

Компьютерное моделирование развития осадок здания на основании, усиленном вертикальным армированием



**Богданова
Елена
Олеговна**

инженер производственно-технического отдела
ОАО «Нью Граунд»,
магистрант кафедры
«Строительное производство и геотехника»
Пермского национального
исследовательского
политехнического
университета
e-mail: helen-30@mail.ru



**Клевеко
Владимир
Иванович**

кандидат технических наук,
доцент кафедры
«Строительное производство и геотехника»
Пермского национального
исследовательского
политехнического
университета
e-mail: spstf@pstu.ru

При возведении зданий на фундаментной плите, основанием которой служат слабые водонасыщенные грунты, могут возникать сверхнормативные осадки, которые становятся причиной деформаций несущих конструкций здания. В статье представлен прогноз поведения здания на неоднородном основании. Моделирование осуществлялось в программном комплексе Plaxis. В ходе исследования получены результаты последовательностей укрепления основания и произведено сравнение с данными геотехнического мониторинга.

Ключевые слова: фундаментная плита, геомассив, Plaxis 2D, компьютерное моделирование, осадка здания, геодезический мониторинг.

BOGDANOVA E. O., KLEVEKO V. I.

COMPUTER MODELING DEVELOPMENT OF DEVELOPMENT OF BUILDINGS SETTLEMENT BASED ON VERTICAL REINFORCEMENT

There are excessive settlements of the building as a result of the erection of buildings on the foundation plate which located on weak water-saturated grounds. It became the cause of deformations of the bearing structures of the building. The article presents the forecast of building behavior on an inhomogeneous building base. Modeling were made in the software complex Plaxis. In the course of the study, the results of base strengthening sequences were obtained and compared with geotechnical monitoring data.

Keywords: foundation plate, geomassiv, Plaxis 2D, computer modeling, settlements of the building, geodetic monitoring.

В настоящее время большое количество зданий на фундаментной плите находятся на водонасыщенных грунтах. Это оказывает отрицательное влияние на безотказную работу их элементов. В статье проанализирован случай, описанный в журнале «Жилищное строительство» [11]. Рассматриваемое здание располагается на неравномерном основании, что стало причиной развития сверхнормативных осадок фундамента во время строительства.

Компьютерное моделирование проводилось в программном комплексе Plaxis, который широко применяется в геотехнических расчетах [5, 6, 17]. Граничные условия описываемого основания находятся в пределах: по вертикали — 20 м, по горизонтали — 45 м (Иллюстрация 1). С помощью существующей 3D модели были определены геометрические характеристики грунтов, а также их основные

параметры. Длина участка здания, указанного на схеме, равна 35,18 м (Иллюстрация 1). Поведение грунта моделировалось с помощью модели Мора — Кулона.

Армирование основания проводилось за счет устройства грунтоцементных элементов Ø0,6 м, расположенных с шагом 1,5 м. Общее армирование повышает деформационные характеристики грунтов и останавливает осадку здания.

В ходе исследования произведен анализ последовательности устройства грунтоцементных элементов.

На первом этапе было рассмотрено основание без укрепления. Результаты моделирования представлены на Иллюстрациях 2, 3 (а, б).

Максимальное значение вертикальных деформаций составляет 16,79 см, максимальное напряжение под подошвой фундамента — 110,81 кН/м². Эпюра вертикальных деформа-

