

УДК 721.01:624.012.3:681.3.06

**Максименко В.П., к.т.н., с.н.с.,  
Марчук С.А., зав. відделом,  
ГП «НИИСП», г. Киев,  
Городецкий Д.А., к.т.н., с.н.с.,  
Стрелец-Стрелецкий Е.Б., к.т.н., с.н.с.,  
Медведенко Д.В., инж.  
ООО «ЛИРА САПР», г. Киев**

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НОВОГО  
ВЫСОТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА  
ОКРУЖАЮЩУЮ ЗАСТРОЙКУ  
СИСТЕМОЙ ГРУНТ**

*Рассмотрены возможности системы ГРУНТ, предназначенной для определения параметров жесткости грунтового и свайного оснований. Приведены методы и реализованные алгоритмы вычисления осадок, кренов и перекосов существующих и проектируемых сооружений в соответствии с различными нормативными документами. Рассмотрены возможности системы ГРУНТ на реальном примере экспертной оценки влияния проектируемых новых высотных зданий на существующую окружающую застройку.*

*Ключевые слова: естественное основание, свайные фундаменты, неравномерные осадки, перекосы зданий.*

**АКТУАЛЬНОСТЬ.**

Строительство высотных сооружений оказывает сильное влияние на окружающую застройку и на подземные коммуникации. Это влияние вызвано большими осадками грунтовых оснований, вызванное необходимостью устройства глубоких котлованов для подземных паркингов и т.п. По данным Международного конгресса по высотному строительству СТВИН (США, 2009 [11]) для зданий высотой более 150м полная стабилизация осадок может продолжаться значительное время – от трех до пяти лет.

**ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ.**

Рассмотрим в качестве примера влияние на окружающую застройку трех новых высотных 36-и этажных зданий торгового-офисного и отельного комплекса с наземным паркингом по Воздухофлотскому просп. в г. Киеве (Рис.1 - Рис.5).

В нормативных документах по высотному строительству присутствует требование по определению зоны влияния нового строительства на деформированное состояние существующей застройки, в том числе и дополнительных осадок грунтового основания, кренов и перекосов [6] (Рис.1).

Максимальные допустимые дополнительные осадки грунтового основания существующих зданий от влияния высотного строительства приведены в табл. 4.3 ДБН В.2.2-24:2009 [6].

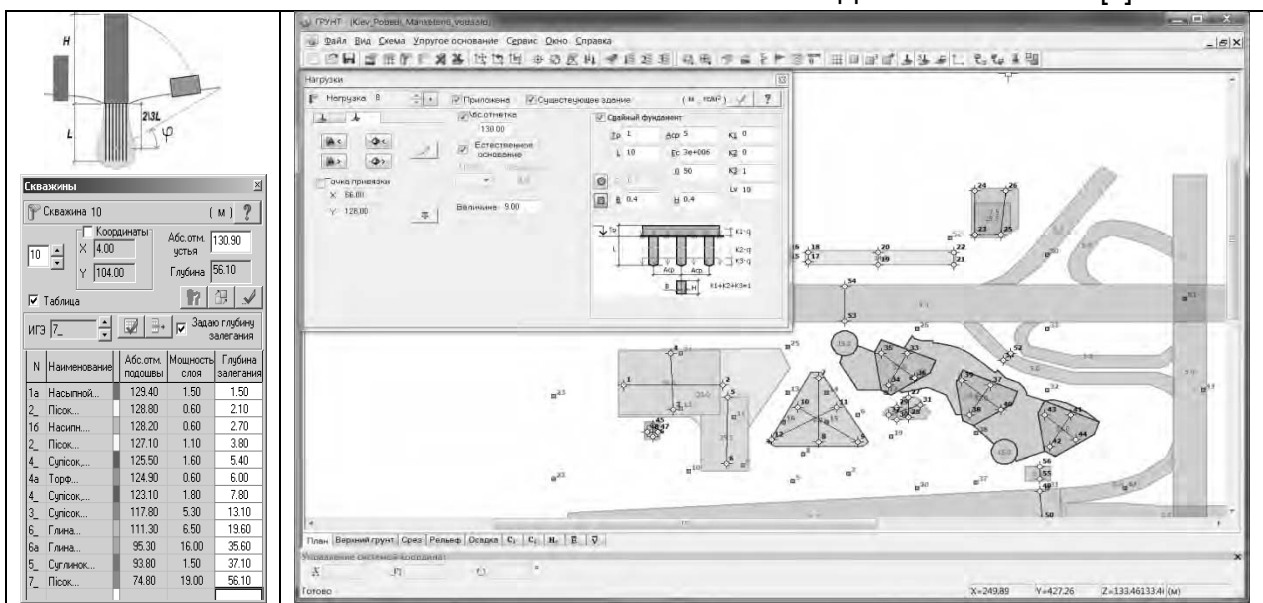


Рис.1 Схема нагрузок на основание от существующей застройки и отметки слоев грунта в скважине

