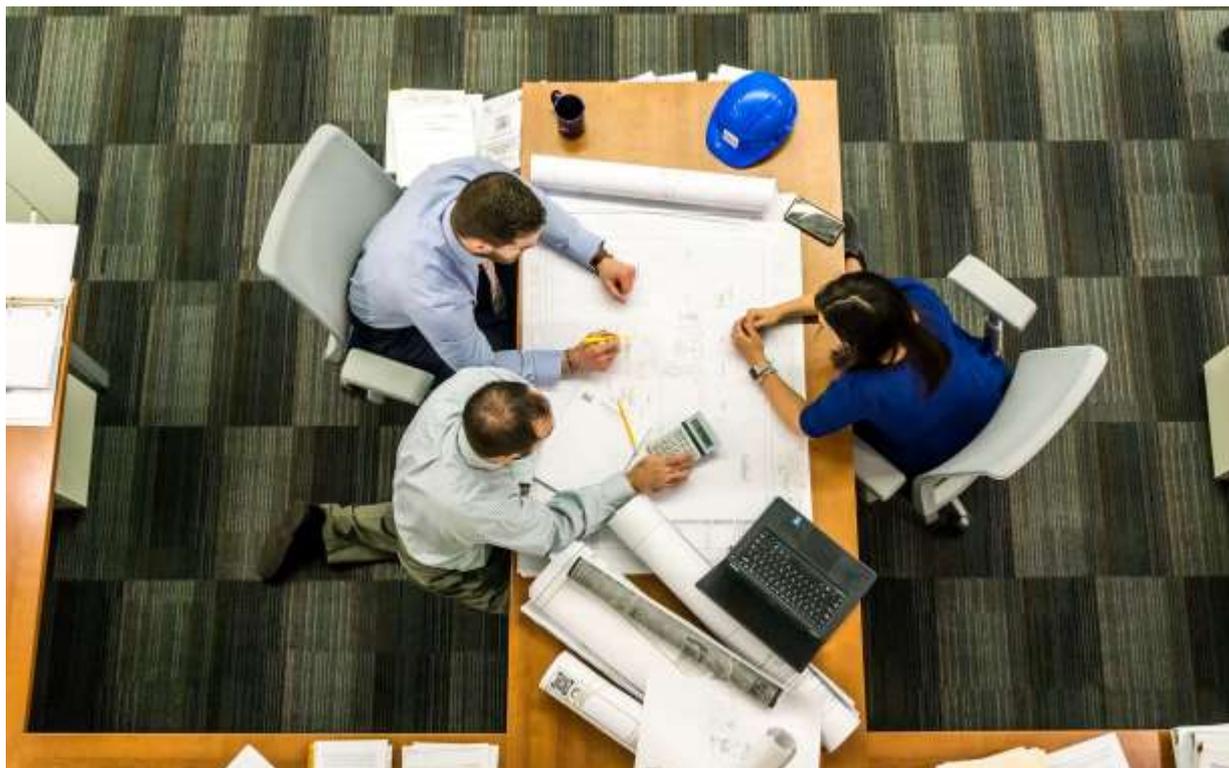


Проектирование в процессе инженерно-геологических исследований



В шестой части статьи о результатах разработки в ООО НПП «Геотек» комплексной технологии инженерно-геологических изысканий и проектирования оснований, авторы рассказывают, как инженер-геологи вносят свой вклад в проектирование уже на этапе инженерных изысканий.

Напомним, что предлагаемая авторами комплексная технология объединяет в единый производственный процесс инженерно-геологические изыскания и проектирование оснований сооружений. Результатом является сокращение сроков изысканий вследствие применения методов зондирования грунтов с автоматизированным контролем процесса испытаний и интерпретации данных испытаний. При этом результатом инженерно-геологических исследований является не только информация о свойствах грунтов, но и оценка их влияния на поведение проектируемого здания или сооружения.

Автором запланирована серия публикаций по данной теме, содержание которых приведено в файле в конце первой статьи серии.

