



Сравнение расчетов по СНиП 2.02.01-87 и по результатам применения специализированных программ

А.С. Степанов¹, В.А. Мельников²

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет», 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

Информация о статье

УДК 69

Научная статья

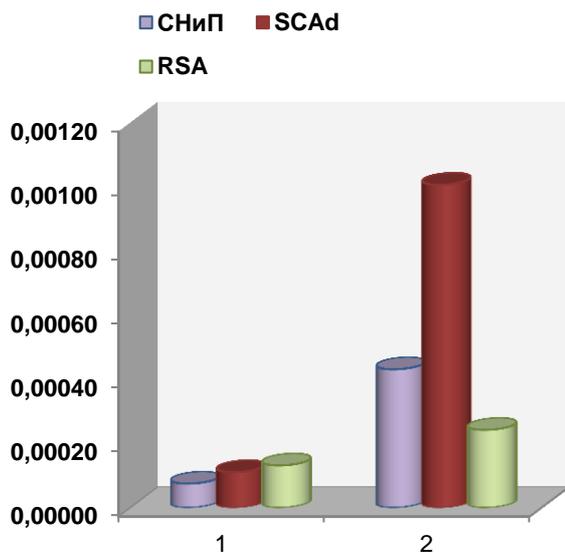
История

Подана в редакцию 7 декабря 2013
Принята 4 июля 2014

Ключевые слова

фундамент,
SCAD,
RSA,
метод конечных элементов,
коэффициент постели,
метод послойного суммирования.

АННОТАЦИЯ



Сравнение практических результатов расчета осадки с использованием нормативной литературы и расчетов с использованием программных комплексов SCAD, Robot Structural Analysis, реализующие метод конечных элементов (МКЭ). Рассмотрены варианты расчета фундаментов мелкого заложения под опоры уникального сооружения - акведука отводящего канала АЭС на слабых грунтах. Приведены расчетные модели и методы вычисления осадок и напряжений под опорами акведука. Представлена разница в последовательности расчета каждого комплекса. Представлены расчетные схемы сооружения и полученные в результате расчета изополя осадки для, гистограммы относительной неравномерности осадок опор по пролетам. Произведено аналитическое исследование подобных работ, сходимость результатов и сделаны выводы и анализ результатов расчета программных комплексов.

Содержание

1. Введение	10
2. Обзор литературы	10
3. Постановка задачи	10
4. Методы расчета	13
5. Результаты расчета	14
6. Выводы	18

1

Контактный автор:

+7 (921) 920 2600, a.s.stepanov1@gmail.com (Степанов Александр Сергеевич, бакалавр)

2

+7 (812) 535 3029, pochti.kuzmin@yandex.ru (Мельников Виктор Алексеевич, доцент)

1. Введение

В настоящее время получили все большее распространение численные расчеты основания здания с созданием в трехмерной постановке с помощью программно-вычислительных комплексов SCAD Office, Robot Structural Analysis, Plaxis, Ansys, FEM Models, Лира и др.

Целью настоящей статьи является сравнение значений расчетных осадок сооружения для одного частного случая, полученных на основе расчетных моделей, используемых в нормативной литературе и программных комплексах SCAD (www.scadsoft.com) и Robot Structure Analysis (www.autodesk.ru), реализующих метод конечных элементов (МКЭ).

2. Обзор литературы

Исследование и анализ расчетных методов, в том числе и метода конечных элементов, при расчете взаимодействия фундаментов с основанием были описаны в [11-13, 18 - 20]. Различные альтернативные методы, модели и схемы расчета предложены в [10, 15, 16, 21 - 24].

Исследование развития решения задачи про реализацию расчетов осадки плитных фундаментов присутствует в статье [2], но на сайте разработчика SCAD отсутствуют публикации по данной тематике [6]. Существует статья про численный анализ осадок фундаментов [27], в которой сделан вывод, о высокой достоверности результатов для рядовых зданий с большими плитными фундаментами, расчет которых основан на линейной теории упругости.

Группа компаний Autodesk не располагает ни одной публикацией в ее издании на данную тематику [14]. В электронной версии журнала «САПР и графика» присутствует краткий обзор Robot Structural Analysis, но не более [25]. На сайте DOAJ и eLibrary.ru также отсутствуют статьи по данному вопросу [24, 26]. В сети интернет встречаются статьи про расчет моделей «здание – основание», как например [28], но только для оценки моделей основания или для расчета свайных полей.

3. Постановка задачи

Требуется определить и сравнить расчетную осадку, полученную различными методами, для акведука отводящего канала АЭС, возводимого на слабых грунтах. Проектируемый объект передает нагрузку на основание через фундамент мелкого заложения.

Под каждой опорой акведука предварительно произведено геологическое исследование, построен геологический разрез и определены характеристики грунтов в лаборатории.

Собраны нагрузки на каждую опору от веса сооружения, воды и ветра (таблица 3.1).



