

2. SOFiSTiK: Информационный ресурс [Электронный ресурс] – Режим доступа :. http://mysofistik.blogspot.com/p/sofistik_18.html – Дата доступа : 03.05.2019.

3. Руководства, учебники, методические пособия и статьи о SOFiSTiK [Электронный ресурс] – Режим доступа :. <https://www.sofistik.eu/ru/publikacii/> – Дата доступа : 25.04.2019.

4. Рахимов А. Р., Перцева О. Н. Анализ современного состояния BIM-технологии в строительной индустрии для моделирования нестационарных воздействий // StudArctic forum. Выпуск 4 (8), 2017, DOI: 10.15393/j102.art.2017.2201

5. Институт технологий преднапряжения [Электронный ресурс] – Режим доступа :. <http://www.tension.ru/> – Дата доступа : 20.04.2019.

6. Леонович, С. Н. Технология предварительного напряжения железобетонных конструкций в построечных условиях / С. Н. Леонович, И. И. Передков, А. И. Сидорова. – Минск : БНТУ, 2018. – 279 с. ISBN 978-985-583-339-1

УДК 624.073

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УЗЛОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

КОНОНОВИЧ К. В., ЗГИРОВСКИЙ А. И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Силос для складирования гранул серы представляет собой стальной цилиндр диаметром 18,0 м и высотой 20,0 м. Силос размещается на железобетонном фундаменте. Воронка силоса выполнена из двух наклонных плит, которые опираются на стенки, находящиеся на расстоянии 2,5 м. Конструкция фундамента состоит из краевой кольцевой железобетонной балки размерами 240/120 см, и опорной плиты толщиной 40 см. Толщина железобетонной наружной стенки фундамента силоса – 40 см. На опорной плите на расстоянии 2,5 м друг от друга располагаются вертикальные стенки, на которые опираются косые плиты воронки.

Для предотвращения скопления серы у наружных стен, от них идут дополнительные косые плиты под обратным углом. Такие дополнительные косые плиты образуют ендову, при пересечении с косой плитой воронки. Эти плиты опираются на стены фундамента. Толщина внутренних стен задана – 250 мм, толщина плиты – 400 мм.

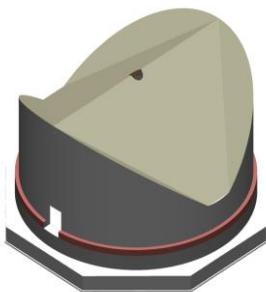


Рис. 1. Общий вид фундамента

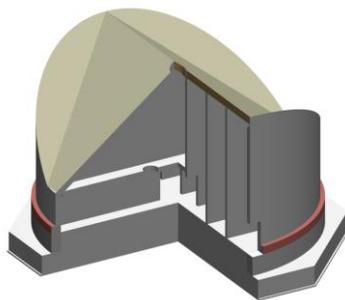


Рис. 2. Разрез фундамента силоса

Узлы строительных конструкций, при восприятии усилий, начинают испытывать сложное напряжённо-деформированное состояние. Узлы конструкций, встречающиеся повсеместно, изучались на протяжении долгого времени, и результаты изучения получали экспериментальное подтверждение. В итоге такие узлы были типизированы и унифицированы.

Однако при нетиповой конструкции узел бывает достаточно сложно, а иногда и вовсе невозможно, предсказать распределение напряжений в узлах. В случаях, когда точная оценка работы узла является необходимой, одним из методов является компьютерное моделирование этого узла. Наиболее распространённый метод моделирования это метод конечных элементов.

Исследуемым объектом является железобетонный фундамент силоса для складирования гранул серы. Конструкция фундамента представлена на рис.1 и 2. Фундамент силоса состоит из опорной плиты с вертикальными стенками с шагом 2,5 м, на которые опирается наклонные плиты воронки. Для узлов ендовы и производилось, конечно-элементное моделирование.

В работе рассматривались моделирование и работа 2-х узлов видов узлов ендовы. В первом случае верхняя арматура плиты имела

перехлест около излома грани плиты. Во втором – верхняя арматура в месте излома доходила до нижней грани.

Для исследования работы этих узлов использовался программный комплекс ANSYS 18.1. В нем, методом твердотельного моделирования, были построены конечно-элементные модели данных узлов.

Сначала были построены 3D модели в программе Space Claim. Каждая модель плиты имела ширину 600 мм и расстояние от излома 1000 мм в каждую сторону. Арматура задавалась в виде сплошных цилиндрических тел. Объем этих тел, составляющих арматуру, вычитался из объема плиты. Так же для задания правильных граничных условий, по краям плиты создавались пластины, имитирующие шарнирные опоры.