Геннадий Григорьевич Болдырев приглашает всех читателей «ГеоИнфо» к широкому обсуждению рассматриваемого вопроса.

Болдырев Геннадий Григорьевич

Директор по научной работе и инновациям ООО НПП «Геотек», д.т.н., г. Пенза
g-boldyrev@geotek.ru

Идрисов Илья Хамитович

Генеральный директор ООО НПП «Геотек», к.т.н., г. Пенза
idrisov@npp-geotek.ru

Подготовительные работы

Процесс проектирования фундаментов зданий и сооружений в рамках рассматриваемой технологии, впрочем, как и всегда, начинается до выхода в поле геологов, до начала проведения инженерно-геологических изысканий. Как правило, на этапе подготовки программы исследований изыскатели имеют ситуационный план объекта, полученный от заказчика при составлении задания на инженерно-геологические исследования (рис. 1).

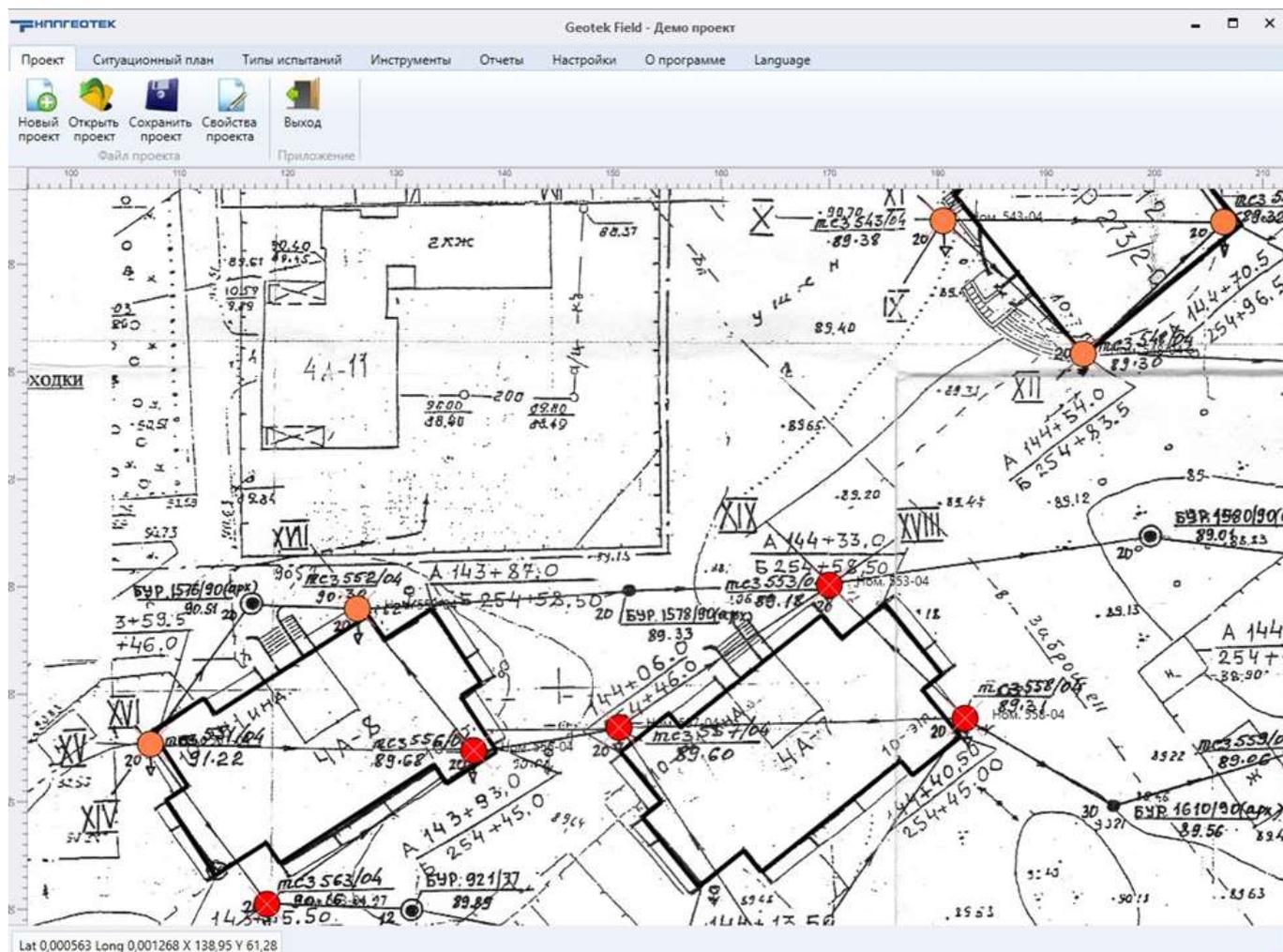


Рис. 1. Ситуационный план площадки исследований

Ситуационный план всегда отображается на главной форме программы Geotek Field. На нем отражены растровая подложка, контуры объектов, отмеченные цветными кружками (статическое зондирование) или прямоугольниками (динамическое зондирование) места испытаний. Для работы с ситуационным планом необходимо использовать вкладку «Ситуационный план» главного меню (рис. 2).

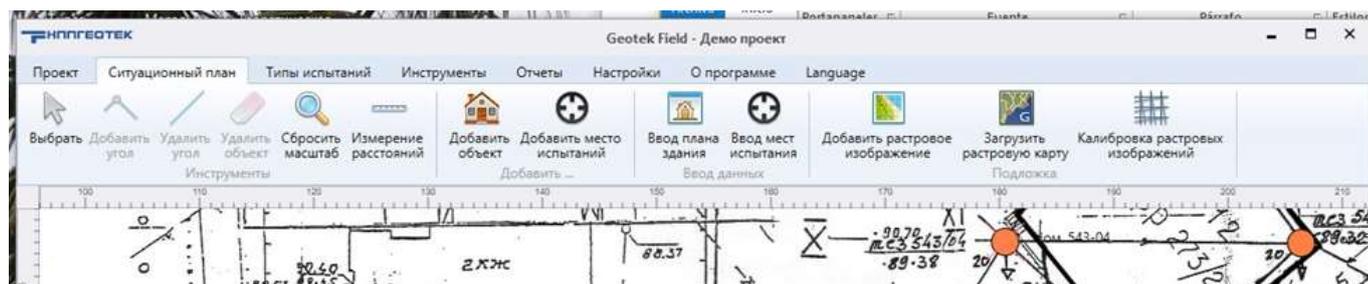


Рис. 2. Инструменты на вкладке «Ситуационный план»