Рисунок 1. 3d модель акведука

Таблица 3.1. Нагрузки на опоры

№ опоры	Нагрузка	Нормативное значение, тс	γ_f	Расчетное значение, тс
1	Собственный вес опоры	7.4	1.1	5,8
	Собственный вес лотка	35.5	1.1	47,3
	Вес воды в лотке	101.7	1.2	122,4

№ опоры	Нагрузка	Нормативное значение, тс	γ_f	Расчетное значение, тс
	Всего:			175,5
	Ветровая нагрузка	2,5	1.2	3
2	Собственный вес опоры	12.2	1.1	23,2
	Собственный вес лотка	60.6	1.1	80,7
	Вес воды в лотке	173.4	1.2	208,8
	Всего:	268,5		312,7
	Ветровая нагрузка	4,1	1.2	4,9
3	Собственный вес опоры	12.6	1.1	29,0
	Собственный вес лотка	52.3	1.1	69,6
	Вес воды в лотке	149.5	1.2	180
	Всего:	239,7		278,6
	Ветровая нагрузка	5,8	1.2	6,9

Исходные геологические данные сведены в таблицу:

Таблица 3.2. Исходные данные

№ слоя	Наименование грунта	Толщина слоя, м.			ρ_s	ρ	W	I_L	ϕ	c	E
		Опора 1	Опора 2	Опора 3	т/м ³			град	МПа		
1	Супесь	4	5	4	2,72	1,91	0,18	0,6	18	0,001	10
2	Песок мелкозернистый	2	2	3	2,67	1,78	0,15	-	28	-	14
3	Суглинок	5	6	7	2,71	1,91	0,21	0,3	22	0,02	17
4	Глина	10	10	12	2,70	2,01	0,14	0,2	19	0,05	24

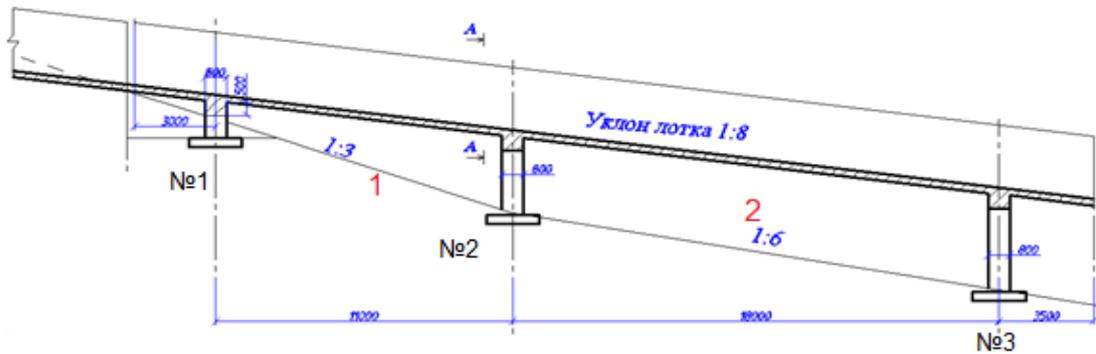


Рисунок 2. Продольный разрез акведука, нумерация опор и пролетов

Разрез по А-А

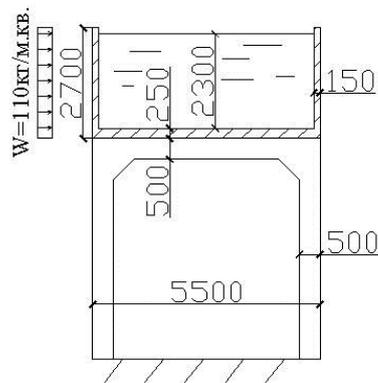


Рисунок 3. Поперечный разрез акведука

Размеры опор представлены в таблице:

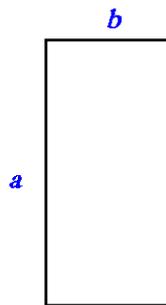


Рисунок 4. Схема габаритов фундаментов опор

Таблица 3.3. Габариты фундаментов опор

№ опоры	а, м	б, м
1	10	3
2	10	3
3	10	3

4. Методы расчета

Согласно [17] в СНиП 2.02.01-87 «Основания и фундаменты» [7] используется расчет осадки фундамента методом линейно-деформируемого слоя. Основная расчетная зависимость:

$$\left\{ \begin{array}{l} S = \beta * \sum_1^n \frac{s_{zp,i} * h_i}{E_i} \\ \sigma_{zp,i} = a * p_0 \end{array} \right. , \quad (4.1)$$

где β – безразмерный коэффициент, равный 0,8; a – коэффициент, учитывающий изменение дополнительного давления по глубине, и зависящий от формы подошвы фундамента (l/b) и относительной глубины, $\varepsilon = \frac{2 * z}{b}$, принимаемый [7]. Данная таблица является обобщением результатов решений уравнений теории упругости, полученных Буссинеском (1885 г.) и Фламаном (1892 г.) для случаев плоской и объемной задач. $s_{zp,i}$ – среднее значение дополнительного вертикального нормального напряжения в i -м слое грунта, равное полу сумме указанных напряжений на верхней z_{i-1} и нижней z_i границах слоя по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента; h_i и E_i – толщина и модуль деформации i -го слоя; n – число слоев, на которые разбивается сжимаемая толща основания.

