

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ПО ДЕФОРМАЦИЯМ - ЗАЛОГ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Кушнер С.Г.

Украинский государственный институт азотной промышленности
и продуктов органического синтеза
г. Днепродзержинск, Украина

АНОТАЦІЯ: Показано, що у зв'язку з ускладненням геотехнічних задач, потрібно подальше уточнення нормативних документів по проектуванню систем «основа-фундамент-будівля (споруда)». Пропозиції автора спрямовані на удосконалення ДБН проектування основ та фундаментів будівель та споруд.

АННОТАЦИЯ: Показано, что в связи с усложнением геотехнических задач требуется дальнейшее уточнение нормативных документов по проектированию систем «основание-фундамент-здание (сооружение)». Предложения автора направлены на совершенствование ДБН проектирования оснований и фундаментов зданий и сооружений.

ABSTRACT: It is shown that in connection with the complication of geotechnical problems further improvements of standards of designing of systems "basis - foundation -building (construction)" is necessary. Proposals of the author are directed on improvement of DAN of designing of bases and foundations of buildings and constructions.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: осадка, начальная осадка, деформация, модуль деформации.

ВВЕДЕНИЕ

В процессе многолетней практики проектирования, строительства, обследования и «лечения» зданий и сооружений (далее сооружений) азотных заводов и объектов гражданского строительства в Украине и других странах СНГ автор не встречал отказов по причине потери несущей

способности оснований, тогда как повреждения сооружений, в том числе и нарушающие их нормальную эксплуатацию, вызванные неравномерными осадками и другими деформациями оснований, имели место довольно часто. На современном уровне это вызвано усложнением геотехнических задач за счет: возведения более ответственных сооружений, увеличения их веса и скорости прироста нагрузок - с одной стороны и ухудшением инженерно-геологических условий и рельефа застраиваемых площадок – с другой.

В Украине 80 % территории имеет сложные инженерно-геологические условия и прежде всего это лессовые грунты – просадочные при замачивании и сильно сжимаемые при их переувлажнении. В последние несколько десятилетий процесс подъема уровня подземных вод (УПВ) и обводнения застроенных и застраиваемых территорий принял характер экологического бедствия, что привело к резкому ухудшению строительных свойств грунтов, проявлению значительных неравномерных осадок сооружений и активизации негативных природных процессов (просадки, оползни). Поэтому достоверность прогнозирования осадок оснований сооружений и их неравномерности весьма актуальна.

Наблюдающееся повсеместно большое количество деформированных зданий свидетельствует о том, что нормативные предпосылки к расчету совместных деформаций системы «основание – фундамент – сооружение» или «фундамент – сооружение», включенные в ДБН В.1.2.-10-2009 на основании СНиП 2.02.01-83* [1, 2], требуют доработки, в том числе и приспособления к требованиям Еврокода 7 с учетом национальных особенностей Украины. Кроме того, ДБН [1] должны корректироваться в связи с предстоящей разработкой новых норм геотехнического проектирования в сложных инженерно-геологических условиях.

В последние годы совершенствованием методов определения напряжений в основаниях сооружений и расчета совместных деформаций названных систем занимались многие ученые Украины, стран СНГ, Европейского союза. Увидели свет Еврокод 7, (EN 1997-1: 2004), а также Национальные Еврокоды: ДСТУ-Н Б EN 1997-1:2010 [3] и ДСТУ-Н Б EN 1990-2008 [7]. В монографиях [4 - 6] представлены исследования автора, направленные на дальнейшее совершенствование расчетов оснований по деформациям, и обобщены обширные материалы исследований предыдущих лет. Последние публикации автора по этим вопросам относятся к 2010 – 2013 и 2015 гг.

Разработки автора, направленные на совершенствование расчетов оснований по деформациям, и не нашедшие отражения в ДБН [1], исходят из необходимости:

учета факторов, влияющих на осадки, а также начальных осадок и осадок ползучести грунта;

уточнения методики определения характеристик деформируемости грунтов и повышения их надежности;

включения в [1] проектирования насыпей (имеются в виду планировочные насыпи большой высоты и протяженности);

уточнения влияния нагрузок на поверхности от планировочных насыпей различной конфигурации на напряженное состояние оснований фундаментов разной формы в плане;

уточнения некоторых других аспектов расчета оснований по деформациям, в том числе и на просадочных грунтах.

