

УДК 721.01:624.012.3:681.3.06

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ ГРУНТ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЖЕСТКОСТИ ГРУНТОВОГО И СВАЙНОГО ОСНОВАНИЙ

*к.т.н., Городецкий Д.А. *, к.т.н., Максименко В.П. **, инж. Медведенко Д.В. *, к.т.н., Стрелец-Стрелецкий Е.Б. **

**ООО ЛИРА САПР, Киев.*

***Научно-исследовательский институт строительного производства (НИИСП), Киев.*

Рассмотрены возможности системы ГРУНТ, предназначенной для определения параметров жесткости грунтового и свайного оснований в соответствии с моделями Винклера и Пастернака. Приведены классические и экспериментальные методы, а также реализованные алгоритмы вычисления осадок, кренов и перекосов существующих и проектируемых сооружений в соответствии с различными нормативными документами. Система ГРУНТ позволяет производить экспертную оценку влияния проектируемых новых зданий на существующую окружающую застройку.

Система ГРУНТ реализует вычисление параметров жесткости грунтового и свайного оснований в соответствии с моделями грунта Винклера и Пастернака.

Для описания площадки строительства в графическом режиме задается база характеристик грунта (ИГЭ), указываются координаты и отметки устьев скважин, а также характеристики слоев грунта в каждой скважине (Рис. 1)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	Наиме	Усл.	Наименование	Цвет	Модуль	Коэффициент	Удельный	Коэффициент	Природная	Показатель	Водя	Коэффици
	ИГЭ	обозн.	грунта		деформации,	Пуассона	вес грунта,	лежания	влажность,	текучести	Водя	показате
					тсАл*10 ²		тсАл*10 ³		доли			
1												
2	Наиме	Усл.	Наименование	Цвет	Модуль	Коэффициент	Удельный	Коэффициент	Природная	Показатель	Водя	Коэффици
3	ИГЭ	обозн.	грунта		деформации,	Пуассона	вес грунта,	лежания	влажность,	текучести	Водя	показате
4					тсАл*10 ²		тсАл*10 ³		доли			
5												
6	1		Пылеватый		1000	0.5	1.8	5	0.05	0.2		1
7	2		Песок пылеватый		1800	0.5	1.75	5	0.25		W	0
8	3		Суглисы		2000	0.5	1.82	5	0.25		1.1 W	0
9	4		Суглинок тугоп.		1800	0.35	1.87	5	0.17		0.25	0
10	5		Глина полутверд.		2200	0.42	1.92	5	0.02		0.15	1

Рис. 1. Задание характеристик грунтов

На основании этих данных формируется пространственная модель грунта, а по отметкам устьев скважин выстраивается рельеф дневной поверхности. При этом предполагается, что рельеф является достаточно гладким (Рис. 2). Контроль заданных параметров может осуществляться с помощью отображения геологических разрезов, которые выстраиваются вдоль отрезка прямой, проведенной в любом месте заданной площадки строительства. На заданной площадке строительства располагаются произвольные полигональные контуры фундаментов и/или свайных

ростверков проектируемых сооружений, а также контуры фундаментов существующих зданий. Задаются также параметры ростверков и свай.

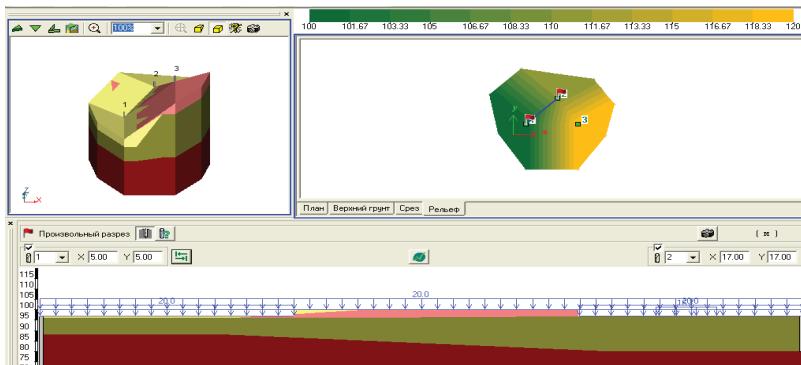


Рис. 2. Пространственная модель грунта

В пределах каждого контура задаются нагрузки, прилагаемые в уровне отметки подошвы соответствующего фундамента (Рис. 3). Нагрузки могут быть заданы в произвольном месте площадки. Допускаются следующие виды нагрузок – сосредоточенные силы, равномерно распределенные нагрузки по всей области контура и равномерно распределенные нагрузки по произвольно очерченному контуру (штамп).

