

Оценка деформаций фундаментов на неоднородных грунтах в программном комплексе ANSYS WORKBENCH

Ю.А. Макаров¹, М.В. Ладошкин²

¹Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н. П. Огарёва, г. Саранск

²Мордовский государственный педагогический университет им. М. Е. Евсевьева, г. Саранск

Аннотация: В статье рассматривается возможность применения программного комплекса ANSYS WORKBENCH к расчету неравномерности осадок фундаментов зданий. Неоднородность физико-механических свойств грунта, неодинаковость толщины несущего слоя и другие факторы влекут за собой неравномерно развивающиеся осадки. Это приводит к появлению трещин в несущих конструкциях, а в худшем случае - к разрушению части здания или здания в целом. Методы расчета осадок весьма сложны, однако использование возможностей современных компьютеров и программ компьютерного моделирования позволяет получить простое и точное решение таких задач. В программном пакете ANSYS произведена оценка деформаций фундамента на неоднородных грунтах. Предлагаемую методику можно использовать для количественной оценки неравномерных осадок фундаментов реальных зданий и сооружений.

Ключевые слова: ANSYS WORKBENCH, фундамент, неравномерная осадка, перекося, компьютерное моделирование, деформация, метод конечных элементов.

Фундаменты зданий относятся к элементам, обеспечивающим прочность и устойчивость всего сооружения. Несущие конструкции фундамента сооружения работают совместно с основанием, поэтому к оценке деформаций оснований предъявляются повышенные требования [1]. Несоблюдение требований норм 22.13330.2016 "Основания зданий и сооружений" приводит к возникновению нерасчетных режимов работы конструкций, недопустимым деформациям, прогибам, кренам, перекося оконных проемов.

Наряду с максимальными величинами осадок, нормами проектирования регламентируется также разность осадок. Равномерная осадка сооружений, как правило, не считается опасной, даже если она значительна. Некоторые отечественные сооружения существуют и эксплуатируются с осадками 50-60 см, а, например, в г. Шанхай успешно эксплуатируется здание с равномерной осадкой 120 см.

Однако неравномерные осадки вызывают дополнительные напряжения в конструкциях здания; особенно опасна ситуация, когда разность осадок развивается на небольшом участке длины фундамента – возникает перекося, в результате чего в несущих стенах появляются особенно опасные косые трещины, а в худшем случае это приводит к разрушению части здания или здания в целом [2, 3].

Неравномерные осадки являются следствием различных факторов [4-6], основными из которых являются:

- напластование неоднородных грунтов, залегающих под зданием;
- включения ослабленных зон, либо зон повышенной жесткости (линзы);
- неравномерность консолидации грунтов, связанная с неравномерностью фильтрации поровой воды под пятном застройки;
- неодинаковая толщина несущего слоя грунта в основании;
- оттаивание мерзлого основания, происходящее сначала с южной стороны здания, затем – с северной.

Во всех этих случаях необходимо быстро и правильно оценить поведение основания.

Технически расчет осадок очень сложен вследствие сложности механических свойств грунтов [1, 7]. Однако, в настоящее время эта трудность компенсируется использованием в проектировании информационных технологий и программных комплексов. Современные программы компьютерного моделирования, адаптированные для решения задач строительной области, такие, как SCAD, NASTRAN, ANSYS, Лира и др., позволяют быстро и точно оценивать деформации грунтовых оснований.

Авторами статьи была поставлена задача оценки разности осадок фундамента сооружения, опирающегося на стык разнородных грунтов.

В настоящее время ANSYS [8] является одним из наиболее эффективных и востребованных программных комплексов для численного

решения задач механики сплошной среды, поэтому он и был выбран в качестве программного средства для решения поставленной задачи.

Численный эксперимент сводился к расчету деформаций основания и перекоса фундамента здания в ПК ANSYS Workbench [8, 9], лицензионная копия которого установлена на вычислительном кластере Мордовского государственного университета.

Для проведения расчета при помощи встроенной в ANSYS Workbench CAD-программы Design Modeler была создана геометрическая модель, имитирующая нижнюю часть стены подвала здания длиной 6 м на фундаментной подушке шириной 1 м, центр которой располагается на стыке двух различных пород (рис. 1).