Цель работы: обоснование необходимости включения предложенных уточнений в подлежащие корректировке ДБН [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Факторы, влияющие на осадку

Чтобы не повторяться, в дальнейшем, говоря о деформации или осадке основания фундамента, мы будем подразумевать совместную деформацию системы основание – фундамент – сооружение или фундамент – сооружение.

Полная конечная осадка основания отдельного фундамента, зависит от множества факторов: величины всех видов нагрузок, действующих на фундамент и вызывающих соответствующие напряжения в его основании, размеров пластических зон, образующихся под краями фундамента, распределяющей способности, свойств и сложения грунтов основания, конструктивных особенностей сооружения, формы и размеров фундамента в плане и по глубине, характера и скорости загрузки и других воздействий, а также качества строительных работ. Подробные исследования факторов, влияющих на осадки фундаментов, их неравномерность и крены сооружений, отражены в [6].

Приведем некоторые примеры. Размеры пластических зон и их влияние на осадки снижаются при перераспределении давления на основание путем: перехода к фундаментам конечной жесткости; придания определенного очертания контактной поверхности; закругления краев фундамента; устройства фундаментов на промежуточной подготовке.

Более надежные решения можно получить на основе расчетных моделей: учитывающих текстуру грунтов (неоднородность, слоистость, ярко выраженную анизотропию); обеспечивающих более точное определение напряжений в основаниях фундаментов; предусматривающих снижение начальных осадок и их неравномерности и т. д.

Учет факторов, влияющих на осадку, повысит достоверность прогнозирования ожидаемых совместных деформаций оснований и соору-

жений. На [6] целесообразно сослаться, например, в Приложении Д к [1]. В немецких промышленных нормах было принято ссылаться на работы отдельных авторов с указанием важных разделов и номеров формул, рекомендуемых к использованию (см. например, Weiblatt 1 zu DIN 4019 Teil 1, с.7).

Составляющие полной конечной осадки

Исследованиями ряда ученых, в том числе и автора (работы 1979-2008 гг.), установлено, что при определении стабилизированной осадки основания фундамента s следует учитывать не только консолидационную осадку s_1 , как это принято в [1], но и составляющие, обусловленные начальной или недренированной осадкой s_0 и осадкой вторичной консолидации s_2 по формуле [3, 4, 5, 6, 7]

$$s = s_0 + s_1 + s_2 . \quad (1)$$

Однако в [3] дополнительно учтена только составляющая s_0 , названная недренированной. Формула, отвечающая (1), была принята в немецких промышленных нормах (DIN V 4019-100) с 1996 г., затем в Еврокоде 7 и ДСТУ [7].

Начальные осадки

Эти осадки возникают при быстром приложении или быстром приросте нагрузки как в несвязных грунтах, твердых и полутвердых глинах за счет изменения объема, так и в водонасыщенных глинистых грунтах за счет изменения формы (недренированная осадка). В последнем случае они бывают крайне неравномерными и вызывают повреждения сооружений.

Заметим, что при быстром приросте нагрузки, как при испытаниях сооружений, так и при ускоренных темпах строительства, особенно на переувлажненных грунтах, в сооружении, если оно не «абсолютно» жесткое, не успевают проявиться пластические деформации и другие смягчающие факторы, при которых в известной мере происходит перераспределение усилий (напряжений) в сооружении, что способствует снижению неравномерных осадок.

На ДнепрАЗОТе (Днепродзержинск) выполнялись испытания резервуара мокрого газгольдера емкостью 20 тыс. м³. В результате быстрого заполнения водой нагрузка на основание резервуара, представленное водонасыщенными глинистыми (лёссовыми) грунтами, за трое суток возросла от 0,055 до 0,180 МПа, а осадки отдельных марок кольцевого фундамента достигли 87...150 мм. Неравномерность осадок, а

главную скорость их приращения (2,9...5 см /сут.), сопоставимая со скоростью просадок, вызвали растрескивание кольцевого фундамента с раскрытием трещин до 30...50 мм. Далее в процессе эксплуатации осадки марок возросли всего на 9...13 мм.