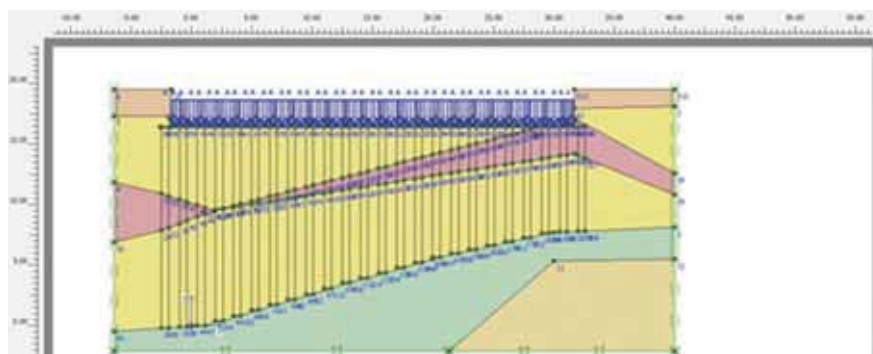


Иллюстрация 1. Расчетная схема, построенная в программном комплексе Plaxis 2D

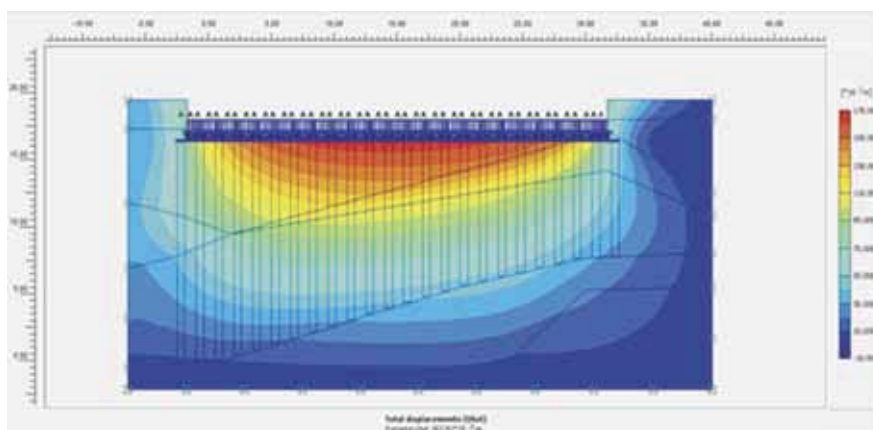


Иллюстрация 2. Изополя вертикальных перемещений фундаментной плиты в случае отсутствия армирования

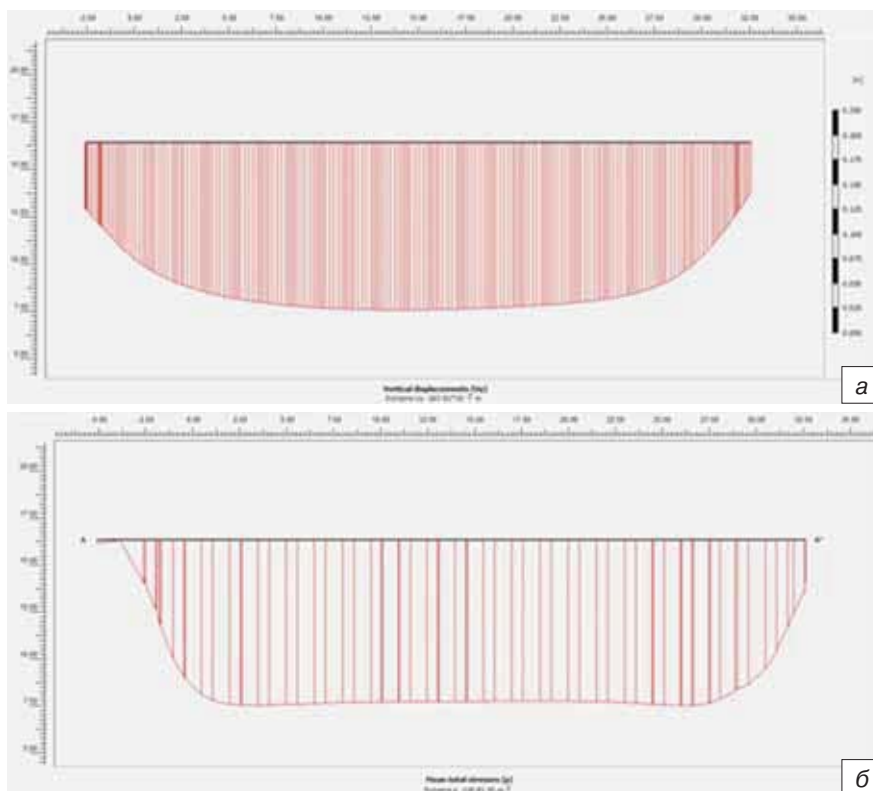


Иллюстрация 3: а — эпюра вертикальных перемещений фундаментной плиты;
б — эпюра вертикальных напряжений

