

**РАСЧЕТ БАЛОК И ПЛИТ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ
С УВЕЛИЧИВАЮЩЕЙСЯ В ПРОЦЕССЕ
НАГРУЖЕНИЯ ЖЕСТКОСТЬЮ**

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме создания конечно-элементных моделей для расчета сооружений на нелинейно упругом основании с растущей в процессе нагружения жесткостью, а также моделированию опорных связей с жесткой восстанавливающей силой в среде ПК ЛИРА-САПР.

Ключевые слова: методика, моделирование, конечно-элементные модели, жесткая восстанавливающая сила, нелинейно упругое основание, балка, плита, ПК ЛИРА-САПР.

Состояние проблемы. В практике проектирования машиностроительных и строительных конструкций часто возникает проблема расчета конструкций на упругих опорах и основаниях. В зависимости от материала и конструктивного решения восстанавливающие силы в этих опорах и основаниях могут быть линейными, мягкими и жесткими. Существует много математических моделей таких оснований. Достоинства и недостатки часто используемых моделей упругих оснований хорошо освещены в работе [1]. Наиболее простая, хорошо изученная и реализованная во многих программных комплексах, в том числе и в ПК ЛИРА-САПР, линейная модель упругого основания – модель Винклера. При расчете строительных конструкций на грунтовых основаниях эта модель плохо отражает действительную работу основания и сооружения из-за своих

³⁰ © Писаревский Б.Ю.

недостатков – основание не работает за пределами сооружения, не учитывается свойство грунта работать на сдвиг. Более совершенна модель Пастернака – в ней учитывается сопротивляемость основания сдвиговым деформациям. Наиболее совершенная модель - грунтового полупространства Кулона-Фадеева. В этой модели учитываются многие физико-механические свойства грунта, а также работа грунта за пределами конструкции.

Актуальность. Недостаток всех этих моделей – нельзя рассчитывать конструкции с жесткими восстанавливающими силами, а примеров таких конструкций и деталей много – предварительно напряженные тросы, пружинные амортизаторы, эластомеры, используемые для амортизации. В работе [2] приведены результаты экспериментальных исследований на сжатие насыпных разрушенных горных пород. На рис.1 показаны диаграммы «сжимающая сила–перемещение» (« F - Δ ») для песчаника -1, алевролита -2, и аргиллита -3). Связь между сжимающей силой и деформацией сжатия породы имеет сильно выраженный нелинейный характер. Из этих диграмм видно, что связь между нагрузкой и перемещением – жесткая и при расчете сооружения на таком основании в стадии монтажа необходимо учитывать его «жесткую» характеристику. Для таких оснований некорректно использовать модели Пастернака либо Винклера. На рис.2 показана диаграмма деформирования резины. Эта диаграмма более сложного поведения материала. На начальной стадии деформирования восстанавливающая сила такой связи, либо основания, «мягкая», а с ростом нагрузки становится «жесткой». Поэтому проблема моделирования опор и оснований с

«жесткими» восстанавливающими силами и «мягко-жесткими» восстанавливающими силами является актуальной.

Новизна. В данной статье предлагается методика моделирования опорных связей и оснований с «жесткой» восстанавливающей силой в среде ПК ЛИРА-САПР. Эта методика позволяет составлять модели и выполнять расчет в среде ПК ЛИРА-САПР многих новых задач, например, статический и динамический расчет балок и плит на упругом основании с «жесткой» постелью, продольно-поперечный изгиб и устойчивость, и т.п. В работе приведены некоторые результаты решения таких задач.

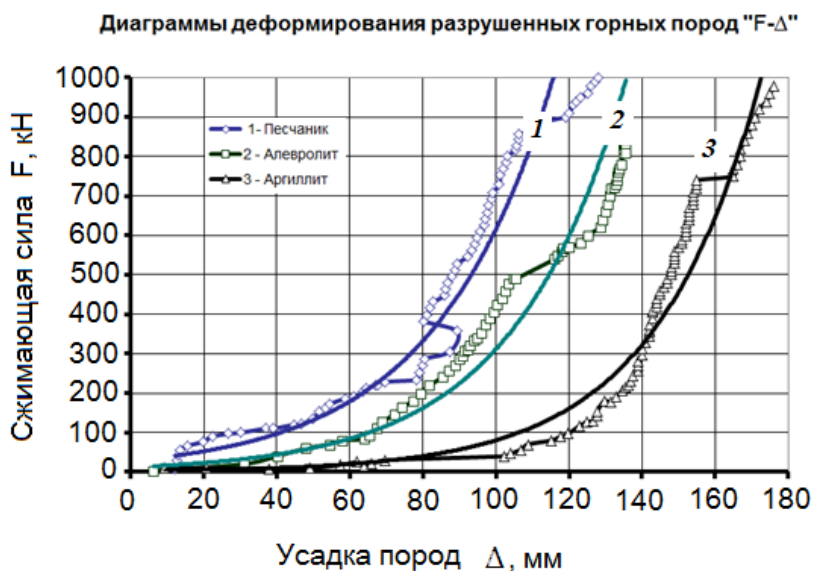


Рис. 1. - Диаграммы «сжимающая сила–перемещение» ($F-\Delta$) для песчаника, алевролита и аргиллита

