

**Висновки.** Програмний модуль, створений на основі викладеної методики, є універсальним і може використовуватись для дослідження в першому наближенні керованості будь-якого дволанкового рухомого складу.

У статті викладено теоретичні положення прогнозування керованості моделі автопоїзда, що враховує конструктивні параметри (габаритні розміри, кількість коліс та розподіл ваги по колесах), розподіл кутів повороту керованих коліс, стаціонарну нелінійність зв'язку шин (зчеплення в контактних точках шини, кути відведення та стабілізувальні моменти кожного з коліс) із дорожньою поверхнею. Врахування ряду конструктивних параметрів обмежено постановкою задачі у площині. Отже, дана модель може використовуватися для попередньої оцінки керованості автомобіля і є проміжною при вирішенні питання у рамках плоскої задачі.

Унікальність та універсальність моделі автопоїзда підкреслюється представленням її у матричному вигляді, що є більш зручним для швидкості розрахунків та програмування у середовищі MATLAB. Віртуальна модель автопоїзда передбачає подальший її розвиток та ускладнення, а саме – розгляд гальмівної динаміки, врахування реакції водія та перерозподілу ваги.

### ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Литвинов А. С. Управляемость и устойчивость автомобиля. – М. : Машиностроение, 1971. – 416 с.
2. Эллис Д. Р. Управляемость автомобиля [Пер. с англ.]. – М. : Машиностроение, 1975. – 216 с.
3. Расајка Н. В. Tyre and vehicle dynamics. SAE, Warrendale, 2002. – 622 с.
4. Дячук М. В. Оптимизация конструктивных параметров неразрезной рулевой трапеции автомобиля / М. В. Дячук, А. С. Лиходей // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д. : ПДАБА, 2007. – № 12. – С. 42 – 49
5. Леви-Чевита Т., Амальди У. Курс теоретической механики. [Пер. с итал. Д. И. Кутилина]. – М. : Издательство иностранной литературы, 1951. – 326 с.

УДК 624.048

### АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОНСТРУКЦИИ С УЧЕТОМ ОСНОВАНИЯ

*Ю. А. Кожанов, к. т. н., доц., А. Г. Ефименко, студ., В. А. Загильский, студ.,  
А. П. Якубенко, студ.*

**Ключевые слова:** *напряженно-деформированное состояние, конечноэлементная модель, объемные КЭ, коэффициенты постели, SCAD 11.5*

**Постановка проблемы.** В современном проектировании встречаются случаи моделирования надземной части конструкции без учета реальных геологических условий. Вводится допущение, что основание является абсолютно жестким. Это упрощение обусловлено простотой реализации основания в расчетных комплексах. Но такой подход влечет за собой ряд ошибочных результатов, так как характер поведения конструкции на жестком основании и с учетом геологических особенностей основания существенно отличается.

**Цель статьи.** Путем варьирования способов учета основания в расчетном комплексе Structure CAD 11.5 оценить напряженно-деформированное состояние (НДС) железобетонной конструкции Узла бора Южно-Украинской АЭС.

**Анализ публикаций.** В последнее время проблеме учета основания в компьютерном моделировании конструкций уделяется значительное влияние. Анализ НДС железобетонных конструкций в системе «сооружение – основание» вызывает большой интерес среди отечественных и зарубежных специалистов. Этой теме посвящено большое количество публикаций, научных работ и литературных источников [1; 5; 7].

**Изложение материала.** Создание наиболее точной расчетной модели, в частности, с учетом основания, является первоочередным фактором, влияющим на адекватность полученных результатов. Для зданий и сооружений АЭС учет основания имеет особое значение, ввиду высокой степени их ответственности. В соответствии с [6], расчетные модели

зданий и сооружений должны наиболее точно отражать характер их взаимодействия с грунтом основания. Модели оснований зданий и сооружений разрабатываются с учетом особенностей массива грунта (его слоистости, толщины и физико-механических свойств). Эффектом от учета грунтового основания целесообразно пренебречь в случае если конструкция расположена на скальном основании и имеет небольшую массу. Однако для конструкций, расположенных на слабом основании, тяжелых конструкций, высотных зданий и зданий повышенной категории ответственности учет основания необходим [7].