Система «ГРУНТ» реалізує вичислення параметрів жорсткості ґрунтового і свайного оснований в відповідності з моделями ґрунта Винклера і Пастернака. Для описання площадки будівництва в графічному режимі задається база характеристик ґрунта (ІГЕ), вказуються координати і висоти устьев скважин, а також характеристики шарів ґрунта в кожній скважині (Рис. 1, Рис. 2).

На основі цих даних формується просторова модель ґрунта, а по висотам устьев скважин вистраивається рельєф днівної поверхності і виконується триангуляція на плані. При цьому передбачається, що рельєф є достатньо гладким (Рис. 2). Контроль заданих параметрів здійснюється з допомогою зображення геологічних розрізів, вистраиваемых вздовж відрізка прямої, проведенної в будь-якому місці площадки будівництва.

На площадці будівництва розполагаються довільні полігональні контури фундаментів і/або свайних ростверків проектуємих споруджень, а також контури фундаментів існуючих будівель. Здаються також параметри ростверків і кількість свай (веса свай автоматично додаються до заданим навантажкам).

В межах кожного контура задаються

навантаження, прикладаєми в рівні висоти подошви відповідного фундаменту (Рис.1, Рис.4). Навантаження можуть бути задані і в довільному місці площадки. Допускаються наступні види навантажок – зосереджені сили, рівномірно розподілені навантаження по всій області контура і рівномірно розподілені навантаження по довільно обрисованому контуру (штамп).

Вовнішня навантаження на свайний фундамент розподілена по кількох рівнях вздовж довжини свай, що дає можливість уточнювати величину осідки. Повна навантаження регулюється трьома коефіцієнтами. Коефіцієнт  $K_1$  відповідає частці навантаження, що припадає на висоту подошви ростверка. Коефіцієнт  $K_2$  відповідає частці навантаження, діючої вздовж довжини свай. Коефіцієнт  $K_3$  відповідає частці навантаження, що припадає на висоту п'яти свай. Сума цих коефіцієнтів повинна бути рівною одиниці.

Система ГРУНТ виконує наступні операції:

- визначення полів осідок ґрунтового і свайного оснований для існуючих і проектуємих будівель в відповідності з заданими навантажками і інженерно-геологічними умовами;

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
№	ІГЕ	Усл. обозн.	Назва ґрунту	Колір	Модуль деформації, тс/м <sup>2</sup>	Коефіцієнт Пуассона	Удельний вага ґрунту, тс/м <sup>3</sup>	Коефіцієнт переходу до модулю деформації	Природна вологість, %	Показатель текучості	Коефіцієнт водонасиченості	Коефіцієнт внутрішнього тертя, °	Угол							
1		1а	Насипний супісок темно-сірий	8000	900	0.3	1.8	5	0.05	0	0.7	16								
2		1б	Насипн. будів. сміття з суцільн. суцільн. в заповненням	8006	1000	0.3	1.86	5	0.39	0.65	0.79	17								
3		2	Пісок середньої крупності жовто-сірий	266EF	2600	0.3	1.99	5	0.2	0	0.6	32								
4		4	Супісок, темно-сірий, підв'язкий м'яко пластичний	680L	2000	0.35	2.05	5	0.18	0.75	0.54	24								
5		4а	Торф бурзавато-сірий, насичений водою середньо розкладений 40%	8896	1300	0.42	1.97	5	0.4	0.75	0.81	31								
6		3	Супісок сірий, жовто-сірий, пластичний	46B3	2500	0.4	1.88	3	0.3	0.25	0.87	16								
7		6	Глина мергельна, блакитно-сіра, легка, пилувата, напіва тверда	6917	6600	0.35	1.82	3	0.29	0.11	0.89	13								
8		6а	Глина, голубувато-сіра, важка, пилувата, напіва тверда	10321	7000	0.38	1.89	2.5	0.32	0.12	0.91	12								
9		5	Суглинок (наглинок), зелено-сірий, важки, тугопластичний	272E	2500	0.35	1.94	2	0.29	0.36	0.8	17								
10		7	Пісок зеленувато-сірий, м'який, щільний з включ. середн. крупності	877B	8000	0.28	1.9	2	0.18		0.6	33								