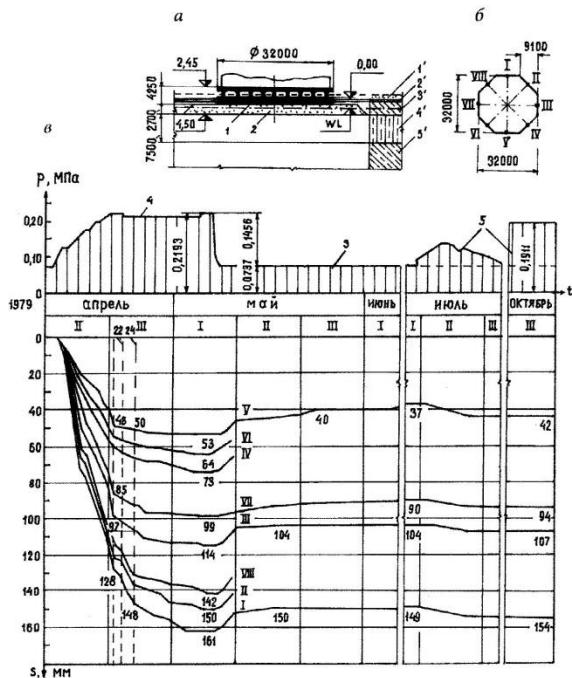


Рис. 1. График осадок точек периметра фундамента изотермического хранилища жидкого аммиака на водонасыщенных глинистых грунтах в процессе испытаний: *а* – сечение фундамента и геологический разрез; *б* – план нижней фундаментной плиты; *в* – график $s = f(t)$ и $p = \varphi(t)$; 1 – фундамент; 2- шлаковая подушка, 3 – давление от постоянной нагрузки; 4 и 5 – то же от постоянной и временной нагрузок соответственно при испытании и эксплуатации; I-VIII – деформационные марки; 1' и 2' – насыпной грунт; 3' и 5' – суглинок лёссовый; 4' - лёсс

На том же заводе во время испытания, поставленного иностранной фирмой стального резервуара хранилища жидкого аммиака, объемом 10 тыс. м³, нагрузка на основание, сложенное описанными выше грунтами, возросла от 0,0737 до 0,2193 МПа, а осадки противоположных марок его жесткого фундамента в короткие сроки достигли 53-161 при максимальной разности осадок 108 мм (рис. 1). Крен фундамента (относительная разность осадок резервуара) составил $0,108/31=0,0035$, где 31 м - расстояние между

марками. Испытание приостановили, так как фирма не допускала дальнейшего увеличения относительной разности осадок для резервуара и готова была снять гарантии.

Однако автором было доказано, что на неравномерность осадок оказали существенное влияние ошибки, допущенные фирмой при монтаже хранилища, и влияние вибрации от работающих в соседнем цехе неуравновешенных компрессоров, что не учла фирма. В результате фирмой были выполнены мероприятия по укреплению основания.

Согласно рекомендаций [4 - 6] начальные осадки можно определять на основании моделей упругого полупространства и при определенных условиях – упругого слоя, а в качестве характеристики деформирования использовать начальный модуль недренированного, неконсолидированного сжатия (начальный модуль Н-Н-сжатия $-E_0$). Он определяется в приборах трехосного сжатия при отсутствии предварительной консолидации до испытания и дренирования – во время испытания. Автором разработаны мероприятия по снижению начальных неравномерных осадок. Формулу (1) следовало бы включить в [3, приложение Д].

Осадки вторичной консолидации

Осадки вторичной консолидации, вызванные ползучестью грунтов, проявляются в тугопластичных, полутвердых, твердых и водонасыщенных глинистых грунтах. При размещении сооружений на обводненных (водонасыщенных) глинистых грунтах такие осадки возникают уже в процессе фильтрационной консолидации и продолжают еще длительное время после ее завершения. Эти осадки рекомендуется находить с использованием модуля деформации, определяемого по вторичной ветви компрессионной кривой в зависимости от конкретных условий, исходя из решений одномерной, двухмерной или трехмерной задач с учетом свойств ползучести грунтов, как это принято в Еврокоде 7 или нормах на проектирование гидротехнических сооружений.

В промышленном строительстве осадки, обусловленные ползучестью грунтов, впервые были учтены автором при проектировании промышленных комплексов на высоких планировочных насыпях (при крутом рельефе), подстилаемых обводненными глинистыми грунтами [6], что себя полностью оправдало.

Планировочные насыпи

Исключение из [1] требований об учете осадки ползучести грунта обусловлено представлением, что при вертикальной планировке

ползучесть глинистого грунта основания под воздействием нагрузки от насыпи не проявляется.