В программном комплексе SCAD [2-5] применяется метод вычисления первого коэффициента постели и применяется следующая билинейная модель [2]:

$$\Delta \sigma E = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\Delta \sigma}{E} = \mu \frac{\Delta \sigma}{E_{ep}} \quad \text{при } \sigma_z \leq p_c \\ \sigma_z - p_c E_{ep} + p_c - \sigma_0 E_e = \sigma_z - p_c + \mu * (p_c - \sigma_0) E_{ep} \quad \text{при } s_z > p_c \end{array} \right. \quad (4.2)$$

где $s_z = s_0 + \Delta \sigma$ – действующее после приложения нагрузки вертикальное напряжение в массиве;

σ_0 – начальное напряжение (до приложения нагрузки);

E_e, E_{ep} – упругий и упруго-пластический модули деформации;

$$\mu = \frac{E_{ep}}{E_c}$$

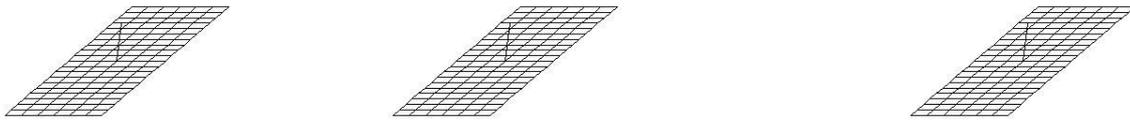


Рисунок 5. Расчетная схема в SCAD

В программном комплексе Robot Structural Analysis [8] применяются принципы линейной теории упругости. Средние напряжения определяются по следующей расчетной зависимости [8]:

$$\sigma_{zq}(z) = q \cdot \frac{-2}{\pi} \cdot \operatorname{arctg} \left(\frac{L/B}{\frac{z}{B} \sqrt{1 + \left(\frac{L}{B}\right)^2 + \left(\frac{z}{B}\right)^2}} - \frac{\frac{z}{B}}{\frac{L}{B}} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{z}{B}\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{L}{B}\right)^2 + \left(\frac{z}{B}\right)^2} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{B}\right)^2 + \left(\frac{z}{B}\right)^2} - z/B \right] \right), \quad (4.3)$$

где – В – ширина фундамента;

L- длина фундамента.

Расчет средней осадки i-го слоя в Robot Structural Analysis (RSA) производится как [8]:

$$s_i = h_i \cdot \frac{\sigma(z_i)}{M_{0,i}}, \quad (4.4)$$

где- $M_{0,i}$ – начальный (без учета релаксации), оedomетрический модуль сжатия грунта в слое i, и этот коэффициент связывается с модулем Юнга как:

$$E = M \cdot \frac{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}{1-\nu}, \quad (4.5)$$

где – ν – коэффициент боковой деформации.

Далее осадки послойно суммируются.

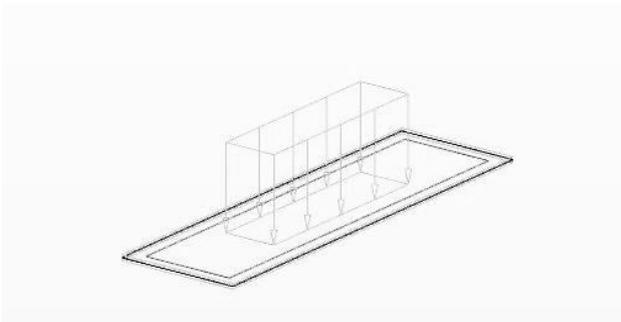


Рисунок 6. Расчетная схема в RSA

5. Результаты расчета

В результате расчета по СНиП 2.02.01-87 «Основания и фундаменты» [7] было получено расчетное среднее значение осадок S под опорами:

Таблица 5.1 Расчетные осадки под опорами по СНиП 2.02.01-87 «Основания и фундаменты»

№ опоры	S, мм
1	27,8
2	28,7
3	35,6

В результате расчета в программном комплексе SCAD были получены значения перемещений в точках в виде картин изополей (рисунки 7 - 9), так что можно визуальную оценить расчетную осадку:



Рисунок 7. Изополя перемещений и их значения в узлах опоры №1 акведука в SCAD

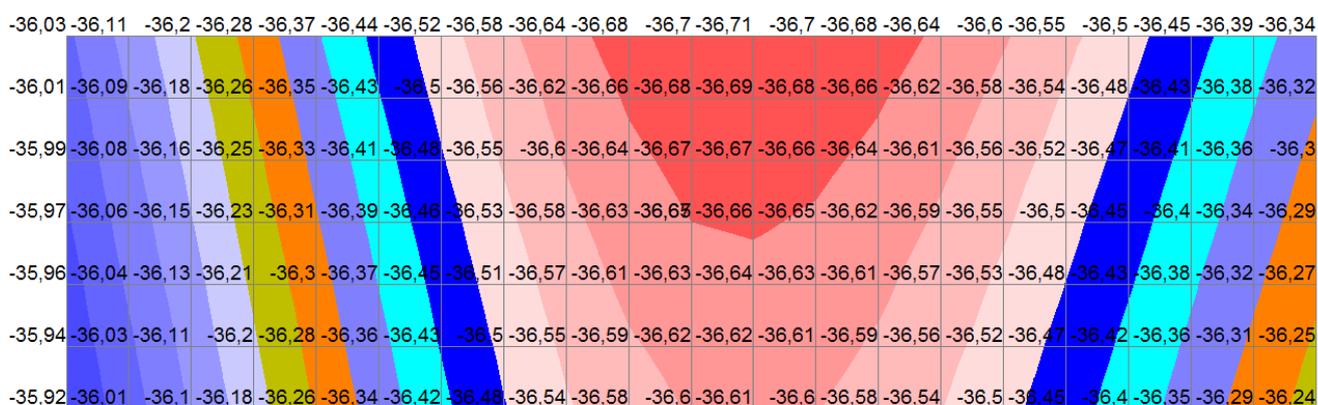


Рисунок 8. Изополя перемещений и их значения в узлах опоры №2 акведука в SCAD

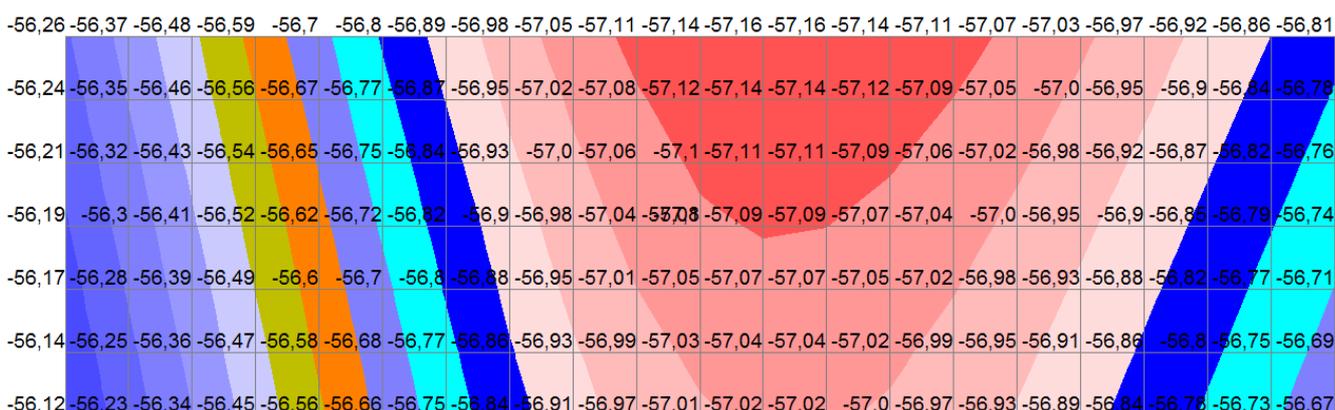


Рисунок 9. Изополя перемещений и их значения в узлах опоры №2 акведука в SCAD

Из рисунков видно, что наибольшая осадка происходит в центре фундаментов, со смещением к краю длинной стороны ввиду изменения геологии, но не превышает нормативного значения по СНиП 2.02.01-87 «Основания и фундаменты».

Результаты в программном комплексе RSA были получены также в виде схем перемещений в узлах (рисунки 10 - 12).

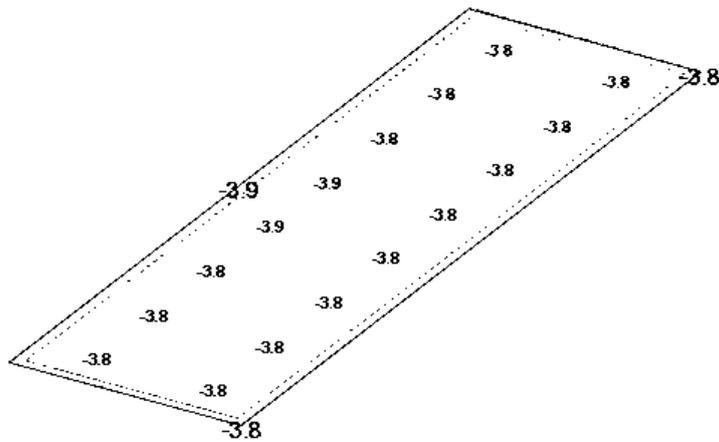


Рисунок 8. Средние значения перемещений конечных элементов опоры №1 акведука в RSA

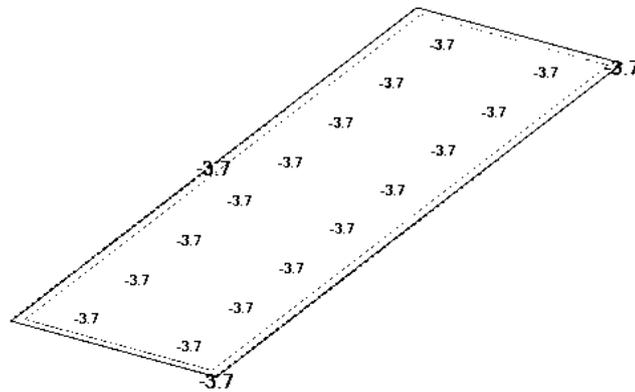


Рисунок 9. Средние значения перемещений конечных элементов опоры №2 акведука в RSA.

