

УДК 624.151.5

Д. Ю. Чунюк, В. Ф. Ярных

**ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА
ГРУНТА ОСНОВАНИЯ ПРИ УЧЕТЕ ПОЭТАПНОСТИ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗДАНИЙ
И НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЗАГРУЖЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ
КАК ФАКТОР ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО РИСКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Посвящена вопросам изменения напряженно-деформированного состояния грунтового массива при неравномерном нагружении фундаментов в процессе поэтапного возведения зданий и сооружений.

Ключевые слова: фундаментная плита, напряженно-деформированное состояние, массив грунта, геотехнический риск, неравномерность загрузки, поэтапность возведения.

The article deals with changes in the stress-deformed state of soil massif with uneven foundation slab loading during the phased construction of buildings and structures.

Key words: foundation slab, stress-deformed state, soil massif, geotechnical risk, uneven loading, phased construction.

Научно-технический прогресс не стоит на месте, постоянно развиваются методики расчета строительных конструкций, совершенствуются процессы проектирования и конструирования, а также организации строительного производства. Увеличивается этажность зданий, их размеры в плане, а также осваивается подземное пространство, например, для устройства многоуровневых автостоянок, габариты которых в большинстве случаев значительно превосходят в плане надземную часть здания. В связи с этим в настоящее время остро встает вопрос учета влияния на изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтового массива, неравномерности загрузки основания при возведении зданий и сооружений, а также вопрос учета поэтапности приложения нагрузок на фундаменты в случае протяженных в плане зданий.

Зданий, имеющих несколько секций переменной этажности на плитных фундаментах, которые нагружаются по мере возведения поэтапно, а также высотных зданий с развитой в плане подземной частью, возводимых в глубоком котловане, проектируется и возводится достаточно много. В качестве ограждающих конструкций котлованов таких зданий могут использоваться ограждения, выполняемые по технологии «стена в грунте», или шпунтовые ограждения, имеющие распорную систему в виде подкосов, опирающихся на пионерную часть фундаментной плиты. Таким образом, фундаментная плита воспринимает по контуру точечные реакции от подкосной системы ограждающих конструкций.

С учетом технологических особенностей возведения развитых в плане зданий НДС массива грунта в процессе строительства существенно меняется. Указанные изменения могут оказывать значительное влияние как на общую устойчивость здания в целом, так и на его деформируемость [1, 2].

Конструкции ограждений котлованов проектируются с помощью различных программных комплексов. Крупнейшие компании имеют в своем арсенале комплексы для решения различных геотехнических задач в трехмерной постановке типа ANSYS, Plaxis 3D, Midas GTS NX, Abaqus и др. Однако

значительное распространение получили более простые программные комплексы, позволяющие решать некоторые геотехнические задачи в плоской постановке, например Wall-3, Фундамент и др. Такие программы позволяют откорректировать в соответствии с нормами только работу самой конструкции ограждения котлована с учетом наличия или отсутствия анкерного крепления или распорной системы

Однако крепление ограждающих конструкций котлована зачастую выполняется не анкерами или горизонтальными распорками, а с использованием наклонных подкосов в виде, например, труб, которые точно передают нагрузки на край фундаментной плиты. Величины этих нагрузок могут достигать 350 и более тонн.

Фундаментная плита и грунтовое основание, воспринимая эти нагрузки, в зависимости от жесткостных характеристик самой плиты могут значительно деформироваться. При проектировании и конструировании фундаментных плит нагрузки от подкосов обычно никто не учитывает. Более того, конструкция ограждения котлована, которая опирается на такую пионерную плиту, деформирующуюся в зоне крепления подкосов, также получает дополнительные перемещения, ранее не учтенные в расчетах, что, в свою очередь, может привести к сверхнормативным деформациям несущих конструкций зданий окружающей застройки.

В случае выполнения пионерной фундаментной плиты небольшими захватками возможно появление сдвиговых деформаций плиты, которые только ухудшат работу конструкций ограждения и еще больше увеличат деформации окружающей застройки.

При проектировании зданий и сооружений может возникнуть еще одна проблема, решению которой инженеры-конструкторы до недавнего времени не уделяли должного внимания и которую мы упоминали в начале статьи, — это учет неравномерности загрузки фундаментной плиты при возведении зданий.