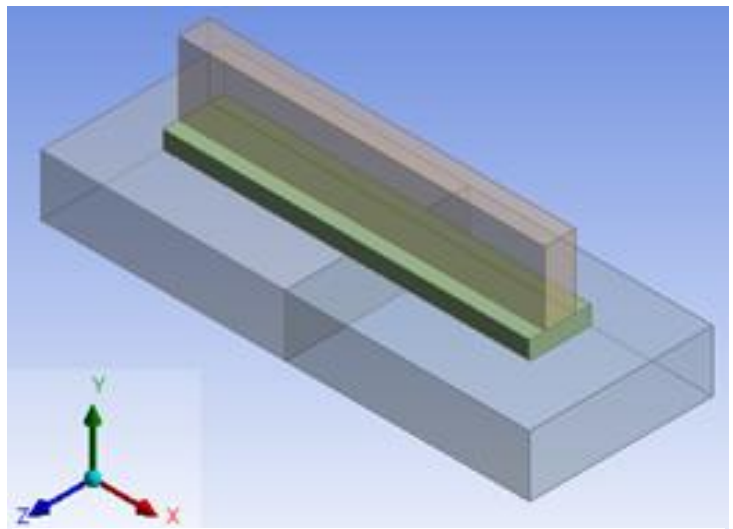


Рис.1. Геометрическая модель фундамента на неоднородном основании

Модель разнородного основания подразумевает, что необходимо описать характеристики "прочной" и "слабой" части грунтового основания. Свойства материалов в ANSYS задаются в узле Engineering Data менеджера расчёта значениями модуля деформации (Юнга) и коэффициента поперечной деформации (Пуассона). Массив грунта разделяли на два тела; каждому телу присваивали значение Add Frozen, чтобы свойства тел не перекрывались. Характеристики грунтов основания принимали по осредненным значениям согласно СП 22.13330.2016 "Основания зданий и сооружений". "Прочному" основанию был назначен модуль Юнга равным 600 кПа, "слабому" – 115 кПа. Коэффициент поперечной деформации грунтов принимался равным $\nu_0 = 0,36$ (рис. 2).

a)

Contents of Engineering Data			
Material			
Properties of Outline Row 4: прочное основание			
1	Property	Value	
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio	
8	Young's Modulus	6E+05	Pa
9	Poisson's Ratio	0,36	
10	Bulk Modulus	7,1429E+05	Pa
11	Shear Modulus	2,2059E+05	Pa

б)

Properties of Outline Row 5: слабое основание			
8	Property	Value	
8	Young's Modulus	1,15E+05	Pa
9	Poisson's Ratio	0,36	
10	Bulk Modulus	1,369E+05	Pa
11	Shear Modulus	42279	Pa

Рис.2. Описание свойств "прочного" (а) и "слабого" (б) основания в модуле *Engineering Data* менеджера расчёта

Работа пакета ANSYS строится на принципе деления изучаемой области объекта исследования на совокупность подобластей – конечных элементов – отсюда и название метода. В каждой подобласти искомая функция аппроксимируется простой функцией, а параметры аппроксимации и есть те неизвестные значения, которые подлежат нахождению. Подстановка аппроксимирующих функций в исходные уравнения образует систему уравнений для нахождения параметров аппроксимации, которые иначе называют узловыми значениями. В качестве узловых значений могут рассматриваться любые физические величины. Результирующая система решается либо минимизацией функционала, либо методом Галеркина.

Точность расчета зависит от количества узлов расчетной сетки и полноты покрытия ею исследуемой области. Сетка, образованная треугольниками или тетраэдрами, может легко покрыть объекты любой, в том числе, сложной геометрической формы, поэтому для решения задачи был выбран метод разбиения сетки на тетраэдры (All tetrahedrons). Генерация расчетной сетки показана на рисунке 3.

Численный расчёт выполнялся на погонную нагрузку 200 кН/м, что приблизительно соответствует нагрузке на фундамент пятиэтажного здания.

В качестве выходных параметров задавали деформации тела фундамента и грунта основания под ним в направлении вертикальной оси Y, поскольку они выступают искомыми величинами в расчете.

Просмотр результатов расчета в блоке Results менеджера расчетов представлен на рис. 3 и 4.