В практике проектирования часто применяются упрощенные модели основания. Самой простой является одноконстантная модель Винклера. В этой модели осадка точки основания пропорциональна давлению в этой точке. Коэффициент постели характеризует жесткость пружинки, установленной в каждом узле фундаментной плиты. При расчете плит основания пружинки распределяются равномерно по площади плиты. Деформации пружинки происходят независимо друг от друга, следовательно, модель не учитывает распределительную способность грунта. Для исправления недостатков простейшей модели Винклера было разработано множество ее модификаций – с двумя или тремя коэффициентами постели. В отечественной практике наиболее распространена модель Пастернака с двумя коэффициентами постели. [4]. Однако в современных расчетных комплексах имеет место также моделирование основания объемными конечными элементами. В настоящее время возможности вычислительных комплексов позволяют это сделать. При таком подходе нет необходимости использовать коэффициенты постели.

Анализ напряженно-деформированного состояния системы сооружение – основание выполнялся методом конечных элементов в проектно-вычислительном комплексе Structure CAD 11.5 для одного температурного блока здания бора.

Анализируются три конечноэлементные модели здания Узла бора:

- модель на жестком основании;
- модель на упругом основании (с использованием коэффициентов постели,  $C_1$  и  $C_2$ );
- модель на упругом основании (с использованием объемных конечных элементов).

Модель на жестком основании (рис.1). В расчетном комплексе Structure CAD 11.5 жесткое основание было реализовано за счет запрета перемещений и поворотов относительно осей  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  узлов фундаментной плиты.

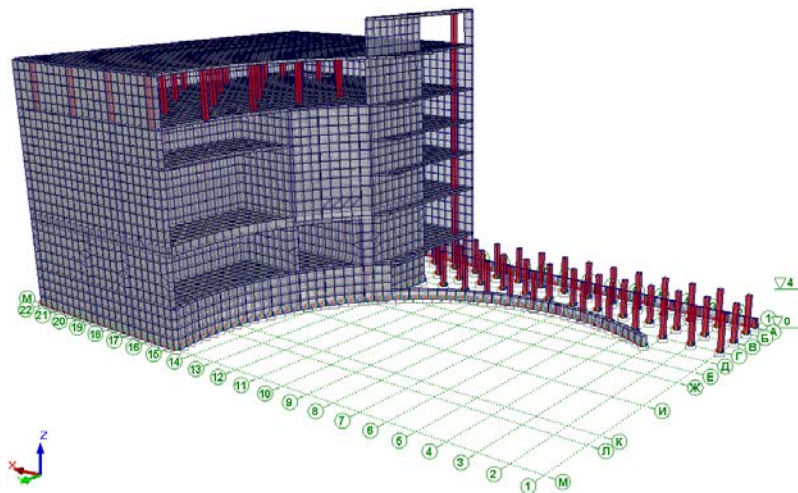


Рис. 1. Модель на жестком основании

Модель на упругом основании (с использованием коэффициентов постели,  $C_1$  и  $C_2$ , модель Пастернака) (рис. 2). В данной модели на основании геологических данных, приведенных в таблице 1, были рассчитаны коэффициенты постели  $C_1$  и  $C_2$  ( $C_1$  – коэффициент сжатия, измеряемый в  $\text{кг}/\text{см}^3$  или  $\text{т}/\text{м}^3$ , связывающий интенсивность вертикального отпора грунта с его осадкой);

Характеристики ґрунтів основания здания Узла бора

№ ИГЭ	Инженерно-геологический элемент (ИГЭ)	Характеристики			
		Толщина, (м)	Коэффициент Пуассона, $\nu$	Модуль деформации $E$ , (МПа)	
1	Глины	2	0.37	23	
2	Неогеновые отложения сарматского яруса – глины с линзами разнозернистых песков	2	0.45	18	
3	Элювиальные ґрунты, продукты выветривания гранитов – каолины и дресва	Каолин	6	0.27	40
		Гранит	–	–	–

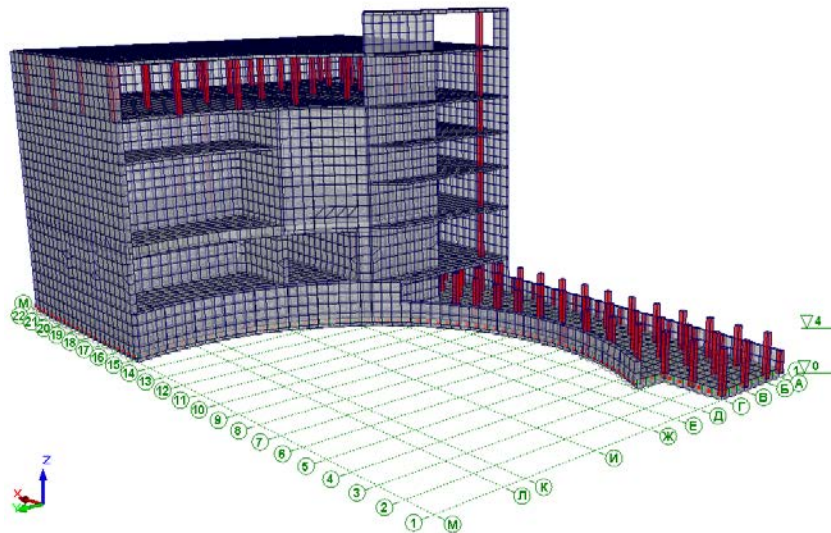


Рис. 2. Модель на упругом основании (с использованием коэффициентов постели  $C1$  и  $C2$ )