Возьмем типичный случай процесса проектирования здания. Сначала в расчетных комплексах (как правило, с помощью программ STARKON, Ing+, Lira-САПР, Мономах-САПР, SCAD и т. п.) собирается из несущих элементов единая схема каркаса здания. Зачастую массив грунта задается, например, с помощью коэффициентов постели по Пастернаку. Собранная таким образом расчетная схема запускается на расчет, и на выходе мы получаем изополя внутренних усилий, изополя раскладки армирования всех конструкций, а также величины максимальных деформаций. Такой порядок расчета типичен для инженера-конструктора, занимающегося проектированием и конструированием основных несущих конструкций здания. Ведь до недавнего времени упомянутые выше программные комплексы вообще не имели необходимого модуля для расчета схемы и возможности анализа результатов с учетом поэтапности возведения здания и неравномерности нагружения фундаментов и грунтов основания. Хотя, рассматривая работу основания с точки зрения изменения НДС массива грунта [3, 4], инженер-геотехник при решении данной задачи согласится с подобным подходом лишь в тех случаях, если проектируемое здание, например, башенного типа с неразвитой подземной частью; если этажность здания постоянная и здание будут возводить поэтапно, равномерно загружая фундаментную плиту. Вопросы неравномерности нагружения грунтового основания уже не раз обсуждались, в том числе на страницах данного

журнала [5]. В строительной практике мы зачастую сталкиваемся с тем, что развитые в плане здания возводят не поэтажно, а по секциям. Причин этому много, но есть и самые распространенные, с которыми приходится встречаться.

Приведем один пример. В соответствии с действующими нормами* проектируется 15-этажный монолитный жилой дом с подземной автостоянкой в г. Москве. Здание имеет развитую в плане подземную часть (трехуровневый подземный паркинг), выступающую за габариты надземной части здания. Заказчику выдаются необходимые чертежи, и начинается строительство. Чтобы быстрее начать продавать площади, заказчик торопится выйти из «нуля» и для этого «притормаживает» строительство части паркинга с целью ускорения строительства высотной части. Таким образом, через некоторое время после начала строительства оказывается, что каркас одной части здания уже возведен почти полностью, а к возведению остальной части каркаса только приступили. Описанная картина и легла в основу численного эксперимента. Задача расчетов заключается в моделировании различных вариантов последовательности возведения трехсекционного здания и анализе полученных результатов как для несущего каркаса, так и для НДС массива грунта под фундаментом.

В качестве начального состояния для расчетной схемы принято состояние на момент времени до начала строительства жилого дома.

Анализируемая область включала в себя массив грунтов основания с плановыми размерами 300×200 м и глубиной от поверхности около 25 м.

Инженерно-геологические условия площадки строительства были смоделированы в объемной постановке в программном комплексе Plaxis. Определение НДС грунтового массива выполнялось с использованием упругопластической модели (модель пластического течения с условием прочности по Друккеру — Прагеру). Расчетные параметры модели грунтов, в том числе величины угла внутреннего трения ϕ сцепления c , модуля деформации E , а также нагрузки при учете объемных сил в грунтовом массиве, были приняты в соответствии с данными из отчета об инженерно-геологических изысканиях. В связи с тем что не было возможности произвести дополнительные испытания для получения других необходимых параметров грунтов основания, более совершенные модели грунтов, такие как, например, модель упрочняющегося грунта, использованы не были. Конструкции здания были смоделированы линейно-деформируемыми упругими элементами с соответствующими характеристиками жесткости.

Были просчитаны два варианта последовательности возведения проектируемого здания: 1) одновременное поэтажное возведение монолитного каркаса всех трех секций; 2) опережающее возведение несущих конструкций секции 1, более медленное возведение конструкций секции 2 и возведение каркаса секции 3 только после окончания строительно-монтажных работ по возведению монолитных конструкций секций 1 и 2.

* СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01—83. М. : ЦПП, 2011.

СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07—85. М. : ЦПП, 2011.

СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01—2003 М. : ЦПП, 2012.

МДС 50-1.2007. Проектирование и устройство оснований, фундаментов и подземных частей многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов. М. : НИЦ «Строительство», 2007.

Изополя деформаций фундаментной плиты для каждого из вариантов приведены на рис. 1. Численные значения деформаций сведены в табл. 1.

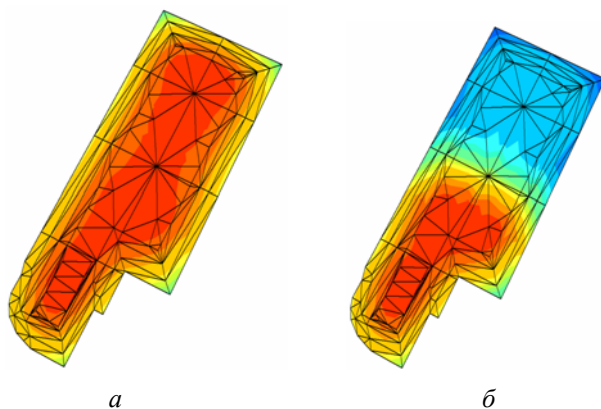


Рис. 1. Изополя деформаций фундаментной плиты: *a* — вариант 1 (три секции возведены одновременно и полностью); *б* — вариант 2 (две секции возведены полностью, третья секция возведена на треть)

