

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ ДВУХСЛОЙНОГО ОСНОВАНИЯ – КОМПОЗИТ ИЗ ПЕСЧАНОЙ ПОДУШКИ И ЛЕССОВОГО ГРУНТА

И.В. Носков, Ю.А. Гатилов, М.А.Осипова

В статье приведены методика и результаты испытаний совместной работы двухслойного основания из песчаной подушки и лессового основания в грунтовых условиях г.Барнаула. Приведены экспериментальные данные, свидетельствующие о перспективности применения песчаных подушек как метода фундирования на лессовых грунтах региона.

Ключевые слова: грунт, напряжения, деформации, композит, песчаная подушка, двухслойное основания, полевые испытания

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с нормативными документами по устройству грунтовых оснований зданий и сооружений, проектирование их производится по первой и второй группе предельных состояний - т.е. по прочности и деформативности. В настоящее время при проектировании грунтовых оснований композиты широко используются в виде специальных добавок в грунты или путем разработки новых конструктивных решений по компоновке грунтовых слоев. Такие решения особенно эффективны на слабых грунтовых основаниях - заторфованные, сильно сжимаемые, водонасыщенные глинистые грунты, лессовые грунты и др. В последнее время более широко стали применяться двухслойные грунтовые основания (композиты). Примером такого двухслойного основания является композит из песчано - лессовых просадочных грунтов. Данное решение вполне приемлемо, так как верхний слой из лессовых просадочных грунтов обладает в большей степени просадочными свойствами по сравнению с более глубокими слоями более плотными и менее просадочными. При этом верхний слой заменяется песчаной подушкой и этим самым снижается величина деформаций (осадки и просадка), а также увеличивается прочность грунтового основания в целом.

В тоже время применение такого композита на практике сдерживается из-за того, что в разных литературных источниках приводятся неоднозначные рекомендации по проектированию таких подушек, что зачастую сдерживает их применение.

Устройство грунтовых (песчаных) подушек является одним из эффективных методов снижения влияния негативных последствий, а именно значительных деформаций

(просадок), при строительстве зданий и сооружений на лессовых просадочных грунтах.

В связи с вышеизложенным изучение работы двухслойного основания (композит из песчаной подушки и лессового грунта) является актуальной задачей устройства прочных и надежных оснований фундаментов на территории региона.

ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для решения задачи по изучению работы двухслойного основания – композита из песчаной подушки и лессового грунта в АлтГТУ им.И.И. Ползунова кафедрой «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия», совместно со специалистами ООО «Жилищная инициатива» была разработана и реализована программа исследований, включающая в себя:

1. Определить фактическое распределение напряжения в двухслойном основании (песчаная подушка - лессовый грунт) и на этой основе оценена необходимость уплотнения лессовых просадочных грунтов;

2. Оценить влияние замачивания двухслойного основания на устойчивость и прочность оснований фундаментов зданий и сооружений;

3. Оценить экспериментально-теоретическим путем распространение горизонтальных давлений на окружающий грунт, сопоставить его с пассивным давлением и на этой основе определить оптимальный размер песчаной подушки по горизонтали;

4. Определить влияние различных техногенных воздействий на устойчивость композита (песчаная подушка и лессовый грунт).

Наличие в основании песчаной подушки лессовых (зачастую просадочных) грунтов может существенно повлиять на устойчи-

вость композита в целом. Чаще всего это связано с замачиванием лессовых грунтов сверху или их подтоплением подземными водами (снизу). При замачивании сверху просадка лессовых грунтов может привести к оседанию песчаной подушки. Если учесть, что и сам песок под воздействием замачивания может уплотниться, что в целом может привести к дополнительным суммарным деформациям, которые могут превысить предельные значения. Поэтому учет возможного влияния техногенных воздействий является необходимым условием при расчете двухслойного песчано-лессового, а также учет анизотропии грунтов основания. В опубликованных материалах приводится большое количество результатов исследований по определению просадки от действия фундаментов, штампов и от собственного веса грунта. Но при расчете просадки (осадки) лессового грунта необходимо учитывать, что песчаная подушка является «гибким сооружением» в отличие от «жестких фундаментов», поэтому это следует учитывать и отражать в схеме расчета суммарной деформации.