$C2$  – коэффициент сдвига, измеряемый в кг/см или т/м, дает возможность выразить интенсивность вертикальной силы сдвига) [4].

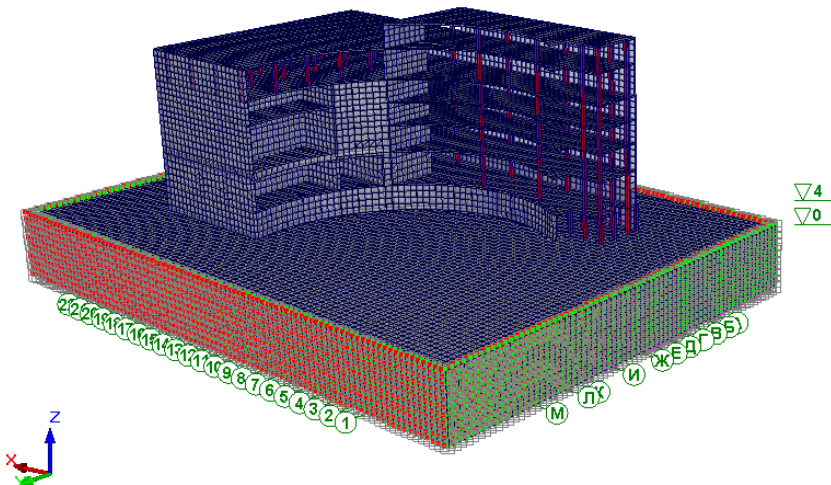


Рис. 3. Модель на упругом основании (с использованием объемных  $K$ )

Модель на упругом основании (с использованием объемных конечных элементов) (рис. 3). В этой модели ґрунтовое основание создано по схеме линейно-деформируемого слоя конечной

толщины [2]. Суть модели заключается во введении в схему лишь верхних сжимаемых слоев, ниже которых грунт считается несжимаемым. В данном анализе такая схема имеет место, т. к. согласно геологическим данным на отметке -10 м залегает гранит.

В связи с тем, что в рамках проводимого анализа больший интерес вызывает НДС конструкций, а не распределение напряжений в упругом слое грунта основания, возникает необходимость ограничивать размеры слоя в плане, пренебрегая работой той части упругого основания, которая находится на достаточном удалении от края конструкции. Существует эмпирическое правило, которое говорит о том, что достаточно включить в расчетную схему упругий слой, находящийся с каждой стороны от края конструкции на расстоянии  $L = H \dots 1,5 H$ , где  $H$  – высота сжимаемой толщи [5].

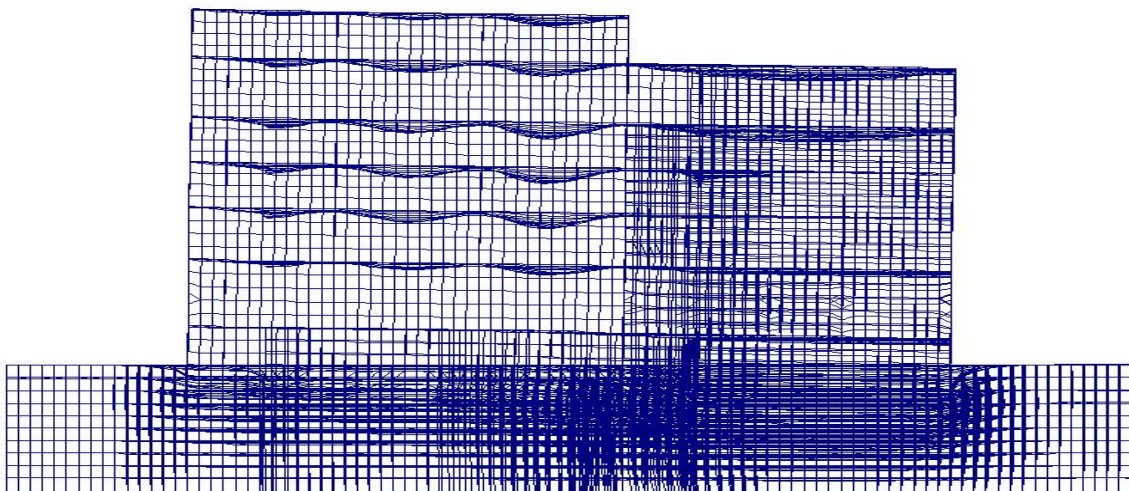
Статический расчет модели был выполнен в линейной постановке. Теоретической основой расчетного комплекса SCAD 11.5 является метод конечных элементов в форме метода перемещений [5]. В результате расчета были получены следующие параметры: перемещения, усилия, напряжения.