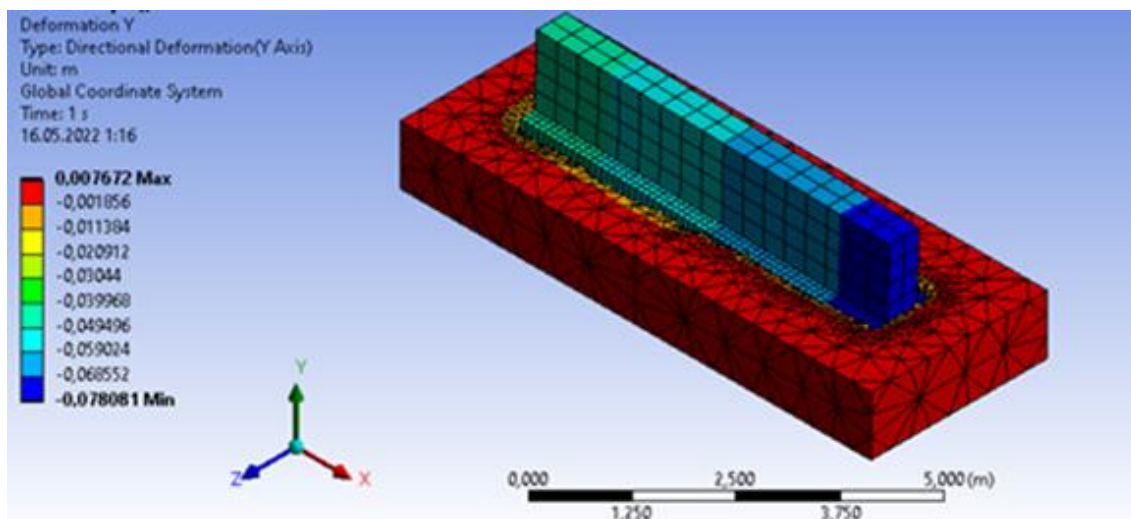


Рис.3. Результаты численного моделирования деформаций грунта основания

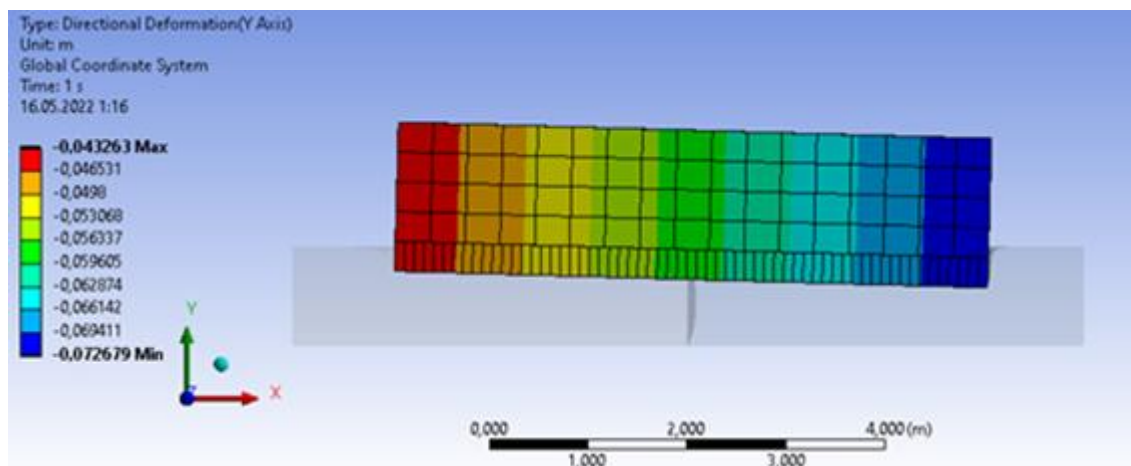


Рис.4. Оценка перекоса фундамента

Анализ результатов показывает, что вследствие более интенсивного развития осадок на слабых грунтах, фундамент здания получает перекос, который можно оценить количественно. Как видим (рис.4), осадка левого края фундамента, расположенного на "прочном" грунте, от заданной нагрузки составила 4,326 см; осадка правого края на "слабом" грунте составила 7,808 см. Разность осадок

$$\Delta S = 7,808 - 4,326 = 3,482 \text{ см,}$$

и перекося фундамента (относительная разность осадок) при длине фундаментной плиты $L = 6$ метров

$$\frac{\Delta S}{L} = \frac{3,482}{600} = 0,0058.$$

По результатам численного моделирования (таблица 1) можно сделать вывод о неравномерном характере развития осадок, а также сопоставить их с действующими нормами проектирования (прил. Г. СП 22.13330.2016).