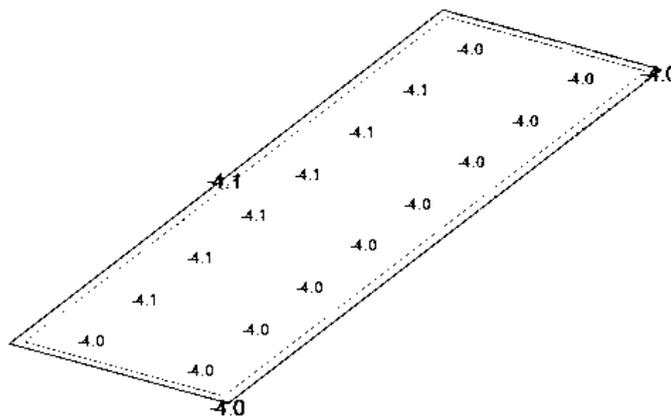


Рисунок 10. Средние значения перемещений конечных элементов опоры №3 акведука в RSA

Из рисунков видно, что наибольшая осадка происходит в центре фундаментов, со смещением к краю длинной стороны ввиду изменения геологии, но опять же не превышает нормативного значения по СНиП 2.02.01-87 «Основания и фундаменты».

Данные полученные в результате всех расчетов можно представить в виде графика зависимости значения расчетной осадки по длине плиты (рисунок 13).

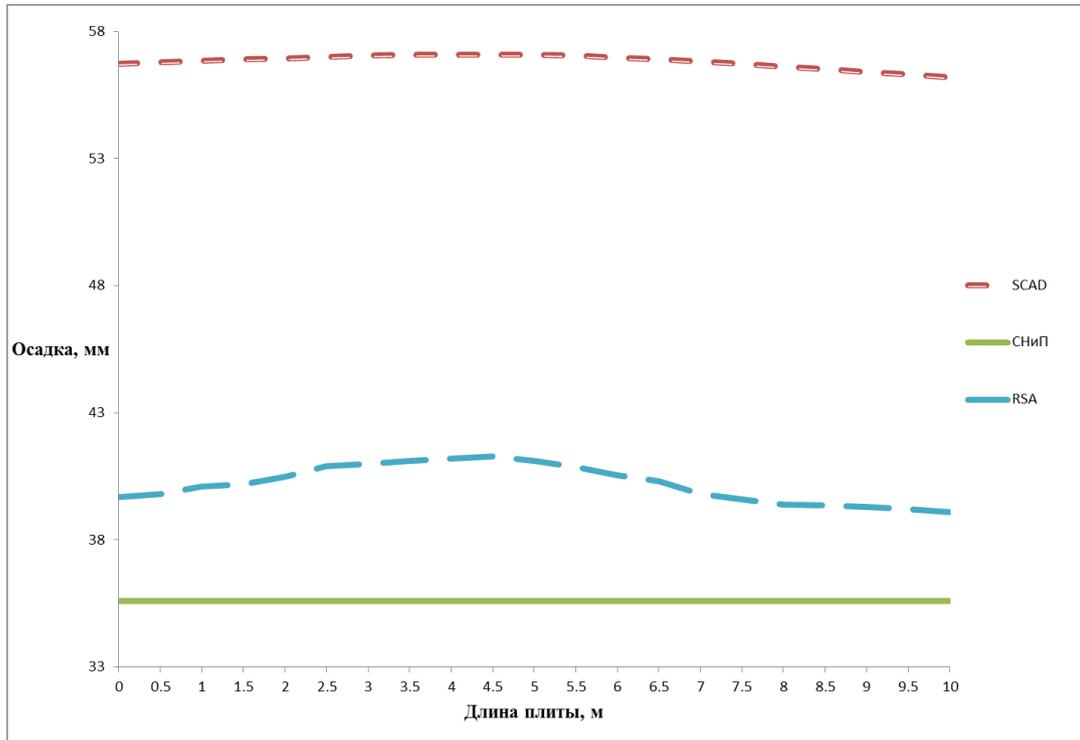


Рисунок 11. Сравнение результатов осадки опоры №1 акведука полученных разными методами

Для такого типа сооружения также представляет интерес такой параметр, как относительная неравномерность расчетной осадки. Результаты приведены на гистограмме (рисунок 14).