Внешняя нагрузка на свайный фундамент может быть распределена по нескольким уровням вдоль длины свай, что дает возможность уточнять величину осадки. Полная нагрузка регулируется тремя коэффициентами. Коэффициент **K1** соответствует доле нагрузке, приходящей на уровень подошвы ростверка. Коэффициент **K2** соответствует доле нагрузки, действующей вдоль длины свай. Кроме того, доля нагрузки вдоль свай (**K2**) может быть еще равномерно разбита на несколько нисходящих подуровней. Коэффициент **K3** соответствует доле нагрузки, приходящей на уровень пяты свай в грунт. Сумма этих коэффициентов должна быть равной единице.

Система выполняет следующие операции:

- определение полей осадок грунтового и свайного оснований для существующих и проектируемых зданий в соответствии с заданными нагрузками и инженерно-геологическими условиями;
- определение границы сжимаемой толщи в соответствии с условиями различных нормативов;
- вычисление коэффициентов постели упругого (грунтового) основания **C1** и **C2** в соответствии с моделями грунта Винклера и Пастернака;
- вычисление разностей осадок, а также перекосов фундаментов существующих зданий с учетом влияния проектируемых сооружений.

Для выполнения вычислений производится триангуляция областей, ограниченных заданными контурами. В узлах триангуляции с шагом, которым можно управлять, вычисляются все необходимые параметры.

В соответствии с приложенными нагрузками определяются осадки грунта под проектируемыми фундаментами и свайными ростверками. При этом учитываются положения действующих в Украине и России норм по проектированию оснований зданий и сооружений и свайных фундаментов – ДБН В.2.1-10:2009, СНиП 2.02.01-83, СП 50-101-2004, СП 22.13330.2011 и СП 24.13330.2011 [1-5].

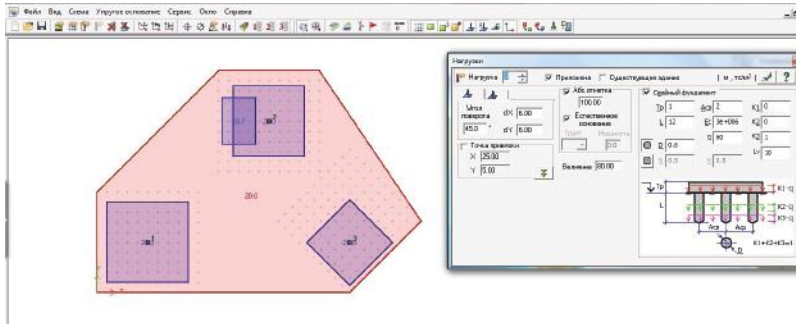


Рис. 3. Задание нагрузок на основание

Вычисление осадок S производится методом послойного суммирования с использованием схемы линейно-деформируемого полупространства (задача Буссинеска) [8] (см. Рис.4).

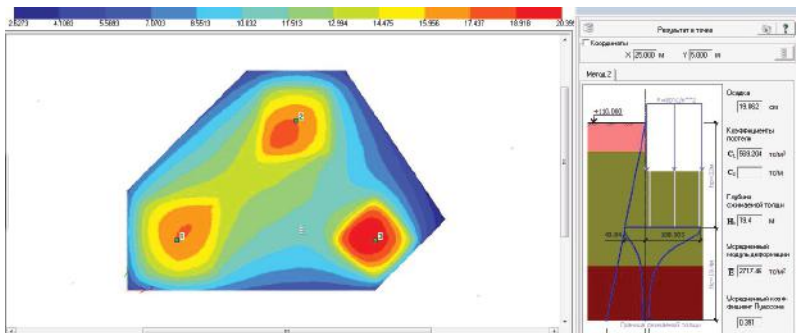


Рис. 4. Изополя осадок и этора вертикального напряжения.

Достижение границы сжимаемой толщи H_C регулируется выполнением условия $\sigma_{zp} = k \cdot \sigma_{zg}$ с помощью задаваемого коэффициента глубины

сжимаемой толщи k .