Все графические составляющие ситуационного плана привязаны к системе относительных прямоугольных координат. Ось X располагается с запада на восток, ось Y с юга на север. Значения координат измеряются в метрах. Точка с координатами (0,0) привязана к географическим координатам WSG 84, заданным в свойствах проекта. Для позиционирования мест испытаний можно использовать как относительные, так и географические координаты. Для остальных графических элементов плана (точек контуров объектов и элементов подложки) используются только относительные координаты.

Формирование ситуационного плана начинается с загрузки растровой подложки. Подложка может состоять из одного или нескольких изображений. Могут использоваться пользовательские файлы или же информация с картографических сервисов Google и Яндекс или иного топографического плана в электронном формате. Возможно построение объекта с использованием графического интерфейса программы.

После построения объекта необходимо обозначить на плане места будущих испытаний. Для этого необходимо сначала нажать кнопку «Добавить место испытаний» на вкладке «Ситуационный план». Подобные места испытаний методом статического зондирования показаны на рисунке 1 красными кружочками. Таким образом, до выхода в поле известны места испытаний с заданными географическими координатами для установки бурового станка.

Для последующего расчета оснований фундаментов необходимо ввести информацию о глубине заложения подошвы фундаментов и нагрузки на фундамент (рис. 3). Предполагается, что первым вариантом фундамента является плитный фундамент, размеры которого были введены при создании ситуационного плана. Таким образом, план фундамента совпадает с планом объекта (здания).