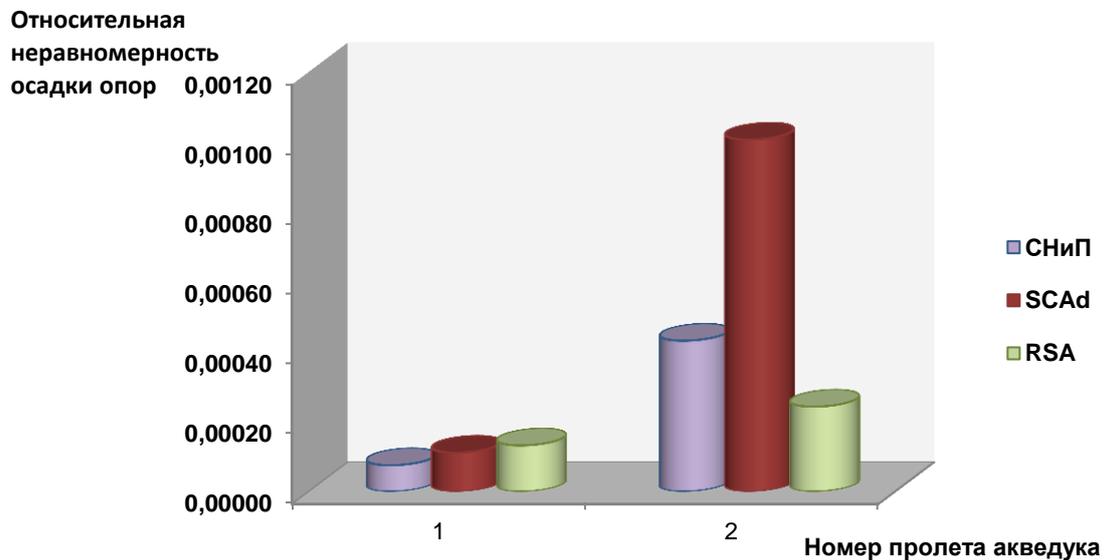


Рисунок 12. Неравномерность осадки опор по результатам расчетов

6. Выводы

1. Погрешность между различными методами, составляет 20-25%. Можно сказать, что расчеты, произведенные в программных комплексах, дают приемлемый результат для данной задачи, сопоставимый с СНиП 2.02.01-87 «Основания и фундаменты».

2. Использование расчетных комплексов в условиях данной задачи дает достаточно точный результат, который можно использовать в проектировании опор мелкого заложения, при меньших временных затратах.

Литература

1. Городецкий А.С., Батрак Л.Г., Городецкий Д.А. [и др.] Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона. 2004. С. 37-39
2. Федоровский В.Г., Безволев С.Г. Прогноз осадок фундаментов мелкого заложения и выбор модели основания для расчета плит // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2000. №4. С. 276-284.
3. Криксунов Э.З., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А. [и др.] КРОСС – программа для определения коэффициентов постели. Режим доступа. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://www.cadmaster.ru/assets/files/articles/cm_10_kross.pdf (дата обращения: 20.01.2014).
4. Карпиловский В. С. [и др.]. SCAD OFFICE. Вычислительный комплекс SCAD. М.: 2008. 590 с.
5. Мангушев Р.А., Сахаров И.И., Конюшков В.В. [и др.]. Сравнительный анализ численного моделирования системы «Здание-фундамент-основание» в программных комплексах SCAD и Plaxis. // Вестник гражданских инженеров. 2010. № 3. С. 96-101.
6. Сайт компании «SCAD Soft». [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://scadsoft.com/publications> (дата обращения: 16.02.2014).
7. СНиП 2.02.01-83*. Основания и фундаменты.
8. Autodesk Robot Structural Analysis Professional [Электронный ресурс]. Систем. Требования: Internet Explorer. URL: <http://docs.autodesk.com/RSAPRO/2014/ENU/> (дата обращения 20.01.2014)
9. PN-81/B-03020 Building soils. Foundation bases. Static calculation and design. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://chomikuj.pl/sanjose/UPRAWNIENIA+BUDOWLANE/2010+p*c5*82ytka+wersja+studencka/Uprawnienia-normy+do+druku/B-03020_PN_81_PosadowienieBezposrednie,674275132.pdf (дата обращения: 20.01.2014).
10. Chandrakant S. D., Tribikram K. (2001) Introductory Finite Element Method .USA Fl.: Crc Press. 2001. 520 p.
11. Poulos H. G. (2000) Piled raft foundation: Design and applications. Geotechnique. 2000. No. 51. Pp. 95-113.
12. Федоровский В.Г. Несущая способность сыпучего основания ленточного фундамента при действии наклонной внецентренной нагрузки. // ОФМГ. 2005 №4, с. 1-7.
13. Lyanin A. V. and Sloan S. W. Lower bound limit analysis using nonlinear programming.// INTERNATIONAL JOURNAL FOR NOMERICAL METHODS IN ENGINEERING. 2002. No. 55. p. 573-611.
14. Autodesk Community Magazine. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://communities.autodesk.com/cis/acm> (дата обращения: 16.02.2014).
15. Thomas Benz, Steinar Nordal. Numerical Methods in Geotechnical Engineering: (NUMGE 2010). USA Fl.: Crc Press. 2010. 976p.
16. Catherine O'Sullivan. Particulate Discrete Element Modelling: A Geomechanics Perspective. USA Fl.: Crc Press. 2011. 576p.
17. НИИОСП им. Герсманова Госстроя СССР. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01.-83.). – М.:Стройиздат., 1986. 412 с.
18. Punmia B. C., Ashok Kumar Jain, Arun Kr. Jain. (2005) Soil mechanics and foundations. Firewall Media, 2005. 916 p.
19. Desai Ch., Zaman M. (2013) Advanced Geotechnical Engineering: Soil-Structure Interaction using Computer and Material Models. USA Fl.: Crc Press. 2013. 638 p.
20. Márcio de Souza S. Almeida, Marques M.E.S. Design and Performance of Embankments on Very Soft Soils. USA Fl.: Crc Press. 2013. 228 p.
21. Kam-tim Chau. (2012). Analytic Methods in Geomechanics. USA Fl.: Crc Press. 2012. 457 p.
22. Fusao Oka, Sayuri Kimoto. Computational Modeling of Multiphase Geomaterials. (2012). USA Fl.: Crc Press. 2012. 410p.
23. Jian Zhao, Yuzo Ohnishi, Gao-Feng Zhao. (2012). Advances in Discontinuous Numerical Methods and Applications in Geomechanics and Geoengineering. USA Fl.: Crc Press. 2012. 440p.
24. Directory of Open Access Journals [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://doaj.org/> (дата обращения: 08.05.2014).