Вычисляются следующие слагаемые:

$$W1 = \frac{\sum_1^n (\sigma_{zp,i} - \sigma_{zy,i}) \cdot h_i}{E_i}; \quad W2 = \frac{\sum_1^n \sigma_{zy,i} \cdot h_i}{Eei}; \quad W3 = \frac{\sum_1^n \sigma_{zp,i} \cdot h_i}{Eei}, \quad (1)$$

где E_i , Eei – модуль деформации i -го слоя грунта по ветви первичного и вторичного нагружений (по умолчанию $Eei = E_i$);

$\sigma_{zp,i}$ – напряжение в i -том слое грунта от внешней нагрузки;

$\sigma_{zy,i}$ – напряжение в i -том слое от собственного веса грунта, вынуженого из котлована;

n – количество подслоев грунта от подошвы фундамента до глубины сжимаемой толщи HC .

Если собственный вес грунта на уровне подошвы больше среднего давления под подошвой, то осадка $S = 0.8 \cdot W3$, иначе осадка $S = 0.8 \cdot (W1 + W2)$. Для вычисления коэффициентов постели используются усредненные (в пределах зафиксированной глубины сжимаемой толщи HC) значения модуля деформации $E_{ГР}$ и коэффициента бокового расширения $m_{ГР}$. Эти значения вычисляются по формулам.

$$E_{ГР} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i h_i}{H_C}; \quad m_{ГР} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i h_i}{H_C}, \quad (2)$$

Коэффициент постели $C1$ вычисляется тремя методами.

Метод 1. Коэффициент постели $C1$ вычисляется на основании усредненных значений $E_{ГР}$ и $m_{ГР}$ по формуле:

$$C_1 = E_{ГР} \cdot [H_C (1 - 2m_{ГР}^2)] \quad (3)$$

Метод 2. Коэффициент постели $C1$ вычисляется по формуле Винклера:

$$C_1 = q \cdot S, \quad (4)$$

где q – среднее давление под подошвой фундамента.

Метод 3. Для определения коэффициента постели $C1$ используется формула метода 1. Отличие состоит в том, что для определения усредненного модуля деформации $E_{ГР3}$ вводится поправочный коэффициент u к величине модуля деформации i -того подслоя. Этот коэффициент изменяется от $u_1=1$ на уровне подошвы фундамента до $u_n=12$ на уровне уже вычисленной границы сжимаемой толщи. Принято, что коэффициент u изменяется по закону квадратной параболы:

$$u = 11z^2 \cdot H_C^2 + 1 \quad (5)$$

Суть метода 3 изложена в работах [6, 7] и состоит в том, что в действительности модуль деформации грунта по глубине нарастает. Не учет этого факта приводит к неоправданно завышенным значениям осадок, а,

следовательно, и к заниженным значениям коэффициента постели **C1**. Кроме того, принимается, что дополнительное вертикальное напряжение по глубине распределено равномерно, тогда:

$$E_{ГРЗ} = H_C \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{u_i E_i}} \quad (6)$$

Для методов 1 и 3 коэффициент постели **C2** вычисляется по формуле:

$$C_2 = C_1 H_C^2 (1 - 2m_{ГР}^2) \sqrt{[6(1 + m_{ГР})]} \quad (7)$$

Для метода 2 коэффициент постели **C2** не вычисляется.

По результатам работы программы выполняется построение полей осадок, границ сжимаемой толщи, коэффициентов постели Пастернака и Винклера. Выполняется построение эпюр вертикальных напряжений в любой точке приложенной нагрузки (Рис. 4, 5).

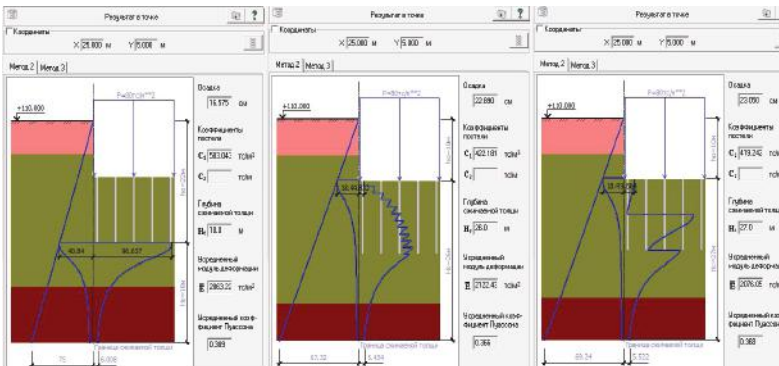


Рис. 5. Эпюра вертикального напряжения при различном распределении нагрузки вдоль свай.