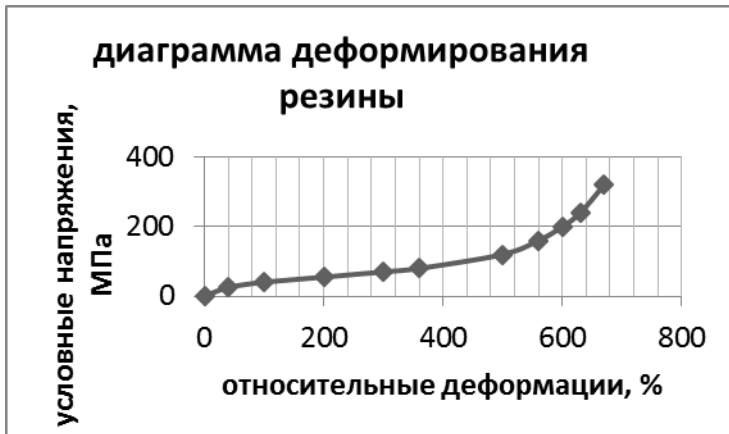


Рис. 2. – Діаграма деформування резины

1 Методика побудови моделі основи з жорсткою відновлюючою силою

1.1 Визначення коефіцієнтів постели.

Методику побудови моделі основи з жорсткою відновлюючою силою прослідимо на прикладі насипного основи з розбитого пісочника. В табл. 1 наведено взяті з результатів експерименту (рис.1) значення стискаючої сили P і відповідні їм абсолютні деформації пісочника D . Початкова висота стискаємої товщі $H = 500\text{мм}$, площа поперечного перерізу $A = 415.5\text{см}^2$. Отримані значення умовних напружень σ і відносних деформацій ϵ наведено в табл. 1.

Використовуючи діаграму « σ - ϵ » можна визначити тангенціальний модуль деформації ($E = d\sigma/d\epsilon$). Знаючи модуль деформації, можна скористатися залежністю Пастернака і визначити коефіцієнт постели.

Таблиця 1

$P,$ кГс	$D,$ мм	s кГс/см ²	e	$Ds,$ кГс/см ²	De	$E,$ кГс/см ²	$C,$ кГс/см ³
0	0	0	0				
				48	0.11	436	10.4
20000	55	48	0.11	24	0.032	750	17.9
30000	71	72	0.142	36	0.024	1500	35.7
42000	83	100	0.166	44	0.016	2750	65.5
60000	91	144	0.182	24	0.006	4000	95.2
70000	94	168	0.188	32	0.007	4570	108.8
83000		200	0.195				

Діаграма деформування пісчаника приведена на рис. 3.

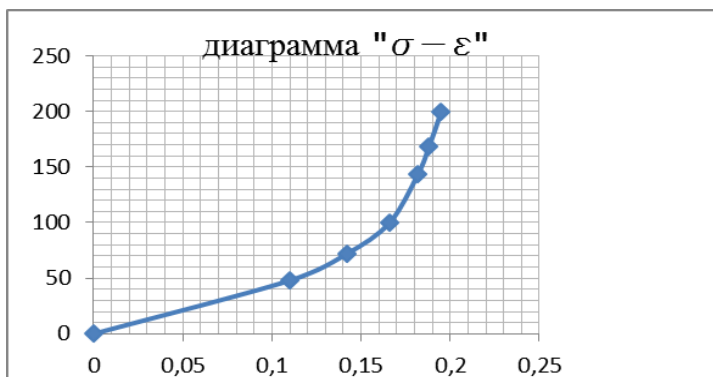


Рис. 3 – Діаграма деформування руйнованого пісчаника

$$C_1 = \frac{E}{h(1 - \mu^2)}$$

где E - касательный модуль деформации;

h - толщина сжимаемого слоя;

μ - коэффициент Пуассона грунта.

1.2 Построение модели упругого основания с увеличивающейся в процессе нагружения жесткостью.

Для построения конечно-элементной модели упругого основания, у которого в процессе нагружения увеличивается жесткость, будем пользоваться кусочно-линейной диаграммой деформирования. Для получения такой диаграммы следует разбить диаграмму деформирования на несколько участков и заменить прямолинейными криволинейные участки диаграммы. На рис.4 показан условно фрагмент такой диаграммы. После этого следует построить диаграмму «С-D».