Таблица 1

Максимальная деформация, см	Допустимая деформация, см	Относительная разность осадок	Допустимая относительная разность осадок
7,808	12	0,0058	0,002

Адекватность результатов моделирования и возможность использования ПК ANSYS для оценки деформаций балок на упругом основании ранее была подтверждена автором данной статьи в исследовании [10]. Кроме того, альтернативные методы расчёта осадок, применяемые в строительной практике, дают схожие результаты [1, 7].

Проведенное исследование доказывает возможность применения программ компьютерного моделирования к решению задач строительства. В частности, построенная в ПК ANSYS модель неоднородного основания позволяет количественно оценить разность осадок фундаментов.

Предлагаемый метод способствует значительному снижению трудоемкости расчетов и может быть использован в проектировании при определении осадок зданий и сооружений, строящихся на неоднородных грунтах.

Литература

1. Цытович Н.А., Березанцев В.Г., Далматов Б.И., Абелев М.Ю. Основания и фундаменты / М.: ВШ, 1970. 384 с.



2. Алексеев С. И. Осадки фундаментов при реконструкции зданий: учебное пособие. СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2009. 82 с.
 3. Шадунц К. Ш., Мариничев М. Б. Плитные фундаменты многоэтажных зданий на просадочных грунтах // Жилищное строительство, 2003, №11. С. 16-18.
 4. Прокопова М. В., Прокопов А. Ю., Жур В. Н. Усиление просадочных грунтов под существующей застройкой г. Ростова-на-Дону // Труды РГУПС, 2016, №4. С. 79-87.
 5. Hellers B. G. Centrally loaded infinite stripe on a single-layer elastic foundation. International Symposium «On civil engineering structures resting on soil and rocks». Sarajevo, Yugoslavia, 1969. 137 p.
 6. Чмшкян А. В. Фундаменты с неплоской подошвой на неоднородном лессовом основании // Инженерный вестник Дона, 2017, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4180
 7. Жемочкин Б. Н. Практические методы расчёта фундаментных балок и плит на упругом основании. М.: Государственное изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1962. 122 с.
 8. ANSYS Theory 14.0. User's Guide. Canonsburg: ANSYS Inc., 2011. 862 p.
 9. Огородникова О. М. Компьютерный инженерный анализ в среде ANSYS Workbench: монография. Екатеринбург: Техноцентр компьютерного инжиниринга, 2017. 720 с.
 10. Макаров Ю. А., Зевайкин А. Е. Оценка деформаций балок на упругом винклеровском основании с помощью программного комплекса ANSYS WORKBENCH // Инженерный вестник Дона, 2022, №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7853
-

References

1. Tsytovich N.A., Berezantsev V.G., Dalmatov B.I., Abelev M.Yu. Osnovaniya i fundamenty [Base and foundations]. M.: VSH, 1970. 384 p.
 2. Alekseev S. I. Osadki fundamentov pri rekonstrukcii zdaniy: uchebnoe posobie [Settlements of foundations during the reconstruction of buildings: a tutorial]. SPb.: Peterburgskij gosudarstvennyj universitet putej soobshcheniya, 2009. 82 p.
 3. SHadunc K. SH., Marinichev M. B. ZHilishchnoe stroitel'stvo, 2003. №11. pp. 16-18.
 4. Prokopova M. V., Prokopov A. Yu., Zhur V. N. Trudy RGUPS, 2016. №4. pp. 79-87.
 5. Hellers B. G. Centrally loaded infinite stripe on a single-layer elastic foundation. International Symposium «On civil engineering structures resting on soil and rocks». Sarajevo, Yugoslaviya, 1969. 137 p.
 6. Chmshkyan A. V. Inzhenerny`j vestnik Dona, 2017, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4180
 7. Zhemochkin B. N. Prakticheskie metody raschyota fundamentnyh balok i plit na uprugom osnovanii [Practical methods for calculating foundation beams and plats on an elastic foundation]. M.: Gosudarstvennoe izd-vo literatury po stroitel'stvu, arxitekture i stroitel'nym materialam», 1962. 122 p.
 8. ANSYS Theory 14.0. User's Guide. Canonsburg: ANSYS Inc., 2011. 862 p.
 9. Ogorodnikova O. M. Komp'yuternyj inzhenernyj analiz v srede ANSYS Workbench: monografiya [Computer Engineering Analysis in ANSYS Workbench: Monograph]. Ekaterinburg: Tekhnocentr komp'yuternogo inzhiniringa, 2017. 720 p.
 10. Makarov Y. A., Zevajkin A. E. Inzhenerny`j vestnik Dona, 2022, №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7853
-