Примечание: показатель текучести в программе ГРУНТ не используется

Рис. 2. Характеристики ґрунтів

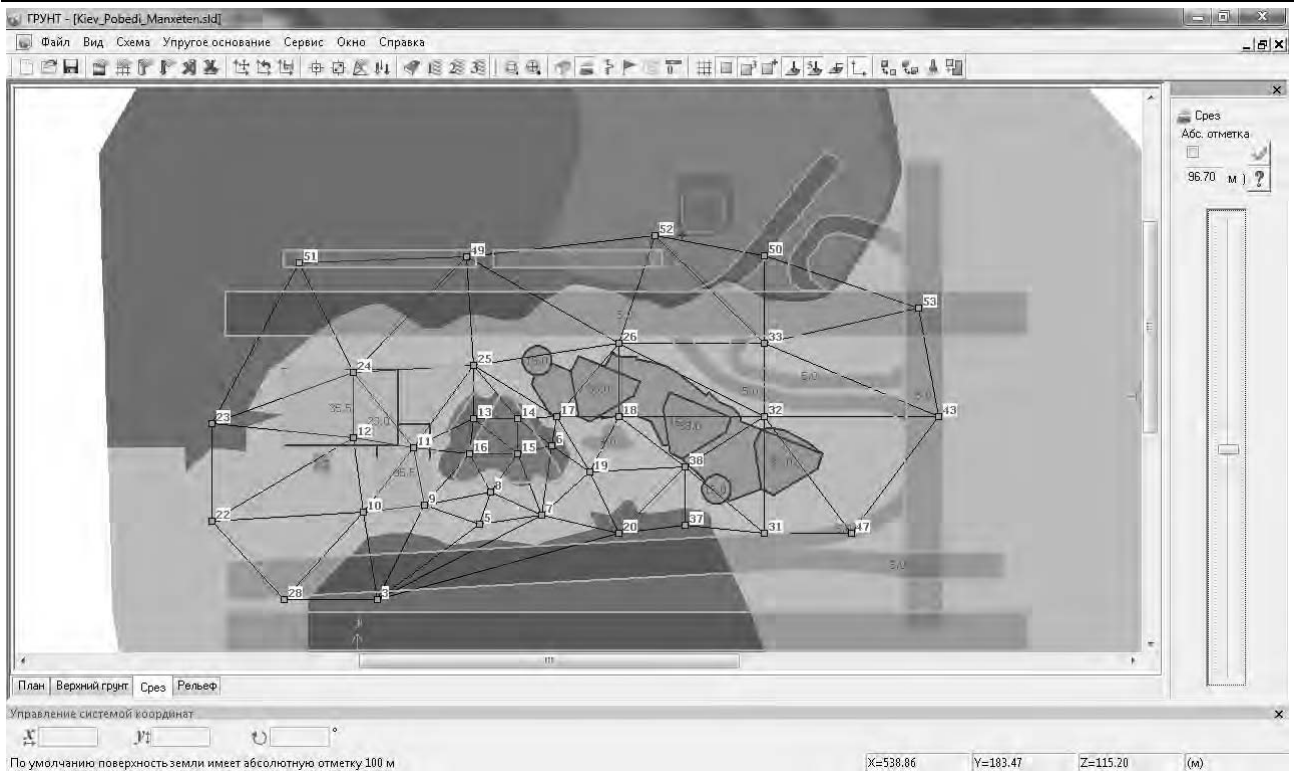


Рис. 3. Пространственная схема триангуляции грунта

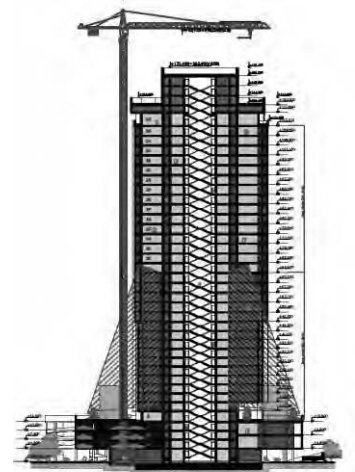
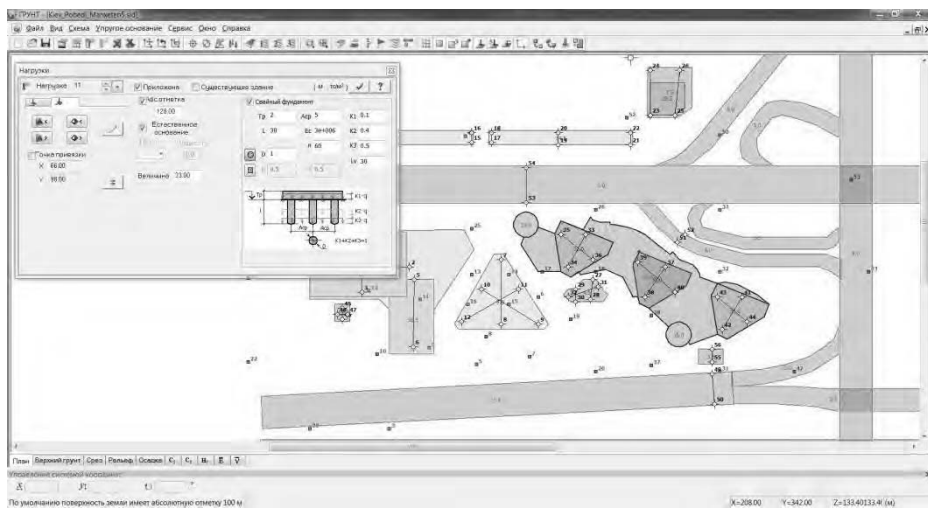


Рис. 4. Задание нагрузок на основание от нового строительства

- определение границы сжимаемой толщи в соответствии с условиями различных нормативов [1- 6];

- вычисление коэффициентов постели упругого (грунтового) основания  $C_1$  и  $C_2$  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, шагом которой 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 [1-6].

Вычисление осадок производится методом послойного суммирования с использованием схемы линейно-деформируемого полупространства (задача Буссинеска) [7] (Рис.5).

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:

$$W_1 = \sum_1^n (\sigma_{zp,i} - \sigma_{zy,i}) \cdot h_i \setminus E_i;$$

$$W_2 = \sum_1^n \sigma_{zy,i} \cdot h_i \setminus E_{ei};$$

$$W_3 = \sum_1^n \sigma_{zp,i} \cdot h_i \setminus E_{ei}$$
(1)

где  $E_i$  – модуль деформации  $i$ -го слоя грунта по ветви первичного нагружения;