25. Web сервер журнала «САПР и графика» [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.sapr.ru/article.aspx?id=22880&iid=1051> (дата обращения: 03.06.2014).
26. Научная электронная библиотека e-library [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 03.06.2014).
27. Сафина А. Г., Иванов В. В. Численный анализ осадок плитных фундаментов // Вестник томского архитектурно-строительного университета. 2010. №3. С. 213-221
28. Кожанов Ю. А., Ефименко А. Г., Загильский В.А. [и др.] Анализ напряженно-деформированного состояния железобетонной конструкции с учетом основания [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&Z21ID=&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Vpabia_2013_8_10.pdf (дата обращения: 15.06.2014).

Comparison of calculations using SNIIP 2.02.01-87 and using special software

A.S. Stepanov¹, V.A. Melnikov²

Saint-Petersburg Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO

Original research article

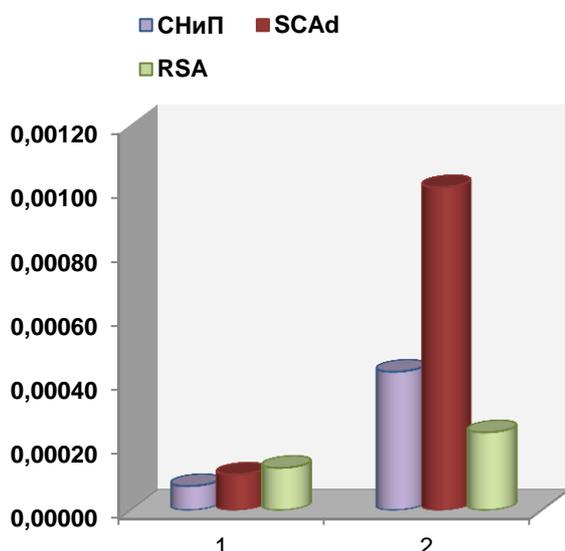
Article history

Received 7 December 2013
Accepted 4 July 2014

Keywords

foundation,
SCAD,
RSA,
finite element method,
coefficient of soil reaction,
method of stuffed summation

ABSTRACT



Comparison of practical results by calculations of settlement of foundation using statutory literature and computing systems SCAD, Robot Structural Analysis, and realizing finite element method. We did research on several versions of calculations for shallow foundations for newels of unique building- aqueduct of outlet channel of Atomic Power Station on loose soil. We performed design models and method of calculations of settlement and tension under newels of aqueduct. We showed differences of computing chain for every computing system. There are showed design diagrams of building and gotten from results of computing of isofield settlement for histogram of apparent differential settlements of newels by bays. We made analytical research of similar works, precision of results and decisions and analysis were made on results gotten from computing systems.

1

Corresponding author:

+7 (921) 920 2600, a.s.stepanov1@gmail.com (Aleksandr Sergeevich Stepanov, B.Sc.)

2

+7 (812) 535 3029, pocti.kuzmin@yandex.ru (Viktor Alekseevich Melnikov, Associate Professor)