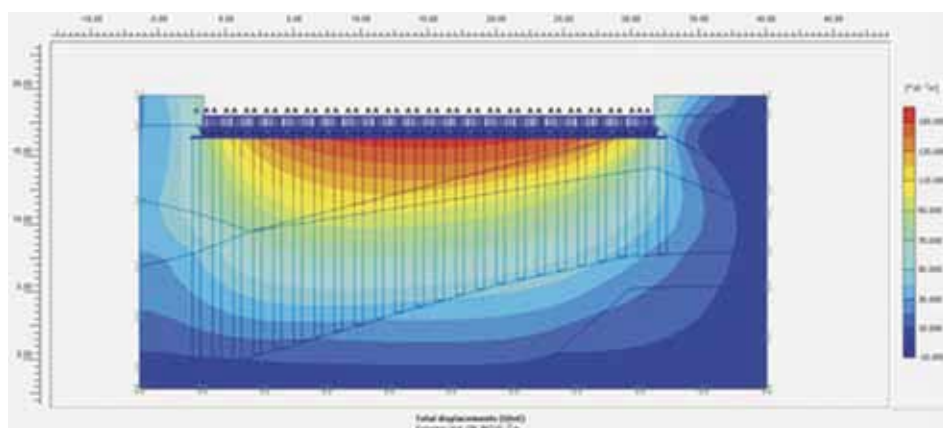


Иллюстрация 4. Изополя вертикальных перемещений фундаментной плиты при полном закреплении основания

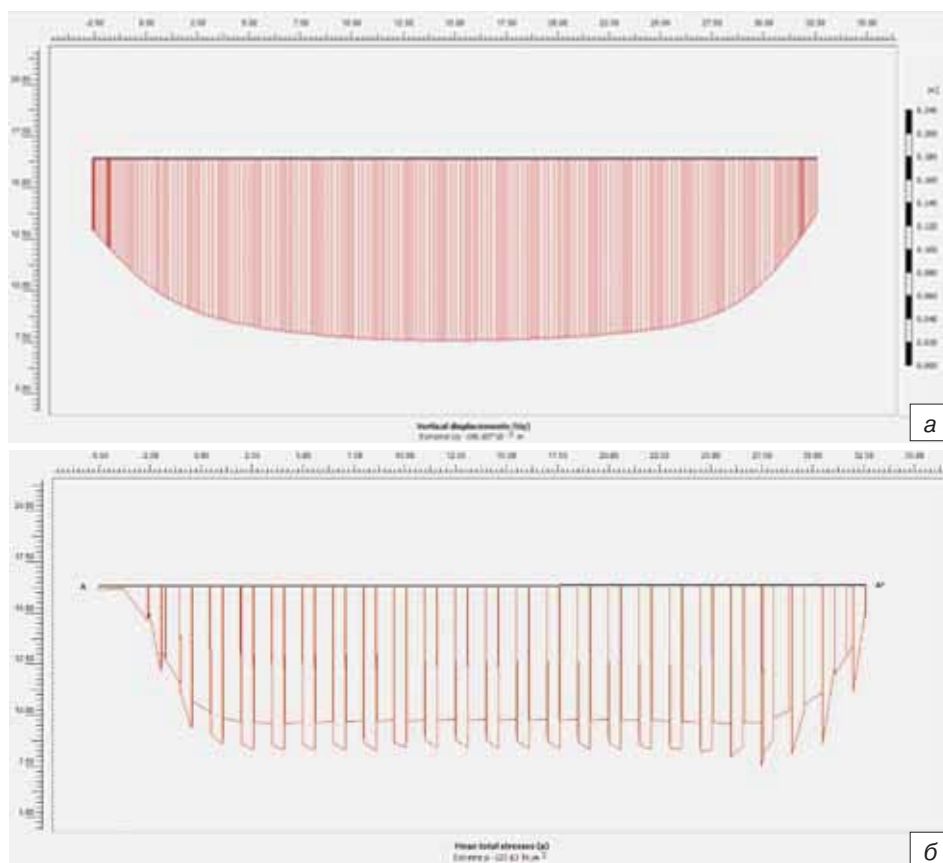


Иллюстрация 5: а — эпюра вертикальных перемещений фундаментной плиты;
б — эпюра вертикальных напряжений при полном закреплении основания

Таблица 1. Результаты компьютерного моделирования

Показатель	Максимальные напряжения, кН/м ²	Максимальная осадка, см	Осадка в % от предельного значения остаточных деформаций	Относительная разность осадок
Без усиления	110,81	16,79	100	0,0004
С усилением	127,63	15,86	45	0,0003
Усиление с краев	126,55	15,69	35	0,0003
Усиление с середины	126,43	15,69	35	0,0003