$E_{ei}$  – модуль деформации  $i$ -го слоя грунта по ветви вторичного нагружения;  $E_{ei} = k_r E_i$ , по умолчанию  $k_r = 1.0$ , может изменяться пользователем;

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

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

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

Если собственный вес грунта на уровне подошвы больше среднего давления под подошвой, то осадка  $S = 0.8 \cdot W_3$ , иначе осадка  $S = 0.8 \cdot (W_1 + W_2)$ .

Для вычисления коэффициентов постели используются усредненные (в пределах зафиксированной глубины сжимаемой толщи  $H_c$ ) значения приведенного модуля деформации  $E_g$ , коэффициента бокового расширения  $m_g$ , которые вычисляются по формулам:

$$E_g = \sum_{i=1}^n E_i h_i \setminus H_c; \quad m_g = \sum_{i=1}^n \nu_i h_i \setminus H_c \quad (2)$$

Коэффициент постели  $C1$  вычисляется тремя методами.

Для методов 1, 2 коэффициент постели  $C1_1$  вычисляется на основании усредненных значений  $E_g$ ,  $m_g$  и  $C1_2$  по модели Винклера:

$$C1_1 = E_g / [H_c (1 - 2m_g^2)]; \quad C1_2 = q / S \quad (3)$$

где  $q$ ,  $S$  – среднее давление и осадка под подошвой фундамента.