Номер вершины	X	Y	Длина линии	Угол
1	37.9	63.6	50.25	90
2	80.81	89.75	16.31	90
3	89.3	75.82	50.25	90
4	46.39	49.67	16.32	90

Рис. 3. Ввод данных о фундаменте и нагрузке

Определение глубины исследования свойств грунтов

В общем случае свойства грунтов могут быть определены путем проведения лабораторных и полевых испытаний грунтов или как оценочные приняты из предыдущих исследований одинаковых по генезису грунтов. В рассматриваемой технологии определяющими являются полевые испытания, а лабораторные используются как контрольные для уточнения используемых корреляционных уравнений.

Глубина исследования свойств грунтов согласно СП 47.13330 должна быть на 2 м более сжимаемой толщи (H_c), которую рекомендуют определять по СП 22.13330. Так как нам неизвестны характеристики грунтов и выполнить расчет осадки невозможно, то этот же СП предлагает принимать глубину исследований нормативно, для ленточных и столбчатых фундаментов от нагрузок на них, а для плитных – не менее половины ширины фундамента и не менее 20 м от его подошвы.

В нашем случае требуемые характеристики грунтов для расчета осадки – удельный вес грунта и модуль деформации – находятся непосредственно в процессе испытаний, что позволяет выполнять расчет осадки и определить таким образом сжимаемую толщину или глубину испытаний. При этом оператор (буровой мастер) в момент достижения глубины исследований H_c+2 м получает сообщение о возможности прекращения испытаний. Если глубины исследований недостаточно, то поступает сообщение о необходимости увеличения глубины исследований. Если сжимаемая толща попадает в слой грунта с модулем деформации менее 5 МПа, то испытания продолжаются до тех пор, пока не появится слой грунтов с модулем деформации более 5 МПа.

Расчет осадки и крена

Осадку основания фундамента s находят с использованием расчетной схемы в виде линейно деформируемого полупространства (рис. 4) и определяют методом послойного суммирования по формуле:

$$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{z\gamma,i}) h_i}{E_i} + \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{z\gamma,i} h_i}{E_{e,i}}, \quad (1)$$

где β - безразмерный коэффициент, равный 0,8; $\sigma_{zp,i}$ - среднее значение вертикального нормального напряжения от внешней нагрузки в i -м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента, кПа; h_i - толщина i -го слоя грунта, см, принимаемая не более 0,4 ширины фундамента; E_i - модуль деформации i -го слоя грунта по ветви первичного нагружения, кПа; $\sigma_{z\gamma,i}$ - среднее значение вертикального напряжения в i -м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента, от собственного веса грунта, выбранного при отрывке котлована, кПа; $E_{e,i}$ - модуль деформации i -го слоя грунта по ветви вторичного нагружения, кПа; n — число слоев, на которые разбита сжимаемая толща основания; толщина элементарного слоя принимается равной шагу записи параметров зондирования (0,05 – 0,01 м).

Характеристики грунтов (удельный вес и модуль деформации) находятся с использованием корреляционных уравнений, в том числе и упругий модуль деформации (E_e).

Напряжения от нагрузки по вертикали в центре прямоугольного плитного фундамента определяются из решения А.Лява (1935) для единичной нагрузки по формуле:

$$\sigma_z(x, y, z) = \frac{1}{2\pi} \frac{xyz(x^2 + y^2 + 2z^2)}{(x^2 + z^2)(y^2 + z^2)\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} + \arctg\left(\frac{xy}{z\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}\right) \quad (2)$$

где x, y – координаты в плане фундамента; z – глубина.

Напряжения от внешней нагрузки вне центра фундамента, по вертикали проходящей через эту точку с координатами (x, y, z) , находятся по другой формуле:

$$\Sigma_z(x, y, z) = \sigma_z(x, y, z) + \sigma_z(L-x, y, z) + \sigma_z(x, B-y, z) + \sigma_z(L-x, B-y, z) \quad (3)$$

где L и B – большая и меньшая сторона прямоугольного в плане фундамента.