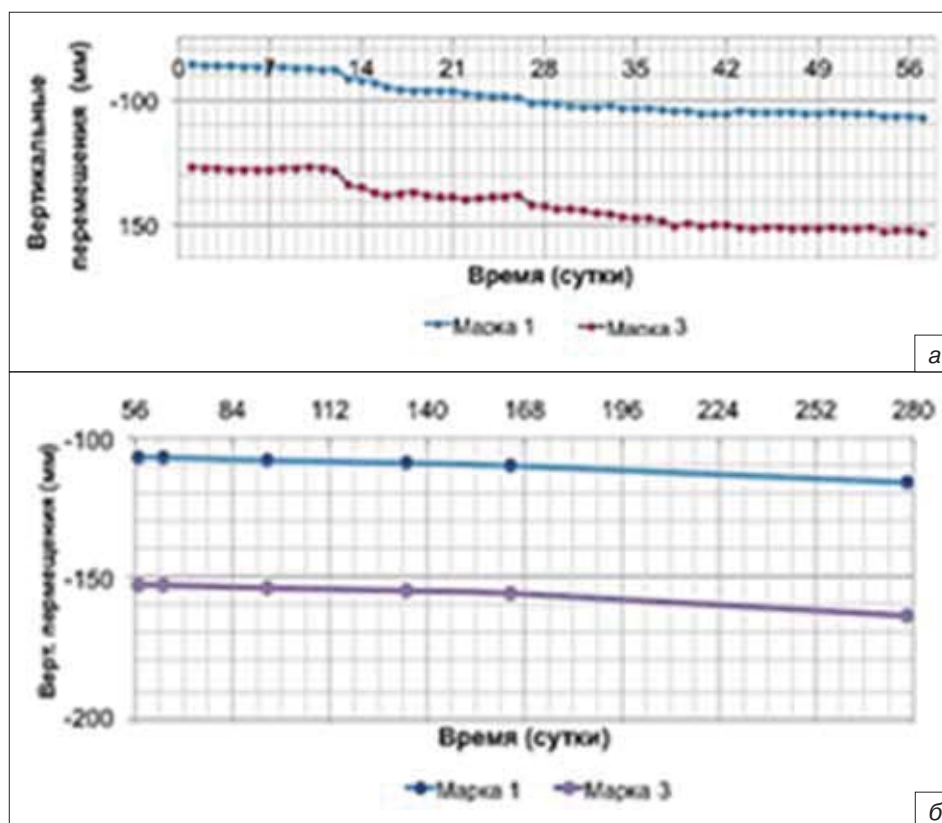


Иллюстрация 6: а — график мониторинга развития вертикальных деформаций в период производства работ; б — график мониторинга стабилизации вертикальных деформаций

ций фундаментной плиты показывает возникновение осадок, превышающих предельно допустимые по СП 22.13330.2011 [12].

Для приостановки развития осадок рассмотрен случай усиления грунтового основания под всей поверхностью фундаментной плиты с помощью вертикального армирования грунтоцементными элементами и проанализирована эффективность применяемой технологии. Такая технология широко применяется в современном строительстве в России и за рубежом [1–4, 7–16]. Результаты моделирования представлены на Иллюстрациях 4, 5 (а, б).

Результаты компьютерного моделирования показывают, что максимальное значение осадки здания равно 15,86 см, напряжения — 127,63 кН/м². Эпюра показывает, что основная концентрация напряжений приходится на сваи, в них наблюдаются максимальные значения напряжений.

После проверки выбранного метода усиления основания необходимо определить порядок производства работ. Рассмотрим последовательности устройства грунтоцементных элементов и определим наиболее благоприятный вариант.

Изначально проанализируем вариант укрепления грунтового основания, в котором армирование производится от крайних положений фундаментной плиты здания к ее середине. Максимальное значение вертикальных деформаций, согласно расчетам, составило 15,69 см, а максимальное вертикальное напряжение под подошвой фундамента — 126,55 кН/м².

Рассмотрим следующий вариант армирования, где грунтоцементные элементы устраиваются от середины фундаментной плиты к ее крайним положениям. Максимальное значение вертикальных деформаций в этом

случае составило 15,69 см, а максимальное вертикальное напряжение под подошвой фундамента — 126,43 кН/м².

Результаты компьютерного моделирования сведены в Таблицу 1.

По итогам моделирования вариантов усиления фундаментной плиты необходимо отметить, что во всех случаях максимальное значение вертикальных деформаций превышает допустимое [12]. Это связано с тем, что армирование грунта производилось на последних этапах возведения здания. В данном случае цель устройства искусственного геомассива заключается в приостановке осадки здания, исключении ее дальнейшего развития и в снижении значений остаточных деформаций.