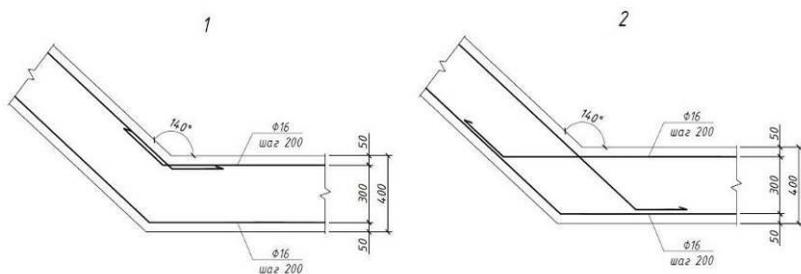


Рис. 1. Варианты исследуемых узлов

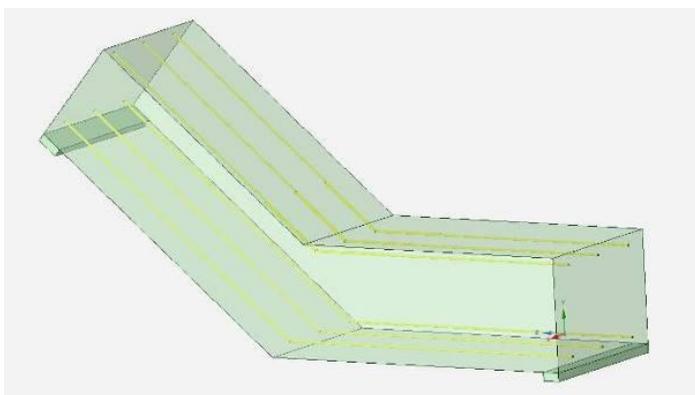


Рис. 2. Модель №1

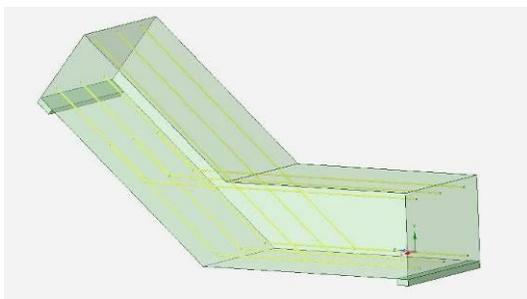


Рис.3. Модель №2

Затем модели импортировалась в ANSYS Mechanical где им назначались связи. Пластины опор имели ограничения по перемещениям по всем 3 направлениям. Площадка контакта плиты и опоры имела связи типа Rough, имитирующие простое опирание плиты на площадку. Так же между арматурой и железобетоном по каждой из плоскостей контакта задавались жесткие связи. После этого была построена сетка конечных элементов. Арматура и опорные пластины состояли из элементов типа SOLID186. Это 3-х мерные 20-ти узловые конечные элементы. Они имеют форму, приближенную к форме параллелепипеда и узлы в вершинах и посередине его граней. Плита состояла из конечных элементов типа SOLID187. Такой объёмный конечный элемент имеет форму тетраэдра и 10 узлов в вершинах и посередине граней. Также, для плиты максимальные размеры конечных элементов ограничивались размерами в 100 мм. Арматура состоит из элементов с размерами в одном направлении 50 мм а в остальных – 2-4 мм.

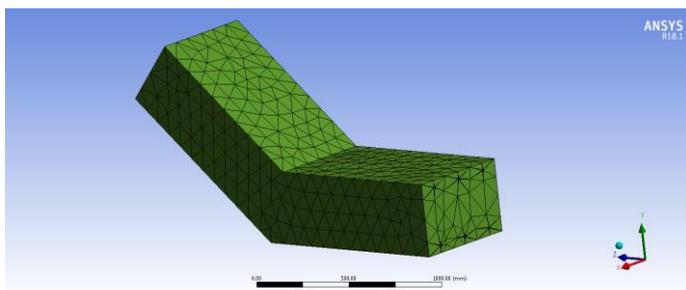


Рис. 4. Вид сетки конечных элементов

Плита моделировалась из бетона из бетона C25/30 с учётом нелинейной работы материала по критерию Друкера-Прагера. Этот критерий позволяет описать характер пластических деформаций в бетоне. Так же нелинейный характер задавался и для арматуры класса S500. Она работает по билинейной модели изотропного упрочнения с $E_2=1400$ МПа.

На всю поверхность плиты прикладывалась равномерно распределённая нагрузка величиной 10 МН/м^2 . Нагрузка прикладывалась равномерно на протяжении 3 секунд.

Согласно полученным результатам были построены изополя напряжений для арматуры и плиты на момент приложения нагрузки $0,7 \text{ сек}$.