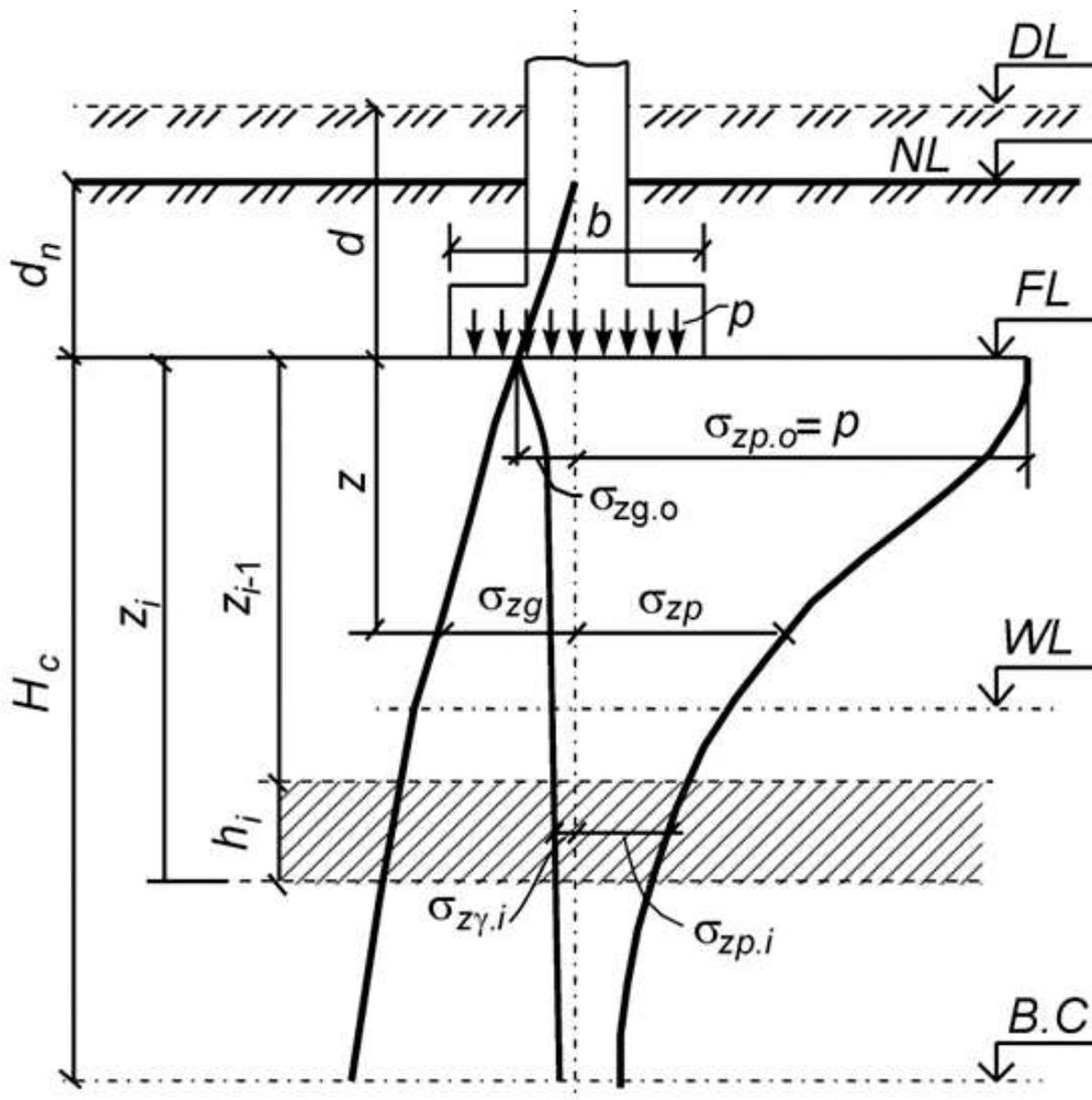


Рис. 4. Расчетная схема к определению напряжений от нагрузки и собственного веса грунта (СП 22.13330)

Крен фундамента вычисляется по формуле:

$$i = \frac{s_1 - s_2}{l} \quad (4)$$

Здесь s_1 – осадка в центре фундамента; s_2 – осадка на краю фундамента; l – расстояние между токами зондирования. Крен может иметь отрицательный знак.