Сравнение результатов показало, что относительная разность осадок находится в допустимых пределах (нормативная разность осадок составляет 0,003 [12]), но в случае усиления основания она снижается.

Значения остаточных деформаций уменьшаются более чем на 50% при армированном основании, что говорит о прекращении развития вертикальных деформаций здания и об эффективности выбранного метода усиления.

Сопоставив полученные значения, делаем вывод о необходимости искусственного армирования грунтового основания. Результаты показывают, что наиболее благоприятная последовательность усиления — от центра фундаментной плиты к ее крайним положениям.

Во время производства работ, а также в период стабилизации вертикальных деформаций велся ежедневный геодезический мониторинг за вертикальными перемещениями контрольных марок в течение 280 суток. Результаты представлены на Иллюстрации 6 (а, б).

Мониторинг показал, что общая осадка в контрольных точках здания не превышает 15% от осадки, полученной

в результате компьютерного моделирования. Геодезические наблюдения за развитием осадок после окончания работ по армированию основания и в процессе дальнейшего строительства здания показали снижение скорости развития осадки здания и о стабилизации процесса развития вертикальных деформаций [9].

Заключение

- 1 В данной статье представлен результат анализа вариантов армирования основания здания во время производства работ по его возведению.
- 2 Принятая последовательность от центра к краям фундаментной плиты подтверждена результатами компьютерного моделирования в программном комплексе Plaxis 2D.
- 3 Результаты ежедневного геодезического мониторинга в расчетные периоды показали эффективность принятого метода укрепления основания.

Список использованной литературы

- 1 Богов С. Г. Закрепление грунта по струйной технологии для реконструкции зданий // Жилищное строительство. 2014. № 9. С. 51–55.
- 2 Бройд И. И. Струйная геотехнология. М. : АСВ, 2004. 448 с.
- 3 Гришко Д. А., Шуплик М. Н., Куликова Е. Ю. Перспективы применения струйной цементации в городском подземном строительстве с целью снижения экологических рисков // Научный вестник МГТУ. 2011. № 9 (18). С. 16–22.
- 4 Джантемиров Х. А., Долев А. А. Опыт усиления основания сооружения с помощью струйной технологии // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2006. № 1. С. 16–19.
- 5 Игошева Л. А., Клевеко В. И. Сравнение результатов определения вертикальной осадки ленточного фундамента аналитическим методом и методом конечных элементов в условиях плоской и пространственной задач // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2014. № 3. С. 74–86.
- 6 Игошева Л. А., Клевеко В. И. Сравнение результатов определения вертикальной осадки ленточного фундамента аналитическим методом и методом конечных элементов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2014. № 3 (15). С. 30–38.
- 7 Ильичев В. А., Мангушев Р. А., Никифорова Н. С. Опыт освоения подземного пространства российских мегаполисов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2012. № 2. С. 17–20.
- 8 Маковецкий О. А., Зуев С. С. Обеспечение эксплуатационной надежности подземной части комплексов жилых зданий // Жилищное строительство. 2012. № 9. С. 38–41.
- 9 Маковецкий О. А., Зуев С. С., Хусаинов И. И., Тимофеев М. А. Обеспечение геотехнической безопасности строящегося здания // Жилищное строительство. 2014. № 9. С. 34–38.
- 10 Мангушев Р. А., Гутовский В. Э., Конюшков В. В. Определение прочностных характеристик грунтоцементного массива, выполненного по технологии jet-grouting в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга // Вестник гражданских инженеров. 2010. № 2. С. 69–77.
- 11 Пономарев А. Б. [и др.] Геотехнический мониторинг жилого дома // Жилищное строительство. 2015. № 9. С. 41–45.

- 12 СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83*.
- 13 СТО НОСТРОЙ-16–2011. Укрепление грунтов инъекционными методами в строительстве. М., 2011. С. 8–12.
- 14 Henn R. W. Practical Guide to Grouting of Underground Structures. ASCE Press, 2010. 200 с.
- 15 Karol R. H. Chemical Grouting and Soil Stabilization. CRC Press, 3rd edition, 2003. 536 с.
- 16 Modoni G., Bzdowska J. Analysis of foundation reinforced with jet grouting // J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2012. P. 1442–1454.
- 17 PLAXIS — инструмент инженера-геотехника. Примеры расчетов // CADmaster. 2002. № 3. С. 62–65.