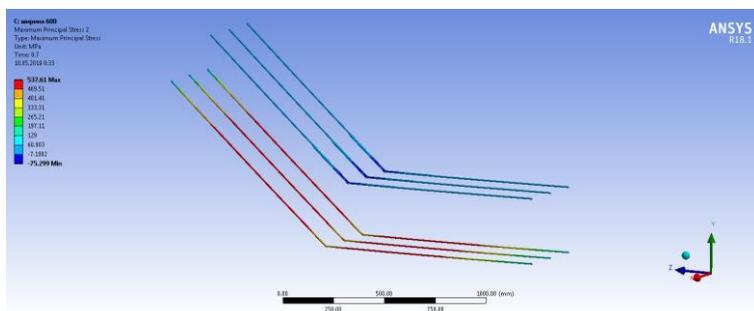


Рис. 5. Изополя напряжений в арматуре (модель №1)

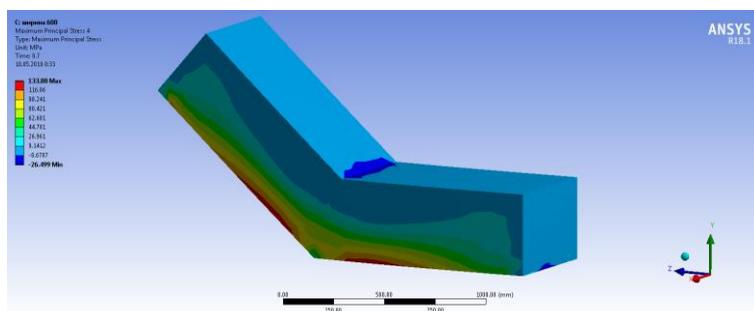


Рис. 6. Изополя напряжений в плите (модель №1)

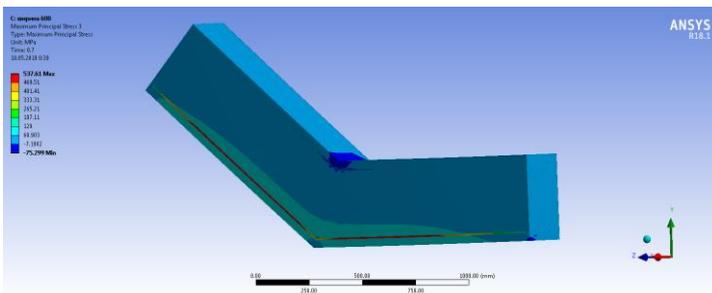


Рис. 7. Изополя напряжений в сечении плиты и арматуры (модель №1)

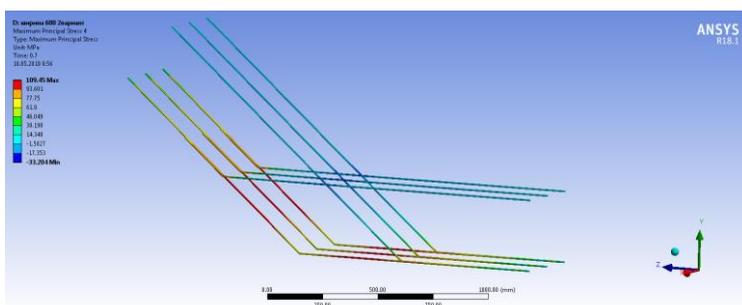


Рис. 8. Изополя напряжений в сечении плиты и арматуры (модель №2)

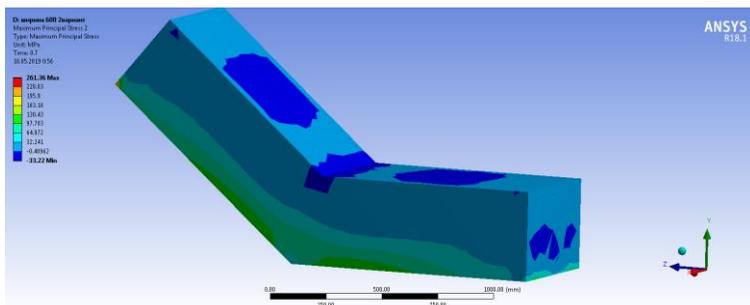


Рис. 9. Изополя напряжений в сечении плиты и арматуры (модель №2)

Согласно полученным в обеих моделях изополям, в крайних волокнах плиты возникают напряжения вызывающие трещины. Характер распределения напряжений в плите и в арматуре схожи в обоих случаях. Так же в связи с нелинейной работой материалов

напряжения достигают предельных значений. Для сравнения характера работы узлов нагляднее будет сопоставить значения графиков зависимости максимального и минимального полного напряжения от времени нагружения.