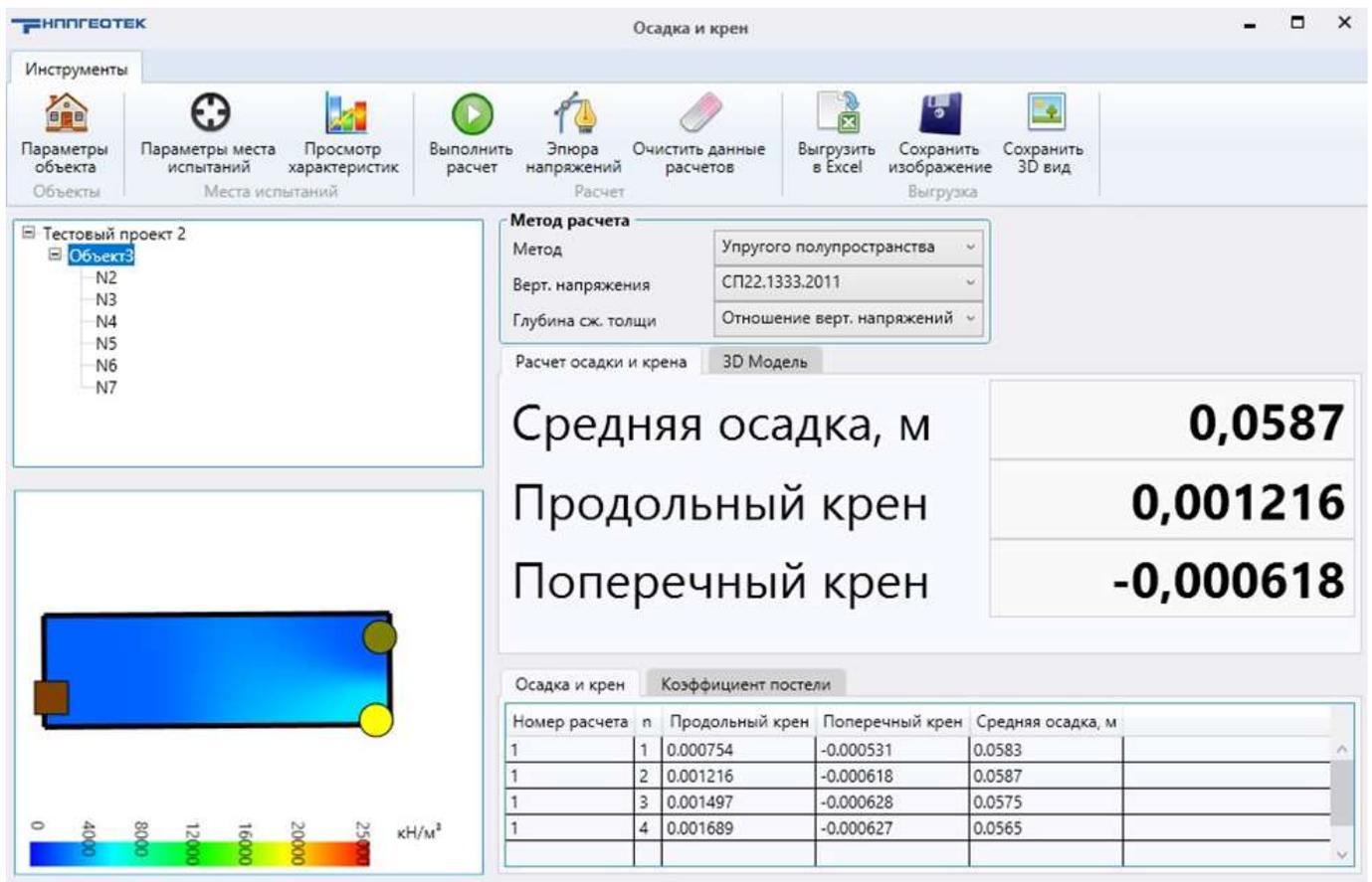


Рис. 5. Пример расчета осадки и крена фундамента

Расчет коэффициент жесткости основания

Определение коэффициента жесткости основания выполняется в следующей последовательности (Шейнин и др., 2006; Барвашов, 2007):

1. Выполняется расчет распределения величины коэффициента жесткости основания (коэффициента постели) $W_i=W(x_i, y_i)$ под подошвой фундамента от равномерной нагрузки, равной среднему давлению на основание по формуле:

$$W(q, x, y) := \frac{q}{S(x, y, L, B, q)} \quad (5)$$

где q – среднее давление под подошвой фундамента; $S(x, y, L, B, q)$ – осадка в точке зондирования.

Расчеты по формуле (5) выполняются только для точек зондирования. Поэтому величины $W(q, x, y)$ получаются для конечного числа точек нагруженной площади (x_i, y_i) , равного числу выработок N , т.е. получаются значения W_i , где $i=0, 1, 2, \dots, N$.

2. С помощью дискретных значений W_i посредством аппроксимации Шепарда определяется непрерывная функция $W=W(x, y)$, которая совпадает с ранее вычисленными значениями W_i в точках зондирования.