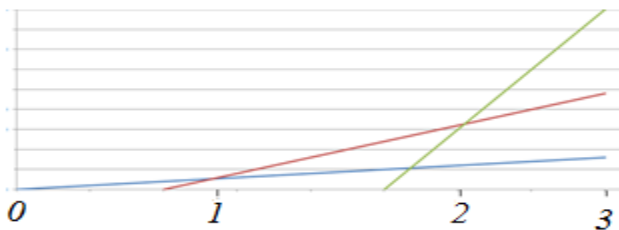


Рис. 4 – Кусочно-линейная диаграмма «σ-ε»

Рассмотрим характер работы такого основания. Реакция основания при степени сжатия от 0 до 1 такая же, как и у Винклерового основания, на участке 1-2 как сумма двух оснований простого Винклерового первого участка и дополняющего, на третьем участке сумма трех: Винклерового основания первого участка, Винклерового основания второго

участка, плюс дополнительного для третьего участка. Для того, что бы построить модель такого сложного основания, предлагается поступить следующим образом:

Между недеформируемым основанием и узлом балки вставить набор пружин «одна в одной» с разными зазорами.

Если перемещение малы, то включается в работу только первая пружина, с ростом деформации на основание включается вторая и т.д. Реакция такого основания подобна диаграмме деформирования «F- Δ».

Для построения такой модели предлагается использовать КЭ-261 и КЭ-262.

Если число участков на кусочно-линейной диаграмме n , то не обходимо поставить набор из n элементов.

При трехлинейной диаграмме в каждый узел расчетной схемы необходимо поставить три конечных элемента КЭ-261, каждый из которых моделирует пружину. Жесткость каждой пружины определяется как произведение коэффициента постели на грузовую площадь, приходящуюся на узел i :

$$R_i = DC_i A_i ,$$

где DC_i – коэффициент постели дополняющего на участке основания;

A_i – грузовая площадь введенной связи;

R_i – коэффициент жесткости пружины.

Для нашего случая для первого элемента в наборе $DC_1=10.4$, для второго элемента $DC_2=17.9-10.4$, для третьего элемента $DC_2=35.7-17.9$ и т.д.

Значения D характерных точек диаграммы «C-D» будут величинами зазоров для КЭ-261 и КЭ-262.

В жесткостных характеристиках у первого элемента зазор $D_1=0\text{мм}$, у второго элемента зазор $D_2=55\text{мм}$, у третьего элемента зазор $D_3=71\text{мм}$, и т.д.

2 Некоторые результаты расчетов конструкций на жесткой постели

2.1 Результаты расчета балки при продольно-поперечном изгибе.

В качестве примера рассмотрена балка двутаврового поперечного сечения № 70. Длина балки 10м. Балка загружена сосредоточенной силой $F = 1000\text{тс}$, приложенной в середине пролета, и продольными сжимающими силами. На рис. 5-7 показаны расчетная схема, деформированная схема, эпюры изгибающих моментов и поперечных сил.

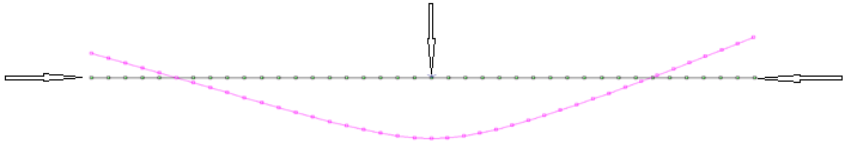


Рис. 5 – Расчетная и деформированная схема балки на « жесткой постели» при продольно-поперечном изгибе

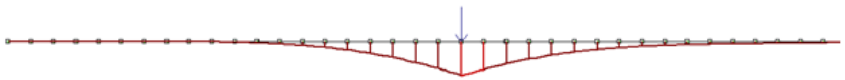


Рис. 6 – Эпюра M в балке на « жесткой постели» при продольно-поперечном изгибе

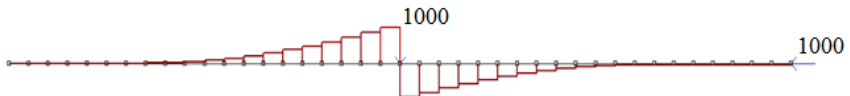


Рис. 7 – Эпюра Q в балке на « жесткой постели» при продольно-поперечном изгибе

Из рис. 5 видно, что у балки есть участки, которые «отлипают» от основания. Такой эффект нельзя получить ни на модели Винклера, ни на модели Кулона-Фадеева.

