженно-деформированного состояния усиленных пустотных плит при разрушающей нагрузке//Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2017. Т. 1. № 4 (32). С. 36-44.
9. Тарануха Н.А., Резниченко А.Ю., Васильев А.С. Численное исследование напряжённо-деформированного состояния железобетонных плит при различных способах усиления// Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. 2017. № 4 (29). С. 104-115.
10. Васильев А.С., Назарова В.П. Численное исследование напряженного состояния усиленных пустотных железобетонных плит при появлении трещин // Вестник евразийской науки. 2019. Т. 11. № 2. С. 60.
11. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Введен 2013-01-01, 204 с.
12. Bazant Z.P., Cedolin L. Fracture mechanics of reinforced concrete // ASCE J Eng Mech Div. 1980. № 106 (6). С. 1287–1306.