Однако в связи с дефицитом свободных земель, для застройки зачастую используются территории с крутым рельефом, оврагами и другими сложными элементами, причем при вертикальной планировке приходится выполнять насыпи большой высоты и протяженности. Такие насыпи оказывают существенное влияние на осадку сооружений.

Следует различать два вида планировочных насыпей:

1) насыпи-подушки (искусственные основания), на которых возводятся сооружения, как после полной стабилизации осадок оснований насыпей и их окончательного самоуплотнения, так и до завершения этих процессов. В последнем случае для расчетов и организации строительства может быть использована соответствующая методика разработанная автором [6, с. 237-239, 242];

2) насыпи – обсыпки (планировка), выполняемые после возведения сооружений на естественных или искусственных основаниях, представляют собой пригрузку, давление от которой дополнительно передается на фундаменты и вызывает дополнительные осадки, даже после наступившей стабилизации.

В 1978- 84 гг. на «ДнепрАЗОТе» [6] запроектировали и построили производства карбамида и аммиака. Их разместили на свежесыпанных планировочных насыпях-подушках большой площади и высоты (h до 10...15 м), подстилаемых водонасыщенными лёссовыми грунтами. В связи с уклоном местности насыпи имели переменную высоту. В обоих случаях в основаниях насыпей выполнили пластиковые дренажи.

В первом случае полная стабилизация осадок наступила через 9...14 месяцев, в втором – примерно через 22 месяца, причем консолидационная осадка, в основном, завершилась через 6...8 месяцев. Осадка глубинных марок (основания насыпи) за счет вторичной консолидации возросла на 19...30 мм или 10...11 % от его полной осадки, но это существенно могло сказаться на общем значении допустимых осадок фундаментов сооружений, если бы не было заранее учтено в проекте. Дополнительная осадка проявилась также в связи с выполнением вертикальной планировки после возведения сооружений. Важную роль в ускорении стабилизации осадок оснований насыпей здесь сыграл и пластиковый дренаж.

На том же заводе и в таких же грунтовых условиях возвели грануляционные башни № 1 и 2 и через 12 лет башню № 3 ($h= 52...59$ м, $d = 16$ м.). Прирост среднего давления под подошвой составил от $p = 0,074...0,08$ до $0,17...0,19$ МПа. Осадки первых двух башен продолжались 20 лет, третьей - 16. В обоих случаях осадки вторичной консолидации (ползучести грунта) длились 14 лет и достигли значений соответственно 20, 43 и 49 мм или 9,1...24 %. При этом крен башни № 3 составил

0,0062>004, т. е. превысил допустимый на 55 %. Описанные деформации не повлияли на нормальную эксплуатацию всех трех башен [6]. Но для нежесткого сооружения эти деформации были бы существенными.

Модуль деформации грунта

Модуль деформации является одним из существенных факторов, влияющих на осадку и крен фундамента, и его достоверное определение играет немаловажную роль в расчете оснований по деформациям. Автор убежден, что во многих случаях фактические неравномерные осадки превышают расчетные и вызывают деформации сооружений в связи с использованием в расчетах недостаточного достоверных значений модуля деформации. В случае существенных деформаций сооружение становится непригодным к нормальной эксплуатации. Поэтому для расчетов по II предельному состоянию требуется повысить достоверность определения всех видов деформационных характеристик грунтов E , E_0 и др., а также ν и других характеристик за счет введения коэффициента надежности по грунту $\gamma_g > 1$ и установления доверительной вероятности для модуля деформации $\alpha = 0,95$, а для φ_{II} и $c_{II} - 0,9$ [6].

НАПРЯЖЕНИЯ ОТ ПЛАНИРОВОЧНЫХ НАСЫПЕЙ

Насыпи-обсыпки

Если планировочная насыпь примыкает к сооружению с одной стороны и имеет большую протяженность в направлении, перпендикулярном сооружению, то нагрузку от нее можно рассматривать как одностороннюю или полубесконечную, загружающую половину граничной плоскости полупространства.

Так, в проекте открытого резервуара размерами 36x48x5 (h) м (Днепродзержинск), возведенного на поверхности естественного рельефа, не учли напряжения от пригрузки. После отсыпки планировочной насыпи, имевшей с двух противоположных длинных сторон резервуара большую протяженность, а у коротких сторон – малую, резервуар лопнул с раскрытием симметричных трещин до 7 мм в коротких сторонах [6].