2.2 Результаты расчета полосы, лежащей на сплошном упругом основании. На рис.8 приведен фрагмент конечно-элементной модели для полосы, непосредственно лежащей на сплошном упругом основании, и загруженной распределенной нагрузкой $q=20\text{тс/м}$. Конструкция имеет неограниченный размер вдоль оси y , поэтому рассматривается случай плоской деформации. Грунт имеет следующие характеристики: модуль деформации $E=1000\text{тс/м}^2$, объемный вес грунта $g=2\text{тс/м}^3$, коэффициент Пуассона $\nu=0.4$, коэффициент сцепления $C=5\text{тс/м}^2$, угол внутреннего трения $f=45^\circ$. Толщина полосы 0.3м , модуль упругости $E=300000\text{тс/м}^2$. Модель упругого основания – Модель Кулона-Фадеева. Толщина сжимаемой толщи равна 17м , ширина массива равна 44м , длина балки – 10м . (Условие задачи взято из работы [1]).

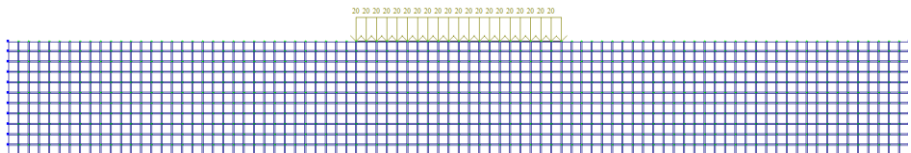


Рис. 8 - Модель для полосы, непосредственно лежащей на сплошном упругом основании

На рис.9 приведена та же конструкция, но между балкой и массивом грунта имеется насыпной слой из разрушенного песчаника. Толщина слоя – 0.5м . Все остальные характеристики слоя взяты из табл. 1.

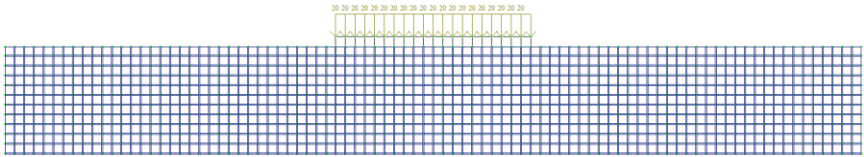


Рис. 9 - Модель для полосы, лежащей на подстилающем слое, насыпанном на сплошное упругое основание

Как и следовало ожидать, деформации и усилия в грунтовом массиве отличаются незначительно. Наибольший изгибающий момент в балке при отсутствии подсыпки равен 25.4 тс/м , при наличии подсыпки – 25.9 тс/м . Не большая разница в величине усилий объясняется малой толщиной насыпного слоя (0.5 м).

Выводы. Разработанная методика построения конечно-элементных моделей для расчета сооружений на нелинейно упругом основании с растущей в процессе нагружения жесткостью, с жесткой восстанавливающей силой в среде ПК ЛИРА-САПР позволяет решать широкий класс новых актуальных задач.

Использованная литература

1. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. – К.: Факт, 2007. – 394 с.
2. Аверин Г.А., Кирьязов П.Н., Доценко О.Г. Механические характеристики пород кровли. // «Уголь Украины». – 2010, апрель, с. 38-40.

Анотація. Стаття присвячена актуальній проблемі створення скінченно-елементних моделей для розрахунку споруд на нелінійній пружній основі, жорсткість якої зростає у процесі навантаження, а також моделюванню опорних в'язів з жорсткою силою відновлення в середовищі ПК ЛИРА-САПР.

Ключові слова: методика, моделювання, скінченно-елементні моделі, зростаюча жорстка сила відновлення, нелінійно пружна основа, ПК ЛІРА-САПР.

Annotation. Article is devoted to the problem of creating finite element models for the calculation of structures on a nonlinear elastic foundation with increasing stiffness during loading and modeling support links with stiff restoring force in the medium LIRA-SAPR.

Key words: methods, modeling, finite-element models, stiff restoring force is nonlinear elastic foundation, beam, plate, LIRA-SAPR.

Стаття надійшла до редакції у листопаді 2013р.

УДК 624.042.8:69.032.22(043.2) Башинський Я.В., магістр,³¹
молодший науковий співробітник
Науково-дослідний інститут
будівельного виробництва,
м. Київ, Україна

ОСОБЕННОСТИ ВИБРОЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ ВБЛИЗИ МЕТРОПОЛИТЕНА

Аннотация. В городах со сложившейся застройкой, линии метро, как правило, проложены под землёй и лишь иногда выходят на поверхность или на эстакады. Данная статья посвящена исследованию проблем, связанных с пагубным влиянием метрополитена на здания. Рассматривается эмпирический подход на примере высотного здания у метрополитена в г. Киев, Украина.

Ключевые слова: метрополитен, вибрации, цифровая модель.

Введение. До настоящего времени не существовало корректной расчетной методики прогноза значений вибрации от действующих линий метрополитена. Это связано с тем, что механизм возбуждения вибрации изучен недостаточно.

³¹ © Башинський Я.В.