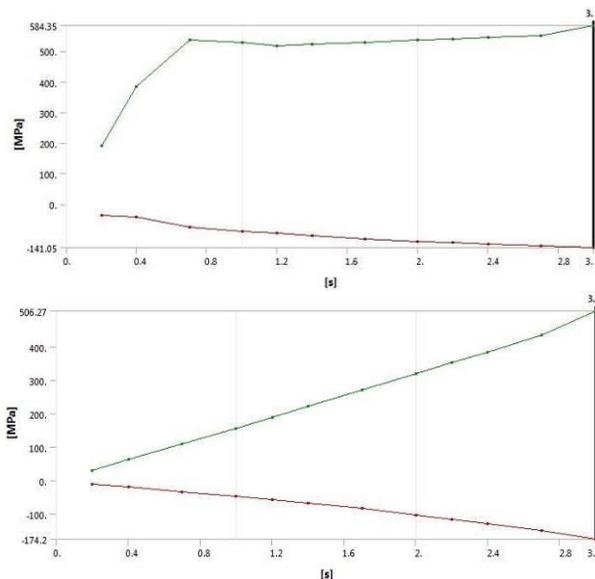


Рис. 10. Графики зависимости максимального и минимального полного напряжения от времени нагружения

По графикам видно, что предел текучести равный 500 МПа в арматуре в первой модели достигаются приблизительно в 0.63 сек. В этот момент прилагаемая нагрузка равнялась 7 МН/м². Максимальное напряжение во второй модели при этой нагрузке и в этот же момент времени равнялся 98 МПа. Так же по первому графику видно, что до достижения 500 МПа напряжения развиваются линейно, а затем характер увеличения напряжений меняется, показывая о переходе работы арматуры в пластическую стадию. Напряжения во второй модели достигают предела текучести к 3-ей секунде нагружения. Таким образом, несущая способность второго узла выше чем первого приблизительно в 5 раз. Это объясняется тем, что расположение в нем арматурных стержней придаёт ему большую жесткость. Максимальные перемещения на момент времени равный

0,7 сек равняются 1,75 мм для модели №2 и 11,34 мм для модели №1, что подтверждает большую жесткость узла. Полученные данные расчётов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Данные расчёта.

№	Время, сек	Модель №1			Модель №2		
		Минимум, МПа	Максимум, МПа	Перемещение мм	Минимум, МПа	Максимум, МПа	Перемещение мм
1	0.2	-34.566	191.7	3.2639	-9.4876	31.539	0.50148
2	0.4	-41.271	383.74	6.497	-18.972	62.619	1.003
3	0.7	-75.299	537.61	11.339	-33.204	109.45	1.7552
4	1	-88.696	530.3	16.32	-47.519	156.62	2.5135
5	1.2	-95.165	518.66	19.678	-57.529	188.95	3.0485
6	1.4	-102.38	523.07	23.025	-67.677	221.33	3.5912
7	1.7	-112.08	529.62	28.03	-83.275	270.1	4.413
8	2	-120.38	536.14	33.054	-101.63	319.31	5.2791
9	2.2	-125.61	540.63	36.427	-115.24	352.05	5.893
10	2.4	-130.02	544.81	39.858	-129.08	384.66	6.5272
11	2.7	-136.02	551.27	45.075	-148.89	433.71	7.5317
12	3	-141.05	584.35	50.461	-174.2	506.27	8.7168

Помимо выводов о работе узлов, можно сказать, что метод конечно-элементного моделирования может использоваться в проектировании для оценки работы узлов различных конструкций. Однако проблемой этого метода является его зависимость от профессионализма человека создающего модель. При неверном задании модели или поведения конструкции можно получить неверные результаты, которые можно принять за истинные. Единственным способом проверки результатов таких вычислений остаются экспериментальные исследования, которые проводить достаточно дорого и трудоёмко.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сахновский К.В. Железобетонные конструкции / -8-е изд., Москва: Государственное издательство литературы по строительству, 1961 – 840 с.
2. ANSYS 18.1 Help Documentation.
3. Еврокод 2 Проектирование железобетонных конструкций Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий. ТКП EN 1992-1-1-2009 (02250).

УДК 69.059.22:614.84

РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ПОВРЕЖДЕННЫХ ПОЖАРОМ

КУРЛАПОВ Д.В.

Военный институт (инженерно-технический)
Санкт-Петербург, Россия

В результате пожаров в зданиях повреждаются конструкции вплоть до полного разрушения. Степень огневого воздействия на железобетонные конструкции зависит от материалов, размеров, температуры и длительности пожара. Для принятия решения по использованию конструкций, подвергшихся, огневому воздействию при пожаре производят техническое обследование пострадавшего здания. Целью технического обследования является определение остаточной несущей способности поврежденных пожаром конструкций и определение методов и способов усиления железобетонных конструкций.

The most complex task is the calculation of fire damage degree under the inflammations of reinforced concrete structures. Heterogeneity of reinforced concrete components under heating leads to the various temperature deformations, it breaks the links between cement stone, coarse and fine aggregates, as well as its links with reinforcement. As a result there are irreversible changes of mechanical properties compression and tensile stress reduction, additional deflections, occurring in the reinforced concrete elements. Changes of the mechanical properties of concrete un-