Напряжения σ_z от подобной равномерной нагрузки выражаются формулой [6, формула (3.37)] (рис. 1, а)

$$\sigma_z = \frac{p}{\pi} \left[\frac{xz}{x^2+z^2} + \arctg \frac{x}{z} + \frac{\pi}{2} \right], \quad (1)$$

где p – интенсивность равномерной нагрузки на половине граничной плоскости. При $x = 0$ она составляет $(\frac{1}{2})p$. При удалении в сторону отрицательных координат y коэффициент при p убывает, а при незначительном удалении в сторону положительных координат y этот коэффициент возрастает вплоть до единицы, т. е. напряжения с глубиной не убывают.

Насыпи, ограниченные с одной стороны, ленточные фундаменты

Напряжения в основаниях насыпей, ограниченных с одной стороны, при их длине, превышающей ширину подошвы в 10 и более раз, и основаниях ленточных фундаментов по действующим нормативным документам рассчитывают исходя из решений Митчелла-Колосова (равномерная нагрузка) и Н.М. Герсеванова (треугольная нагрузка) для полосы бесконечной длины (плоская задача), расположенной на поверхности полупространства.

Вместе с тем, более реальные значения напряжений можно получить, если рассматривать полосу полубесконечной протяженности, ибо вблизи свободного торца насыпи или фундамента имеет место несколько иное распределение напряжений (пространственная задача). Такую задачу автор решил в содружестве с В.Я. Хаиным [6].

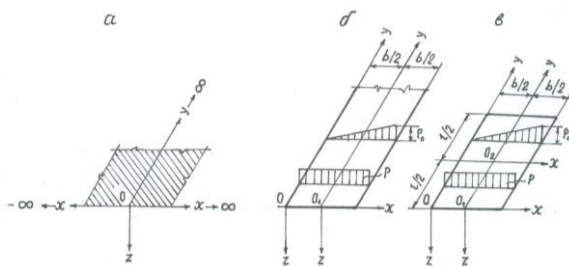


Рис. 2. Схемы нагружения: полупространства (а), ленточного (б) и прямоугольного (в) фундаментов

Приведем формулы, определяющие напряжения $\sigma_{z, str}$ и $\sigma_{z\Delta, str}$ в основании полосы полубесконечной протяженности (рис. 1, б):

Равномерная нагрузка (начало координат а точке O_1)

$$\sigma_{z, str} = \frac{p}{2\pi} \left\{ \arctg \frac{m_1 y}{z} + \arctg \frac{m_2 y}{z R_1} + \frac{m_1 z}{R_1} \left[\frac{R_1 + y}{m_1^2 + z^2} + \frac{y}{y^2 + z^2} \right] \right\} = \frac{p}{2\pi} [F(m_1) - F(m_2)], \quad (2)$$

где $m_1 = x + \frac{b}{2}$, $m_2 = x - \frac{b}{2}$, $R_1 = \sqrt{m_1^2 + y^2 + z^2}$, $R_2 = \sqrt{m_2^2 + y^2 + z^2}$,
 p – интенсивность равномерной нагрузки.

Треугольная нагрузка (начало координат в точке O)

$$\sigma_{z\Delta, str} = p_0 \frac{x}{2\pi b} \left\{ \arctg \frac{m_i}{z} + \arctg \frac{m_i y}{z R_i} + \frac{m_i z}{R_i} \left[\frac{R_i + y}{m_i^2 + z^2} + \frac{y}{y^2 + z^2} \right] - \frac{z^3(1+y/R_i)}{x(m_i^2 + z^2)} \right\} =$$

$$= p_0 \frac{x}{2\pi b} [\Psi(m_1) - \Psi(m_2)], \quad (3)$$

$m_1 = b - x$, $m_2 = -x$, $R_1 = \sqrt{m_1^2 + y^2 + z^2}$, $R_2 = \sqrt{m_2^2 + y^2 + z^2}$,
 где p_0 – максимальная ордината треугольной нагрузки.

Полученная автором позднее формула (3) значительно проще аналогичной формулы из [6].

Формулы (1), (2) и (3) целесообразно включить в [1, приложение Д] или сослаться на них.

Гибкие прямоугольные фундаменты

Из (2) и (3) методом суперпозиции автором получены более простые решения, определяющие напряжения $\sigma_{z, rec}$ и $\sigma_{z\Delta, rec}$ в основании гибкого прямоугольного фундамента, нагруженного равномерной и треугольной нагрузкой ([8, формулы (14) и (21) соответственно, рис. 2, б].