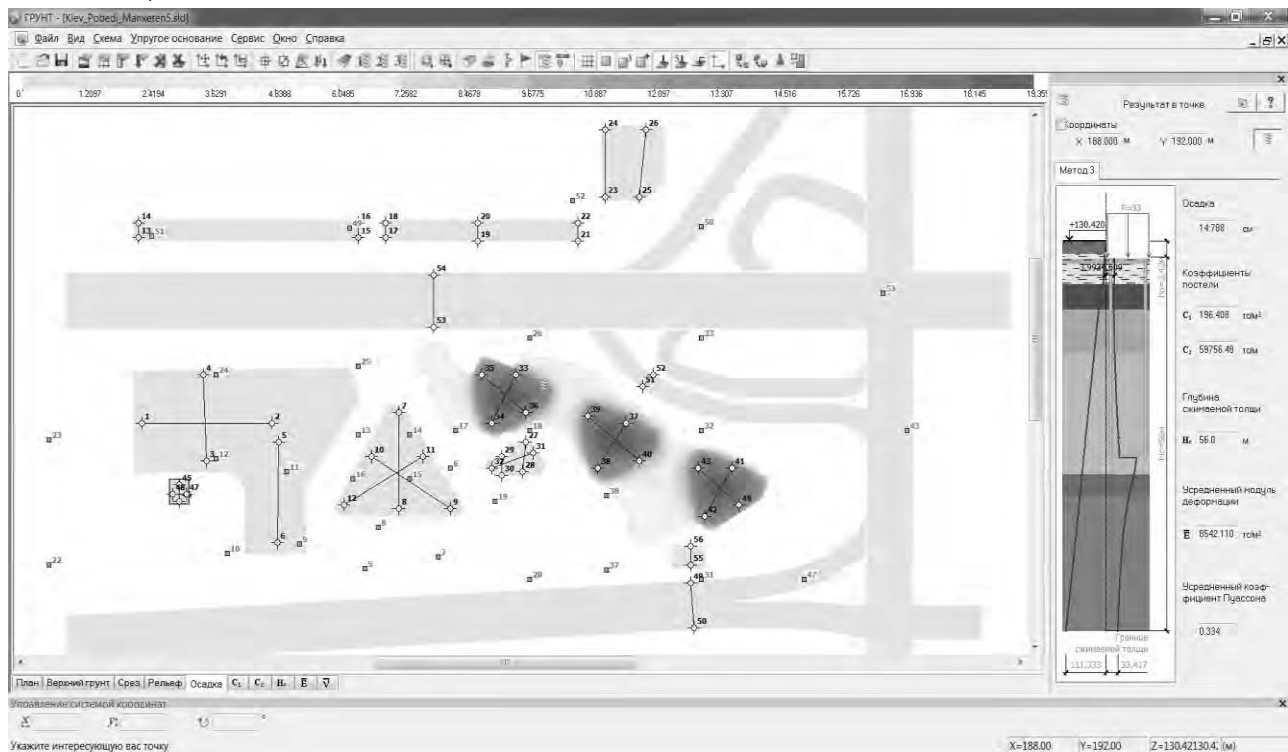


Рис. 5. Изополя осадок территории застройки

**Для метода 3.** Для определения коэффициента постели  $C_1$  используется формула метода 1 с учетом нарастания модуля деформации грунта по глубине. При этом для определения усредненного модуля деформации  $E_{g3}$  вводится поправочный коэффициент  $u$  к величине модуля деформации  $i$ -того подслоя. Кроме того, принимается, что дополнительное вертикальное напряжение по глубине распределено равномерно. Поправочный коэффициент  $u$  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:

$$E_{g3} = H_C / \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{u_i E_i}; \quad u = \frac{11z^2}{H_C^2} + 1 \quad (4)$$

Суть метода 3 изложена в работах [7, 8, 11] 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  $C_1$ .

Для методов 1 и 3 коэффициент постели  $C_2$  вычисляется по формуле:

$$C_2 = C_1 H_C^2 (1 - 2m_g^2) \sqrt{6(1 + m_g)} \quad (5)$$

Для метода 2 коэффициент постели  $C_2$  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. 6).

Расчет осадки свайного фундамента, как условного, строго в соответствии с нормами выполняется при  $K_1, K_2 = 0, K_3 = 1$ . Если передача внешней нагрузка на свайный фундамент и основание разбита на несколько уровней, то эпюра напряжений от нее будет иметь ступенчатый вид, отражающий уровни приложения соответствующих долей нагрузки. Так на Рис. 6-б показан вариант эпюры вертикального напряжения при  $K_1 = 0, K_2 = 0, K_3 = 1$  (условный фундамент с передачей всей нагрузки на острие свай). На Рис. 6-а показана эпюра вертикального напряжения при  $K_1 = 0.05, K_2 = 0.9, K_3 = 0.05$ . Причем, нагрузка по боковой поверхности по  $K_2$  разбита еще на 10 подуровней (количество подуровней может изменяться по желанию пользователя), что характерно для висячих свай. На Рис. 6-в показана эпюра вертикального напряжения при  $K_1 = 0.1, K_2 = 0.6, K_3 = 0.3$ .