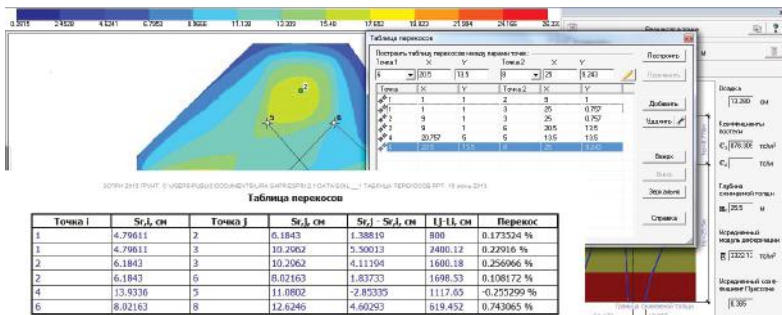


Рис. 6. Таблицы осадок и перекося.

Расчет осадки свайного фундамента, как условного, строго в соответствии с нормами выполняется при $K_1, K_2 = 0$ и $K_3 = 1$.

Если внешняя нагрузка на свайный фундамент задана на несколько уровней, то эпюра напряжений от нее будет иметь ступенчатый вид, отражающий уровни приложения соответствующих долей нагрузки. Так на Рис. 5-а показана эпюра вертикального напряжения при $K_1 = 0, K_2 = 0, K_3 = 1$. На Рис. 5-б показана эпюра вертикального напряжения при $K_1 = 0.05, K_2 = 0.9, K_3 = 0.05$. Причем, K_2 разбит еще на 10 подуровней (количество подуровней может изменяться по желанию пользователя). На Рис. 5-в показана эпюра вертикального напряжения при $K_1 = 0.1, K_2 = 0.6, K_3 = 0.3$.

По результатам вычисления осадок предоставляется возможность вычисления их разностей между существующими и проектируемыми фундаментами. Определяются также перекосы фундаментов существующих зданий, возникающие от проектируемых сооружений (Рис. 6). Перекосы вычисляются между парами точек, заданных пользователем.

Система ГРУНТ входит в состав таких программных комплексов как ЭСПРИ 2013, ЛИРА-САПР и МОНОМАХ-САПР [9, 10, 11].

Выводы. Система ГРУНТ позволяет производить экспертную оценку осадок, кренов и перекосов сооружений как на естественном, так и на свайном основании и оценивать влияние проектируемых новых зданий на существующую окружающую застройку.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.1-10:2009. Основи та фундаменти споруд. Мінрегіонбуд України. Київ, 2009.-107.с
2. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. М., Стройиздат, 1985. – 40с.
3. СП 50-101-2004. Основания зданий и сооружений. М., ФГУП ЦПП, 2005. - 176с.
4. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. М., 2011.- 166с.
5. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. М., 2011.- 85с.
6. Г.К. Клейн. Расчет балок на сплошном основании, непрерывно неоднородном по глубине. Строительная механика и конструкции. Сб. трудов МИИГС Мосгорисполкома, №3, 1954.-С.120.
7. Г.К. Клейн, А.Е. Дураев. Учет возрастания модуля деформации грунта с увеличением глубины при расчете балок на сплошном основании. Гидротехническое строительство. 1971.-№7.-С.19-21.
8. Н.А. Цытович. Механика грунтов. М., Госстройиздат, 1963.- 636с.
9. ЛИРА 9.4. Руководство пользователя. ОСНОВЫ. Учебное пособие. Под. ред. А.С. Городецкого. К., Факт, 2008., 168с.
10. МОНОМАХ 4.2. Примеры расчета и проектирования. Учебное пособие. Под. ред. А.С. Городецкого. К., 2007., 292с.
11. ЭСПРИ. Руководство пользователя. Учебное пособие. Под. ред. А.С. Городецкого. К., 2012., 202с.