Равномерная нагрузка (начало координат в точке O_1)

$$\sigma_{z, rec} = \frac{p}{2\pi} \left\{ \arctg \frac{m_i y}{z R_i} - \arctg \frac{m_i (y - l)}{R_{iy_1}} + \frac{m_i y z}{R_i} \left[\frac{1}{m_i^2 + z^2} + \frac{1}{y^2 + z^2} \right] - \frac{m_i (y - l) z}{R_{iy_1}} \left[\frac{1}{m_i^2 + z^2} + \frac{1}{(y - l)^2 + z^2} \right] \right\}, \quad (4)$$

где $R_{1y_1} = \sqrt{m_1^2 + (y - l)^2 + z^2}$, $R_{2y_1} = \sqrt{m_2^2 + (y - l)^2 + z^2}$;
 остальные обозначения прежние.

Формула (4), не принимая во внимание условные обозначения, значительно проще формулы Д5 из [1, приложение Д]. Напряжения вычисляются на основании выражения из правой части (2).

Треугольная нагрузка (начало координат в точке O)

По сравнению с формулой из ([8, формула (21)] здесь приводится полученная нами более простая формула

$$\sigma_{z\Delta,rec} = \frac{p_0 x}{2\pi b} \left\{ \arctg \frac{m_i y}{z R_i} - \arctg \frac{m_i (y - l)}{z R_{iy_1}} + \frac{m_i z}{m_i^2 + z^2} \left[\frac{y(m_i^2 + y^2 + 2z^2)}{(y^2 + z^2) R_i} - \frac{(y - l)[m_i^2 + (y - l)^2 + 2z^2]}{[(y - l)^2 + z^2] R_{iy_1}} \right] - \frac{z^3}{x(m_i^2 + z^2)} \left[\frac{y}{R_i} - \frac{y - l}{R_{iy_1}} \right] \right\}, \quad (5)$$

где все обозначения прежние (см. выше). Для вычисления напряжений используется правая часть из (3).

Формулы (4) и (5) следовало бы включить в [1, приложение Д] с соответствующим исключением формулы (Д.5).

ФУНДАМЕНТЫ ГАЗГОЛЬДЕРОВ

В течение многих лет основания и фундаменты газгольдеров, представляющих собой стальные резервуары особой конструкции, проектировались по нормам проектирования оснований сооружений для промышленного и гражданского строительства.

Под стенкой газгольдера обычно возводится кольцевой фундамент, а внутри кольца выполняется уплотненная подушка из местного глинистого грунта или песка, на которую опирается его днище. Поэтому нет никаких оснований исключать проектирование оснований и фундаментов газгольдеров из сферы действия нормативного документа [1].

Целесообразно исключить из раздела 1 [1] указание о том, что эти нормы не распространяются на проектирование оснований и фундаментов газгольдеров.

ЛИКВИДАЦИЯ ПРОСАДОЧНОСТИ ГРУНТОВ МЕТОДОМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ЗАМАЧИВАНИЯ

Как известно, на территории Украины и других стран СНГ наблюдается повсеместный подъем УПВ со всеми вытекающими отсюда пагубными последствиями. Во многих своих публикациях ([6] и др.) автор неоднократно указывал на недопустимость ликвидации просадочности путем предварительного замачивания грунтов, в том числе с использованием глубоких взрывов, так как это вызывает дополнительное ускоренное обводнение застраиваемых территорий. Однако, до настоящего времени этот метод, рекомендуемый в ДБН В.1.1-5-2000, часть II [9], на

которые сделана ссылка в [1, раздел 9, пункт 9.1.1], не исключен из этих норм проектирования. Дальнейшее использование этого метода автор считает недопустимым.

ВЫВОДЫ

В целях повышения качества проектирования и строительства автор считает необходимым при уточнении [1]:

обеспечить всесторонний учет факторов, влияющих на осадку;

учесть возможность возникновения начальных осадок и осадок вторичной консолидации;

повысить требования к надежности определения деформационных характеристик грунтов, используемых в расчетах по II предельному состоянию;

включить необходимые рекомендации по проектированию планировочных насыпей;

учесть в приложении Д решения автора, касающиеся уточнения влияния нагрузок на поверхности от планировочных насыпей, на напряженное состояние оснований фундаментов (формулы, определяющие напряжения: от односторонней нагрузки на граничной плоскости полупространства; от нагрузки на полосе полубесконечной протяженности; от нагрузки, распределенной по прямоугольной площади) или сослаться на эти решения и формулы;

учесть некоторые другие аспекты проектирования оснований по деформациям.