References

1. Gorodetskiy A.S., Batrak L.G., Gorodetskiy D.A. (2004) *Raschet i proyektirovaniye konstruksiy vysotnykh zdaniy iz monolitnogo zhelezobetona* [Calculation and design of high-rise buildings of reinforced concrete] - K, 2004 – Pp. 37-39. (rus)
2. Fedorovskiy V.G., Bezvolev S.G. (2000) *Prognoz osadok fundamentov melkogo zalozheniya i vybor modeli osnovaniya dlya rascheta plit.* [Forecast pellet shallow foundations and the choice of model for the calculation of the base plates] *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov.* 2000. Vol. 4. Pp. 276-284. (rus)
3. Kriksunov E.Z., Perelmutep A.V., Perelmuter M.A. [et. al.] (2014) *KROSS – programma dlya opredeleniya koeffitsiyentov posteli. Rezhim dostupa.* [web source]. Sistem. trebovaniya: AdobeAcrobatReader. URL: http://www.cadmaster.ru/assets/files/articles/cm_10_kross.pdf (date of reference: 20.01.2014).
4. Karpilovskiy V.S. [et. al.] (2008). *SCAD OFFICE. Vychislitelnyy kompleks SCAD.* [SCAD OFFICE. Computing complex SCAD] M.: 2008. 590 p. (rus)
5. Mangushev R.A., Sakharov I.I., Konyushkov V.V. [et. al.] (2010) *Sravnitelnyy analiz chislennogo modelirovaniya sistemy «Zdaniye-fundament-osnovaniye» v programmnykh kompleksakh SCAD i Plaxis.* *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov.* [Comparative analysis of numerical simulation of the "building-foundation-base" in software SCAD and Plaxis] 2010. Issue 3. Pp. 96-101.
6. «SCAD Soft». [web source]. Requirement soft: AdobeAcrobatReader. URL: <http://scadsoft.com/publications> (date of reference: 16.02.2014).
7. SNiP 2.02.01-83*. *Osnovaniya i fundamenty.* [SNiP 2.02.01-83*. Bases and Foundations] (rus)
8. Autodesk Robot Structural Analysis Professional [web source], Requirement soft: Internet Explorer, URL: <http://docs.autodesk.com/RSAPRO/2014/ENU/> (date of reference: 20.01.2014)
9. PN-81/B-03020 Building soils. Foundation bases. Static calculation and design. [web source]. Requirement soft: AdobeAcrobatReader. URL: http://chomikuj.pl/sanjose/UPRAWNIENIA+BUDOWLANE/2010++p*c5*82ytka+wersja+studencka/Uprawnienia-normy+do+druku/B03020_PN_81_PosadowienieBezposrednie,674275132.pdf (date of reference: 20.01.2014).
10. Chandrakant S. Desai, Tribikram Kundu. (2001) *Introductory Finite Element Method*. USA Fl.: Crc Press. 2001. 520 p.
11. Poulos H. G. (2000) *Piled raft foundation: Design and applications.* *Geotechnique.* 2000. Vol. 51: Pp.95-113.
12. Fedorovskiy V.G. (2005) *Nesushchaya sposobnost sypuchego osnovaniya lentochnogo fundamenta pri deystvii naklonnoy vnetsentrennoy nagruzki.* [The bearing capacity of loose foundation strip foundation under the action of the inclined eccentric load] *OFMG.* 2005. Vol. 4. Pp. 1-7.
13. Lyanin A. V., Sloan S. W. (2002) *Lower bound limit analysis using nonlinear programming.* *International Journal For Nomerical Methods In Engineering.* 2002. Vol. 55. Pp. 573-611.
14. Autodesk Community Magazine. [web source]. Requirement soft: AdobeAcrobatReader. URL: <http://communities.autodesk.com/cis/acm> (date of reference: 16.02.2014).
15. Benz Th., Nordal St. (2010) *Numerical Methods in Geotechnical Engineering: (NUMGE 2010).* USA Fl.: Crc Press. 2010. 976 p.
16. O'Sullivan C. (2011) *Particulate Discrete Element Modelling: A Geomechanics Perspective.* USA Fl.: Crc Press. 2011. 576 p.
17. *NIIOSP im. Gersivanova Gosstroya SSSR. Posobiye po proyektirovaniyu osnovaniy zdaniy i sooruzheniy (k SNiP 2.02.01.-83.)* [Manual for the design of foundations of buildings and structures (to SNiP 2.02.01.-83.)] M.: *Stroyizdat.*, 1986. 412 p. (rus)
18. Punmia B. C., Ashok Kumar Jain, Arun Kr. Jain. (2005) *Soil mechanics and foundations.* Firewall Media, 2005. 916 p.
19. Chandrakant S. Desai, Musharraf Zaman. (2013) *Advanced Geotechnical Engineering: Soil-Structure Interaction using Computer and Material Models.* USA Fl.: Crc Press. 2013. 638 p.
20. Márcio de Souza S. Almeida, Maria Esther Soares Marques. (2013). *Design and Performance of Embankments on Very Soft Soils.* USA Fl.: Crc Press. 2013. 228 p.
21. Kam-tim Chau. (2012). *Analytic Methods in Geomechanics.* USA Fl.: Crc Press. 2012. 457 p.

22. Fusao Oka, Sayuri Kimoto. (2012) Computational Modeling of Multiphase Geomaterials. USA Fl.: Crc Press. 2012. 410 p.
23. Jian Zhao, Yuzo Ohnishi, Gao-Feng Zhao (2012) Advances in Discontinuous Numerical Methods and Applications in Geomechanics and Geoengineering. USA Fl.: Crc Press. 2012. 440 p.
24. Directory of Open Access Journals [web source]. Requirement soft: AdobeAcrobatReader. URL: <http://doaj.org/> (date of reference: 08.05.2014).
25. Web server zhurnala «SAPR i grafika» [web source]. Requirement soft: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.sapr.ru/article.aspx?id=22880&iid=1051> (date of reference: 03.06.2014).
26. eLibrary.ru [web source]. Requirement soft: AdobeAcrobatReader. URL: <http://elibrary.ru/defaultx.asp> (date of reference: 03.06.2014).
27. Safina A. G., Ivanov V. V. (2010). *Chislennyy analiz osadok plitnykh fundamentov*. [Numerical analysis of sediment slab foundation] *Vestnik Tomskogo Arkhitekturno-Stroitel'nogo Universiteta*. 2010. Vol. 3. Pp. 213-221. (rus)
28. Kozhanov Yu. A., Yefimenko A. G., Zagil'skiy V. A. *Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zhelezobetonnoy konstruktsii s uchetom osnovaniya* [web source]. Sistem. trebovaniya: AdobeAcrobatReader. URL: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&Z21ID=&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Vpabia_2013_8_10.pdf (date of reference: 15.06.2014).