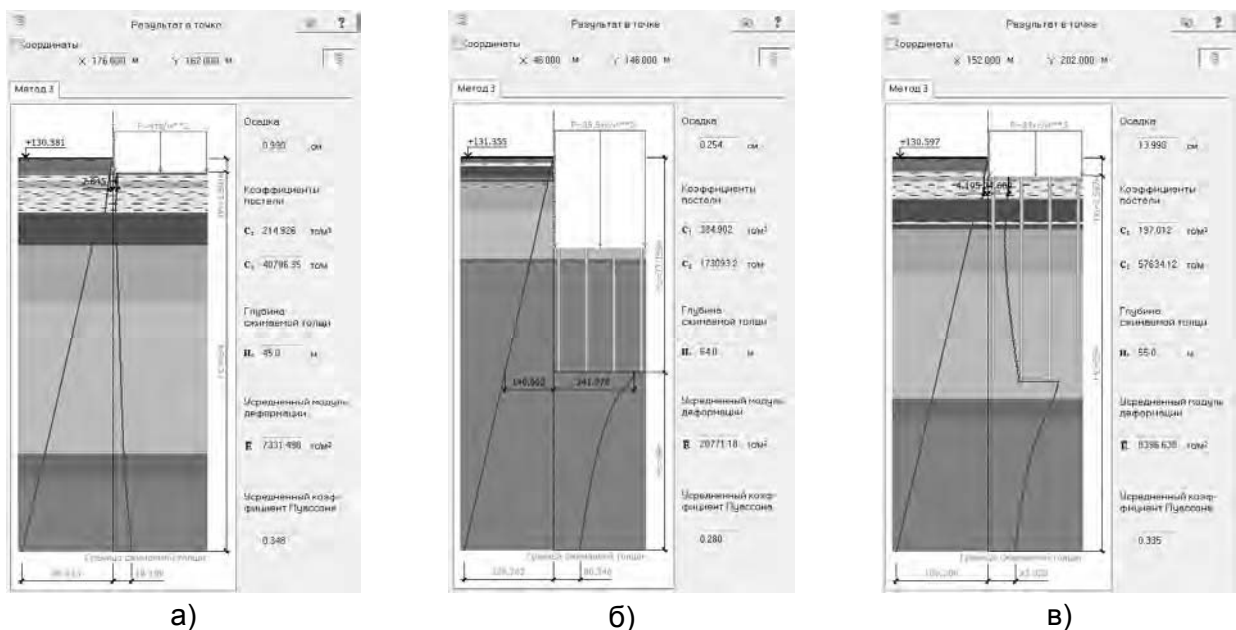


Рис. 6. Эпюра вертикального напряжения при различных нагрузках на основание: а), б) - существующие здания; в) - новое строительство

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. 7). Перекосы вычисляются между парами точек, заданных пользова-

телем и выводятся в табличном виде.

Система ГРУНТ входит в состав программных комплексов как ЭСПРИ, ЛИРА-САПР и МОНОМАХ-САПР [9, 10]. Полученные дополнительные осадки и перекосы существующей застройки от влияния нового строительства приведены в сводной табл. 1.