Кроме того, следует исключить из [9] рекомендации по использованию для ликвидации просадочности предварительного замачивания грунтов во всех вариациях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основи та фундаменти будівель і споруд. Основні положення проектування: ДБН В.2.1 – 10 – 2009. – [Чинні від 2009-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с. – (Будівельні норми України).
2. Основания зданий и сооружений: СНиП 2.02.01 – 83*. - Москва, 1995.
3. Еврокод 7. Геотехнічне проектування. Частина 1. Загальні правила (EN 1997-1:2004, IDT): ДСТУ-Н Б EN 1997-1:2010. - [Чинний від 2013-07-01]. – К.: Мінрегіон України, 2013. – 224 с. – (Національний стандарт України).
4. Гольдштейн М.Н. Расчеты осадок и прочности оснований зданий и сооружений / Гольдштейн М.Н., Кушнер С.Г., Шевченко М.И. - К.: - Будівельник, 1977. – 2008 с.
5. Кушнер С.Г. Расчет осадок оснований зданий и сооружений / Кушнер С.Г. – К.: Будівельник, 1990. - 144 с.

6. Кушнер С.Г. Расчет деформаций оснований зданий и сооружений / Кушнер С.Г. – Запорожье, 2008. – 490 с.
7. Єврокод. Основи проектування конструкцій (EN 1990:2002, IDT): ДСТУ-Н Б EN 1990:2008. - [Чинний від 2013-07-01]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 101 с. – (Національний стандарт України).
8. Кушнер С.Г. Напряженное состояние в основании гибкого прямоугольного фундамента под вертикальной нагрузкой / Кушнер С.Г. // ОФимГ. – 2010. - №6. - С. 2-7.
9. Будинки та споруди на підроблюваних територіях і просідаючих ґрунтах: Частина II. Будинки і споруди на просідаючих ґрунтах: ДБН В.1.1-5-2000. – [Чинний від 2000-07-01]. - К.: Держбуд України, 2000. – 87 с. – (Будівельні норми України).

REFERENCES

1. Osnovu ta fundamentu budivel ta sporud. Osnovni polozennya proektuvannya. [State construction norms of Ukraine. Bases and foundations of buildings and constructions. Basic provisions of design]. (2009). DBN B.2.1. - 10 – 2009 from 01st July 2009. Kiev: Building norms of Ukraine [in Ukrainian].
2. Osnovania zdaniy i sooruzeniy [Bases of buildings and constructions]. (1995). SNiP 2.02.0183*. Moscow.
3. Evrokod 7. Geotekhnichne proektuvannya. Chastuna 1. Zagalni pravila Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules (EN 1997-1:2004, IDT). ДСТУ-Н Б EN 1997-1:2010 from 01st July 2013 [in Ukrainian].
4. Goldstein M.N., Kushner S.G., Shevchenko M.I. (1997). Raschetu osadok i prochnosti osnovanij zdaniy i sooruzenij Calculation of settlement and strengths of buildings and constructions bases. Kiev: Budivel'nik [in Russian].
5. Kuchner, S.G. (1990). Raschet osadok osnovanij zdaniy i sooruzenij Calculation of settlement of buildings and constructions bases. Kiev: Budivel'nik [in Russian].
6. Kuchner, S.G. (2008). Raschet deformatzij osnovanij zdaniy i sooruzenij Calculation of deformations of buildings and constructions bases. Zaporozhye [in Russian].
7. Evrokod. Osnovu proektuvannya konstruktzij Eurocode. Bases of design of constructions (EN 1990:2002, IDT) DCTY - HBEN 1990:2008) from 01st July 2009. - Kiev. 2009.
8. Kuchner, S.G. (2010). Naprjazennoe sostoyanie v osnovonii gibkogo pryamoygol'nogo fundamenta pod vertikalnoj nagruzkoj Stressed state in the base of flexible rectangular foundation under vertical load. OFMG.
9. Zdania i sooruzhenia na prosadochnuh gruntah [Buildings and constructions on collapsible soil] (2000). DBN B.1.1 - 5 -200. Part 2 from 01st July 2000 [in Ukrainian]

Статья поступила в редакцию 23.06.2016 г.