$$W(x, y, n, N) := \frac{\sum_{i=0}^N \frac{K_i}{[(x - W_{i,1})^2 + (y - W_{i,2})^2]^n + 0.001}}{\sum_{i=0}^N \frac{1}{[(x - W_{i,1})^2 + (y - W_{i,2})^2]^n + 0.001}} \quad (6)$$

3. Определяются величины осадок и кренов фундамента на основании, представленном контактной моделью Винклера с непрерывно распределенным коэффициентом жесткости основания по п. 2. Для этого решается система, состоящая из трех уравнений равновесия фундамента при действии внешней нагрузки, которая в матричном виде выглядит так:

$$G s = F, \quad (7)$$

где

$$G := \begin{pmatrix} I(2,0) & I(1,1) & I(1,0) \\ I(1,1) & I(0,2) & I(0,1) \\ I(1,0) & I(0,1) & I(0,0) \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$I(i,j) := \int_0^L \int_0^B W W(x,y,n,N) \cdot x^i \cdot y^j dy dx \quad (9)$$

$$F := \begin{pmatrix} Q \cdot \frac{L}{2} \\ Q \cdot \frac{B}{2} \\ Q \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$Q = q B L. \quad (11)$$

4. Результаты расчета зависят от значения параметра n в формуле Шепарда, который определяет форму аппроксимирующей функции. В описанном выше алгоритме используется не более пяти итераций. При необходимости число итераций можно увеличить до любого числа. На рисунке 5 приведены вычисления при $n = 1, 2, 3, 4$.