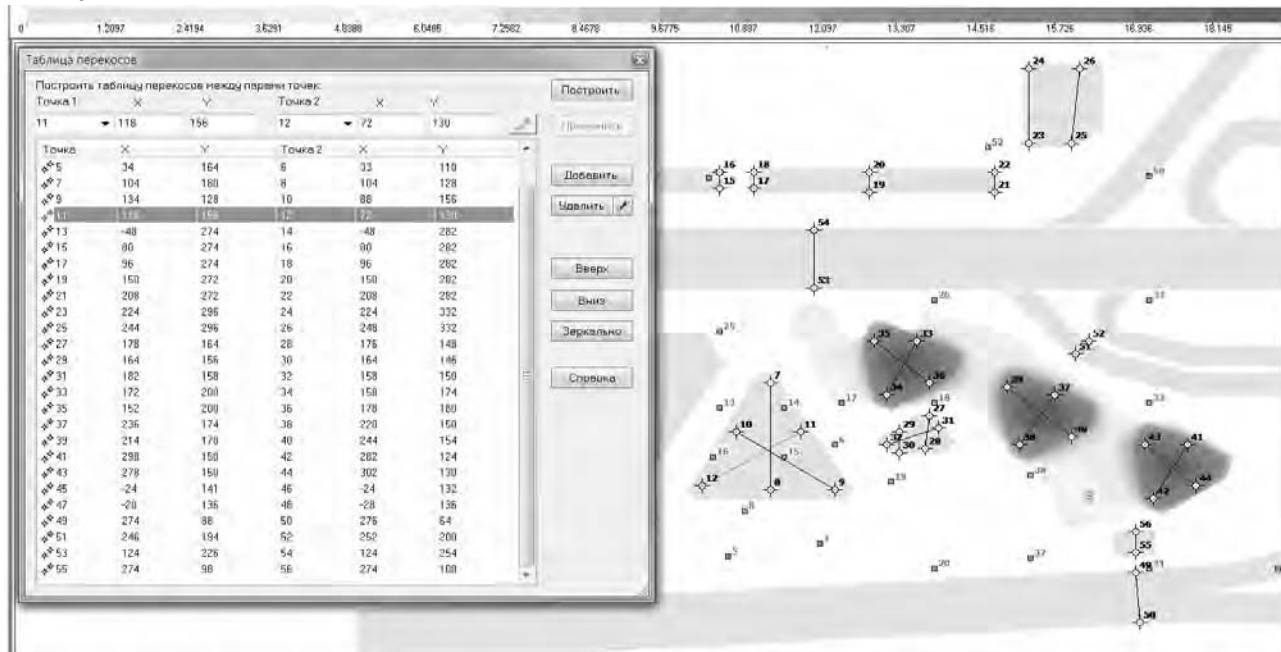


Рис. 7. Построение таблицы осадок и перекосов

Таблица 1

**Обобщенные результаты расчетов.  
Дополнительные осадки и перекосы существующей застройки**

№	Наименование объектов	Расчетн. максимальные осадки $S_{max}$ , см	Допустим. максимальные осадки $[S_{max}]$ , см	Расчетн. максимальный перекося $\Delta S/L$	Нормативный $[\Delta S/L]$
1	Кирпичное 9-и этажное здание с цоколем без поясов по просп. Победы, 16 в Шевченковском районе г. Киева.	0,009	2	0.000004	0.001
2	Кирпичное 9-и этажное здание с цоколем без поясов по просп. Победы, 18 в Шевченковском районе г. Киева	0.003	2	-	0.001
3	Железобетонный 22-х этажный каркас с цокольными этажами Министерства Транспорта Украины по просп. Победы, 14 в Шевченковском районе г. Києва	0.0021	4	-	0.002
4	Кирпичное одно этажное здание кафе "Макдональдс" без поясов по ул. Борщаговская, 2Б в Шевченковском районе г. Києва	1.086 2.693	2	0.000515 0.001674	0.001
5	Кирпичное 2-х этажное здание с цоколем и поясом жесткости здания «Палацу урочистих подій» по просп. Победы, 11 г. Києва	0.190 3.842	3	0.000353 0.000762	0.001
6	Одноэтажное здание с металлическим каркасом заправки WOG по просп. Победы, 11б г. Києва	0.170	4	-	0.001
7	Дорожное полотно по просп. Победы г. Києва	0.189	2	-	0.001
8	Дорожное полотно по ул. Борщаговская	0.103	2	-	0.001
9	Дорожное полотно по Воздухофлотскому просп.	0.006	2	-	0.001
10	Дополнительные осадки незаконченного строительства 27-и этажного монолитного каркаса АОВ "Tower Київ"	0.525	4	-	0.002

В результате расчетов, выполненных в системе «ГРУНТ», установлено, что наибольшие дополнительные деформации (осадки и крены) от влияния нового строительства получают здания кафе «Макдональдс» по ул. Борщаговской, 2-Б и «Палац урочистих подій» по просп. Перемоги, 11.

Институтом НИИСП в рамках работ по научно-техническому сопровождению нового строительства было выполнено обследование зданий кафе "Макдональдс" и «Палацу урочистих подій» с целью определения их реального технического состояния до начала строительства и для дальнейшего мониторинга. Институтом выполняется мониторинг технического состояния этих зданий инженерно-геодезическими методами и наблюдением за установленными на трещинах маяками.

**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.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. М., Стройиздат, 1985. – 40с.
2. СП 50-101-2004. Основания зданий и сооружений. М., ФГУП ЦПП, 2005. - 176с.
3. ДБН В.2.1-10:2009. Основи та фундаменти споруд. Мінрегіонбуд України. Київ, 2009.-107.с
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. ДБН В.2.2-24:2009 Проектування висотних житлових і громадських будинків. К., 2009, -133с.
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. ЭСПРИ. Руководство пользователя. Учебное пособие. Под. ред. А.С. Городецкого. К., 2012. - 202с.

10. D. Gorodetsky, V. Maksymenko, D. Medvedenko, E. Strelets-Streletsky. New options in SOIL system to calculate subgrade moduli of soil and pile footings// Научно-технический журнал «Строительство. Building». ISSN 1512-3936. №3(30). Georgia, Tbilisi. 2013. с.12-17.