При анализе результатов расчета была выявлена наиболее неблагоприятная комбинация нагрузок, в которую вошли: постоянные нагрузки, нагрузки от резервуаров, наполненных борным раствором, ветровая, снеговая и эксплуатационная нагрузки. Вероятность одновременного действия нагрузок была учтена коэффициентами сочетаний [3]. Экстремальные значения параметров, полученных с учетом данной комбинации, приведены в табличной форме.

Таблица 2

*Абсолютные значения перемещений в узлах*

Фактор	Тип основания			№ узла
	Жесткое	Упругое, C1, C2	Упругое, объемные КЭ	
X, мм	3.541	4.489	8.63	6 088
Y, мм	3.859	5.498	8.97	11 576
Z, мм	46.263	50.98	79,639	8 889
Ux, рад	8.699	8.647	9.543	8 567
Uy, рад	6.383	6.231	7.416	5 556
Uz, рад	0.217	0.213	0.233	11 320



*Рис. 4. Деформированная схема конструкции на основании из объемных КЭ*

Величины экстремальных перемещений узлов конструкции (табл. 2), полученные по трем вышеописанным моделям, находятся в пределах 40 – 80 мм. Очевидно, что минимальные перемещения наблюдаются в модели с жестким основанием. Увеличение перемещений происходит с включением в модель упругого основания. Значения перемещений в модели с жестким основанием и моделью Пастернака имеют приблизительно одинаковый порядок.



Однако в модели с основанием из объемных конечных элементов величины перемещений резко возрастают. Следовательно, основание из объемных конечных элементов имеет большую податливость. Несмотря на трудоемкость моделирования, по сравнению с моделью Пастернака, модель основания из объемных КЭ позволяет более наглядно определить поведение конструкции с учетом заданных геологических условий (рис. 4).

Значения экстремальных усилий в колоннах конструкции (табл. 3), в зависимости от модели основания, практически не отличаются (~1 – 2 %). Таким образом, учет основания не оказывает значительного влияния на продольные силы, изгибающие моменты и поперечные силы, возникающие в сечениях элементов конструкции.

Таблица 3

*Абсолютные значения усилий в колоннах*

Фактор	Тип основания			№ элемента
	Жесткое	Упругое, С1, С2	Упругое, объемные КЭ	
N, т	304.685	305.947	303.58	9 811
M <sub>y</sub> , тм	53.185	52.062	52.571	9 798
Q <sub>z</sub> , т	21.535	21.059	21.275	9 801
M <sub>z</sub> , тм	77.703	77.222	77.231	9 804
Q <sub>y</sub> , т	27.83	27.672	27.67	9 809

Анализ экстремальных значений напряжений (табл. 4), полученных в результате расчета, показал, что при переходе от жесткого основания к упругому происходит значительное возрастание напряжений (~60 %). Это объясняется тем, что при учете основания в элементах конструкции возникают дополнительные напряжения от неравномерной осадки здания. Происходит перераспределение напряжений. Для модели на жестком основании возникновение этих напряжений исключено.

В случае моделирования основания посредством коэффициентов постели и объемными конечными элементами возникает дополнительный фактор  $R_z$ , который характеризует реактивный отпор грунтового основания. Для основания с коэффициентами постели  $R_z = 23.883$  (т/м<sup>2</sup>), а для основания из объемных конечных элементов  $R_z = 37.276$  (т/м<sup>2</sup>).

Для определения адекватности того или иного способа учета основания в расчетном комплексе SCAD 11.5 необходимы экспериментальные данные о деформациях грунтового основания.