Т а б л и ц а 1

Величины деформаций проектируемого здания

Последовательность возведения здания	Деформации здания, см		
	Секция 1	Секция 2	Секция 3
Вариант 1	11,0...12,5	11,0...12,5	11,0...12,5
Вариант 2	11,0...12,5	6,0...12,5	6,0...7,0

Распределение эффективных нормальных напряжений в массиве грунта под фундаментной плитой при поэтапном, но равномерном загрузении фундаментов, соответствующем одновременному возведению всех секций, приведены на рис. 2. Численные значения указанных напряжений даны в табл. 2.

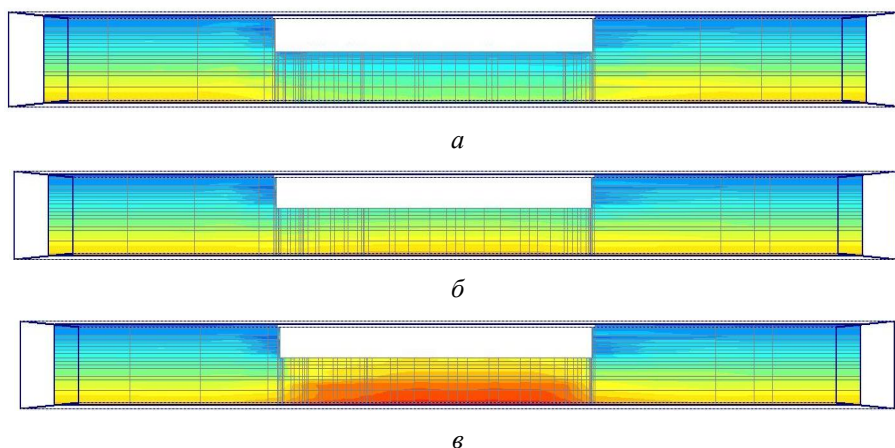


Рис. 2. Изополя эффективных нормальных напряжений в массиве грунта под фундаментной плитой при равномерном загрузении: *a* — на этапе возведения только фундаментной плиты (давление 0 кПа); *б* — все секции здания возведены на половину общей высоты (давление 150 кПа); *в* — все секции здания возведены на половину общей высоты (давление 300 кПа)

Т а б л и ц а 2

Величины эффективных нормальных напряжений в массиве грунта под фундаментом проектируемого здания (равномерное нагружение)

Давление под подошвой фундамента, кПа	Эффективные нормальные напряжения, кПа		
	Секция 1	Секция 2	Секция 3
0	40...140	40...140	40...140
150	80...200	80...200	80...200
300	140...260	140...260	140...260

Для варианта неравномерного нагружения плитного фундамента, соответствующего возведению двух секций из трех опережающими темпами, распределение эффективных нормальных напряжений в массиве грунта приведено на рис. 3, а численные значения приводятся в табл. 3.

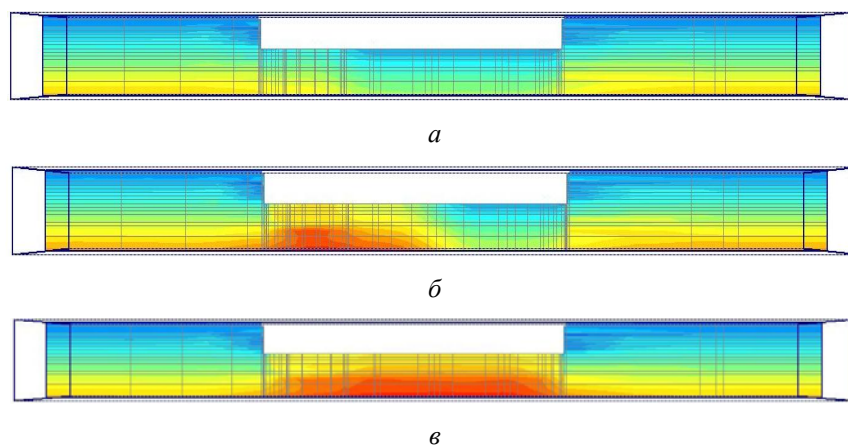


Рис. 3. Изополя эффективных нормальных напряжений в массиве грунта под фундаментной плитой при неравномерном (посекционном) нагружении: *а* — первая секция возведена на треть (давление 100 кПа), вторая и третья секции не возведены (давление 0 кПа); *б* — первая секция возведена полностью (давление 300 кПа), вторая секция возведена на 2/3 (давление 200 кПа), а третья секция не возведена (давление 0 кПа); *в* — все секции здания возведены полностью (давление 300 кПа)