11. Evaluation of the Scyscraper//Councill on Tall Buildings and Urban Habitat. CTBUH 40<sup>th</sup> Annivarsary 1969-2009/ Chicago, 2009.

#### REFERENCES:

1. SNIP 2.02.01-83. Bases of buildings and structures. M., Stroyizdat, 1985. 40p.
2. SP 50-101-2004. Bases of buildings and structures. M., FGUP, 2005, 176p.
3. DBN B.2.1-10:2009. Bases and foundations of buildings. Minregionbud Ukraine. Kyiv, 2009, 107p
4. SP 22.13330.2011. Bases of buildings and structures. Updated version of SNiP 2.02.01-83., M., 2011, 166p.
5. SP 24.13330.2011. Pile foundations. Updated version of SNiP 2.02.03-85. M., 2011, 85p.
6. DBN B.2.2-24:2009 Designing high-rise residential and public buildings. Minregionbud Ukraine. Kyiv., 2009, 133p.
7. Kleyn G.K., Durajev A.E.. Accounting for increasing soil deformation modulus with increasing depth in the calculation of beams on a continuous basis. Hydraulic engineering. 1971, №7. pp.19-21.
8. Zitovich N.A. Soil mechanics. M., Gosstroyizdat, 1963. 636p.
9. ESPRI. User guide. Textbook. Under. Ed. A.S. Gorodetsky. Kyiv, 2012. - 202p.
10. D. Gorodetsky, V. Maksymenko, D. Medvedenko, E. Strelets-Streletsky. New options in SOIL system to calculate subgrade moduli of soil and pile footings// Scientific and technical journal "Construction. Building". ISSN 1512-3936. №3(30). Georgia, Tbilisi. 2013. p.12-17.
11. Evaluation of the Scyscraper//Councill on Tall Buildings and Urban Habitat. CTBUH 40<sup>th</sup> Annivarsary 1969-2009/ Chicago, 2009.

### **АНОТАЦІЯ**

*Розглянуті можливості системи ГРУНТ, для визначення параметрів жорсткості ґрунтового та свайного фундаментів. Приведені методи і реалізовані алгоритми визначення осадок, кренів і перекосів існуючих і запроєктованих будівель у відповідності з існуючими нормативними документами. Розглянуті можливості системи ГРУНТ на реальному прикладі експертної оцінки впливу запроєктованих нових висотних будівель на існуючу оточуючу забудову.*

*Ключевые слова: естественное основание, свайные фундаменты, неравномерны осадки, перекосы зданий.*

### **ANNOTATION**

*The paper describes new options in SOIL system intended for computing stiffness parameters for natural and pile foundations. The paper presents methods and realized algorithms for computation of settlement, heeling and skew of existing structures and structures to be designed according to different building codes. Options of SOIL system are illustrated by a real example of expert evaluation: impact of new high-rise buildings on existing neighbouring structures*

*Keywords: natural foundation, pile foundations, uneven precipitation, skewed buildings.*

### **УДК 69.05(075.8)**

**Шумаков И.В. , д. т. н., проф.,  
Микаутадзе Р.И., асп., Салия М.Г., к.т.н.,  
доц., Ляхов И.И., асп.  
ХНУСА, г. Харьков**

### **ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ В ОПТИМИЗАЦИИ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВОЗВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЧАСТЕЙ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ**

*Оптимизация продолжительности работ при возведении подземных частей зданий приобретает особую актуальность с учетом требований к объектам уплотнительной городской застройки. В статье проанализированы основные методологические подходы и нормативные основы в данном сегменте строительной науки, идентифицированы факторы влияния на продолжительность работ, сформирована структура влияния факторов, отражающая принципы организационно-технологического проектирования.*

*Ключевые слова: городская застройка, подземная часть зданий, продолжительность, факторы влияния.*

**Актуальность темы.** Современное строительство характеризуется интенсивным освоением подземного пространства. Без этого невозможно решать демографические, транспортные и эксплуатационные проблемы больших городов. Появляются многоэтажные подземные парковки, торговые центры, подземные дороги и развязки, подземные офисы. По данным ЮНЕСКО, 70% населения проживают в 400 городах-миллионниках. При этом, например, в агломерации Токио с населением до 40 млн. в каждом из зданий есть 3–4 подземных этажа [1]. Возведение подобных объектов в Украине – ближайшая перспектива, а прогнозирование продолжительности строительства, которое учитывает