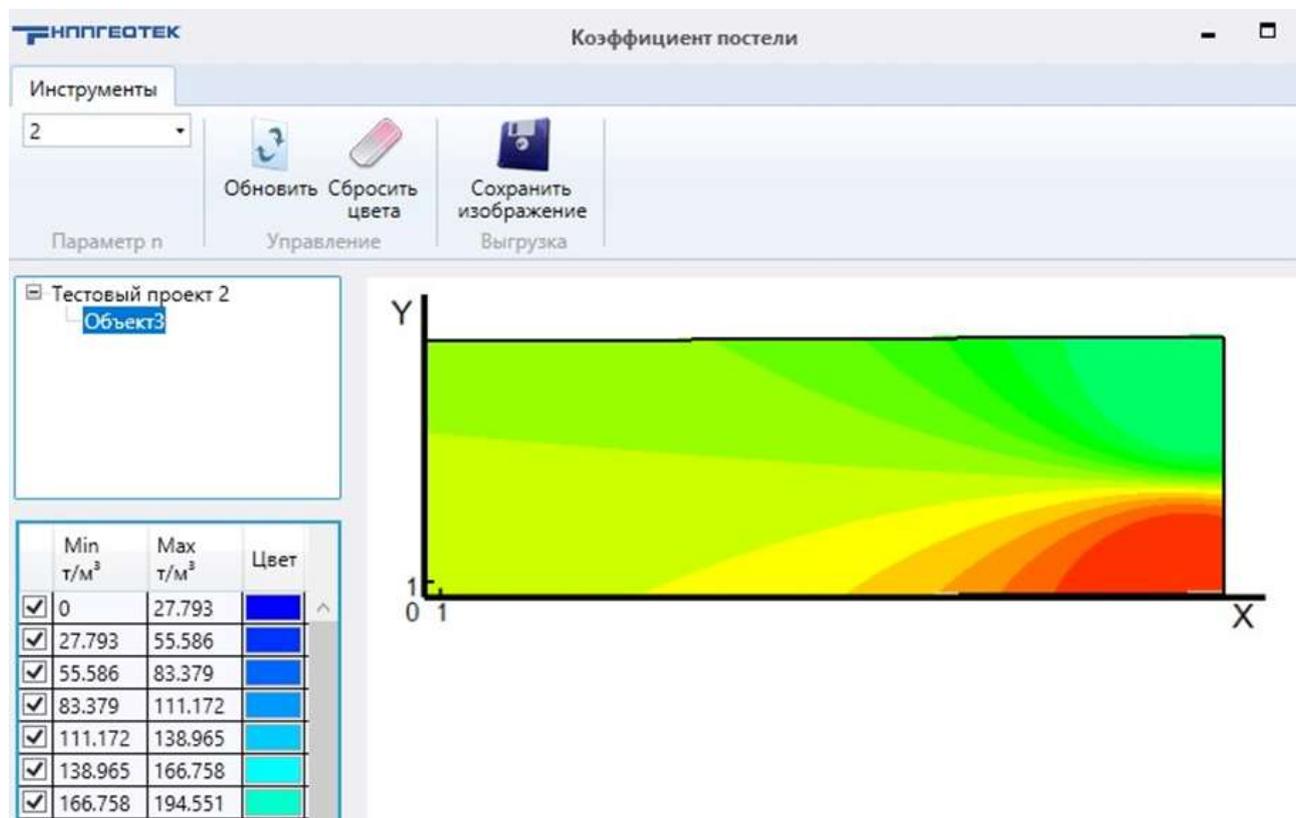


Рис. 6. Пример определеления коэффицента постели

Список литературы

1. Барвашов В.А. Чувствительность системы «основание-фундамент-сооружение», Основания, фундаменты и механика грунтов. 2007, №3, С.10-14.
2. Барвашов В.А., Болдырев Г.Г., Уткин М.М. Расчет осадок и кренов сооружений с учетом неопределенности свойств грунтовых оснований. Геотехника. – 2016. – № 1. – С. 12–29.
3. Ляв А. Математическая теория упругости. ОНТИ. 1935. 674 с.
4. Сарана Е.П., Шейнин В.И. Усовершенствование методики инженерного расчета осадок и крена фундаментной конструкции высотного здания. Основания, фундаменты и механика грунтов, №6, 2007, с. 2-7.
5. СП 22.1330.2011. Основания зданий и сооружений. М.: Минрегион России, 2011.
6. СП 47.13330.2012 (Актуализированная редакция СНиП 11-02-96). Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. М.: Госстрой России, 2012.
7. Шейнин В.И., Сарана Е.П., Артемов С.А., Фаворов А.В. Алгоритм и программа инженерного расчета осадок фундаментных плит с учетом неравномерности нагрузки на основание и неоднородности массива. Основания, фундаменты и механика грунтов, №5, 2006, с. 2-7.