Т а б л и ц а 3

Величины эффективных нормальных напряжений в массиве грунта под фундаментом проектируемого здания (неравномерное нагружение)

Давление под подошвой фундамента, кПа	Эффективные нормальные напряжения, кПа		
	Секция 1	Секция 2	Секция 3
100...0...0	70...190	40...140	40...140
300...200...0	140...260	100...220	40...140
300...300...300	140...260	140...260	140...260

Анализ результатов проведенных расчетов показал, что величины итоговых деформаций фундаментной плиты (см. табл. 1, вариант 1) и эффективных нормальных напряжений (см. табл. 2 и 3 при нагрузках 300...300...300 кПа)

на период окончания строительно-монтажных работ при равномерном и по-секционном загрузках имеют схожие значения. Однако в случае возведения здания «по секциям» разность осадок фундаментной плиты существенно превышает нормативные значения (см. табл. 1, второй расчетный вариант при полностью возведенных двух секциях из трех), а величины нормальных напряжений НДС массива грунта (см. табл. 3) под фундаментной плитой меняются в значительном диапазоне относительно смежных секций.

Приведенный пример в очередной раз наглядно доказывает необходимость учета последовательности возведения здания и неравномерности загрузки фундаментов в процессе строительства для грамотного проектирования каркаса здания с учетом изменения НДС массива грунта и снижения геотехнических рисков во время строительно-монтажных работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чунюк Д. Ю. Оценка и управление рисками при строительстве подземных сооружений открытым способом // Вестник МГСУ. 2009. № 3. С. 120—124.
2. Чунюк Д. Ю., Ярных В. Ф. Снижение геотехнических рисков в строительстве на примере расчета и проектирования глубоких котлованов в стесненных условиях мегаполисов // В мире научных открытий. 2010. № 1—4. С. 193—199.
3. Ярных В. Ф. К вопросу об учете напряженно-деформированного состояния массива грунта // Вестник МГСУ. 2009. № 1. С. 528—531.
4. Чунюк Д. Ю., Ярных В. Ф. Ограничение возможной области применения плоской модели системы «проектируемое здание — котлован — окружающая застройка» с целью снижения геотехнических рисков в строительстве // Вестник МГСУ. 2009. № 2. С. 168—174.
5. К вопросу о деформируемости грунтового основания при равномерном и неравномерном нагружении / В. М. Чикишев, Я. А. Пронозин, В. В. Миронов, О. С. Порошин // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2012. Вып. 2(22). URL: www.vestnik.vgasu.ru

1. Chuniuk D. Yu. Otsenka i upravlenie riskami pri stroitel'stve podzemnykh sooruzhenii otkrytym sposobom // Vestnik MGSU. 2009. № 3. S. 120—124.
2. Chuniuk D. Yu., Yarnykh V. F. Snizhenie geotekhnicheskikh riskov v stroitel'stve na primere rascheta i proektirovaniya glubokikh kotlovanov v stesnennykh usloviyakh megapolisov // V mire nauchnykh otkrytii. 2010. № 1—4. S. 193—199.
3. Yarnykh V. F. K voprosu ob uchete napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya massiva grunta // Vestnik MGSU. 2009. № 1. S. 528—531.
4. Chuniuk D. Yu., Yarnykh V. F. Ogranichenie vozmozhnoi oblasti primeneniya ploskoi modeli sistemy «proektiruемое здание — kotlovan — okruzhayushchaya zastroika» s tsel'yu snizheniya geotekhnicheskikh riskov v stroitel'stve // Vestnik MGSU. 2009. № 2. S. 168—174.
5. K voprosu o deformiruemosti gruntovogo osnovaniya pri ravnomernom i neravnomernom nagruzhении / V. M. Chikishev, Ya. A. Pronozin, V. V. Mironov, O. S. Poroshin // Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaya. 2012. Vyp. 2(22). URL: www.vestnik.vgasu.ru

© Чунюк Д. Ю., Ярных В. Ф., 2014

Поступила в редакцию
в декабре 2014 г.

Ссылка для цитирования:

Чунюк Д. Ю., Ярных В. Ф. Изменение напряженно-деформированного состояния массива грунта основания при учете поэтапности возведения зданий и неравномерности загрузки фундаментов как фактор геотехнического риска в строительстве // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2014. Вып. 4(35). Ст. 9. Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

For citation:

Chuniuk D. Yu., Yarnykh V. F. [Change of stress-deformed state of base soil massif taking into account phased construction of a building and uneven loading of the foundation as a factor of geotechnical risk in construction]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2014, no. 4(35), paper 9. (In Russ.). Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>