Таблица 4

*Абсолютные значения напряжений в пластинчатых конечных элементах*

Фактор	Тип основания			№ элемента
	Жесткое	Упругое, С1, С2	Упругое, объемные КЭ	
N <sub>X</sub> , т/м <sup>2</sup>	288.016	327.681	372.847	9 709
N <sub>Y</sub> , т/м <sup>2</sup>	286.714	326.08	374.159	7 509
M <sub>X</sub> , тм/м	46.77	60.322	58.479	4 529
M <sub>Y</sub> , тм/м	47.315	66.422	65.344	4 542
Q <sub>X</sub> , т/м	126.464	124.434	125.146	4 483
Q <sub>Y</sub> , т/м	73.236	76.871	86.474	4 496

**Выводы.** Сравнение результатов статического расчета здания Узла бора показало, что учет геологических особенностей основания является определяющим фактором при анализе НДС конструкции. Особое влияние этот фактор оказывает на перемещения узлов конструкции и напряжения в конструктивных элементах.

Анализируя способы учета основания, можно сделать вывод, что модель с использованием коэффициентов постели отличается простотой реализации, в то время как модель конструкции с основанием из объемных конечных элементов более трудоемка, но позволяет посредством

деформованих схем з определеною точністю спрогнозувати поведінку конструкції в реальних геологічних умовах з заданими навантаженнями.

Следователно, урахування при моделюванні залізобетонних конструкцій має місце бути і являється важливим фактором, впливаючим на НДС конструкції.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Городецкий А. С.** Компьютерные модели конструкций / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров. – К. : Факт, 2005. – 344 с.
2. **Герсеванов Н. М.** Основы динамики грунтовой массы / Н. М. Герсеванов. – М., изд. 1931. – 504 с.
3. ДБН В.1.2.-2:2006. Нагрузки и воздействия. – К. : Минстрой Украины, 2006. – 78 с.
4. **Пастернак П. Л.** Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. – Л. : Типограф. № 2 Гос. изд. по строит. и архитект., 1954. – 54 с.
5. **Перельмутер А. В., Сливкер В. И.** Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – К. : Сталь, 2002. – 600 с.
6. Нормы проектирования атомных станций. ПНАЭ Г-5-006-87 / Госатомнадзор СССР. – М. : 1988. – 39 с.
7. **John W. Bull**, Soil-structure interaction: numerical analysis and modeling, 1994. – 324 p.

УДК 725:691.2:504

#### СПОРУДЖЕННЯ МАЛОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ З СОЛОМ'ЯНИХ БЛОКІВ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

*О. В. Семко\**, д. т. н., проф., *О. І. Філоненко\**, к. т. н., доц.,  
*С. П. Панченко*, к. т. н., доц., *Є. І. М'який\**, магістр

*\*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

**Ключові слова:** солома, солом'яний блок, «пасивний» будинок, опір теплопередачі, коефіцієнт теплопровідності

**Постановка проблеми.** У Європі зараз досить популярним є спорудження екологічних будинків, основною вимогою в яких є використання місцевих екологічно чистих будівельних матеріалів. Найбільш популярним, екологічно чистим та енергоефективним будівельним матеріалом у таких будинках є пресовані солом'яні тюки.

Позитивний вплив на здоров'я та довголіття людини можна здійснювати завдяки використанню екологічно чистих (біопозитивних) будівельних матеріалів.

В Україні відсутні нормативні документи, які б дозволили будувати дешево, енергоефективне та екологічно чисте житло з використанням як утеплювача пресованих солом'яних тюків.

Крім того, в Україні існує велика проблема із забезпечення громадян доступним житлом.

**Аналіз публікацій.** Солома з давніх часів використовується як будівельний матеріал. У Європі, а також в Україні включно до ХХ століття із соломи робили покрівлю житла. Достатньо розвинуто саманне будівництво, в якому одним із головних складових є солома як армувальний матеріал.

Сучасне будівництво з соломи бере свій початок з кінця ХІХ століття, коли в США з'явилися перші парові пресувальні машини. За допомогою відносно простого робочого процесу із соломи пресувались тюки. Преси для соломи, які приводилися в дію вручну, були запатентовані в Сполучених Штатах Америки до 1850 року. Вперше в історії задокументоване використання блоків для будівництва згадується в 1896 – 1897 роках. Однокімнатне приміщення школи, збудоване із блоків сіна біля Скоте Блафф у Небрасці, проіснувало декілька років. Тюки вкладалися один на один, аналогічно до будівництва з каменю, а стіни із тюків оштукатурювали зсередини та ззовні глиною або обшивали деревом [1; 3].

Використання цієї технології в Небрасці найширше було розповсюджене в 1915 – 1930 роках та закінчилось в 1940-х. Із 70 задокументованих будівель цього періоду 13 проіснувало до 1993 року, і майже всі залишалися придатними для проживання.