К сожалению, в технической литературе отсутствуют результаты исследований по устойчивости и деформативности двухслойных песчано-лессовых оснований в условиях замачивания их с учетом анизотропии грунтов. Поэтому одной из основных задач проведенных исследований являлось — восполнить этот пробел и выполнить экспериментально-теоретические исследования устойчивости двухслойного основания (композита из песчаной подушки и лессового грунта) под воздействием указанных выше факторов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Самым достоверным способом оценки поведения грунта под нагрузкой является натурный эксперимент. В связи с этим для определения напряжений в двухслойном песчано-лессовом основании был проведен крупномасштабный эксперимент при строительстве 6-ти этажного гаражного комплекса по ул. Лазурная в г. Барнауле.

На этапе проектирования этого здания свайные фундаменты были заменены на двухслойное основание из песчано-лессовых грунтов. Предусмотрено было устройство песчаной подушки толщиной 2,5 м на лессовой просадочной супеси. Перед устройством песчаной подушки лессовая супесь уплотнялась тяжелой трамбовкой весом 3 т на глубину 1,5 м.

Отсыпка каждого последующего слоя производилась только после проверки каче-

ства уплотнения предыдущего слоя. Для замера напряжений и деформаций в песчаной подушке и лессовом основании были установлены мессдозы и тензометрические датчики.

Для выполнения запланированных исследований на строительной площадке был установлен экспериментальный колодец с установленной в нем тензометрической аппаратурой. Перед установкой в грунт тензометрические датчики были изолированы от проникновения влаги, а также проведена их тарировка. Мессдозы и тензометрические датчики устанавливались в двух плоскостях - горизонтальной и вертикальной с шагом 0,5 метра по высоте и ширине.

Крупномасштабный эксперимент включал в себя шесть этапов:

1. Устройство песчаной подушки и возведение нулевого цикла.
2. Возведение первого этажа здания
3. Возведение второго этажа здания.
4. Возведение третьего и четвертого этажей.
5. Возведение пятого этажа.
6. Возведение шестого этажа.

На каждом этапе снимались показания мессдоз и датчиков и определялись напряжения и деформации в двухслойном основании.

Анализ полученных результатов крупномасштабного эксперимента позволил сделать следующие выводы:

1. При начальной приложении нагрузки (этапы 1 и 2) экспериментальные данные незначительно отличаются от теоретических. При значительном увеличении внешней нагрузки (этапы 5 и 6) теоретические решения величины дополнительных напряжений значительно превышают экспериментальных данные.

2. По итогам эксперимента следует, что основные дополнительные напряжения концентрируются в песчаной подушке и в меньшей степени в подстилающем слое из лессовой просадочной супеси.

3. Дополнительные напряжения от здания и песчаной подушки значительно меньше начального давления просадочного лессового подстилающего грунта, что свидетельствует об отсутствии необходимости уплотнения подстилающего лессовидного грунта перед устройством песчаной подушки.

4. С учетом дополнительных напряжений под подошвой экспериментального фундамента, а также по развитию дополнительных напряжений в стороны от центра фундамента можно сделать вывод о целесообразности устройства песчаных подушек не под всем

зданием, а конкретно под фундаментными лентами, как более экономичное решение двухслойных оснований.

5. При проведении крупномасштабного эксперимента показания мессдоз и тензодатчиков позволили установить размер деформированной зоны двухслойного основания (композита из песчаной подушки и подстилающего лессового грунта).

Анализируя данные, полученные как осредненные величины напряженно-деформируемого состояния двухслойного основания экспериментального здания, необходимо отметить:

1. Наибольшие величины горизонтального давления в песчаной подушке приурочены к подошве фундамента, величина этого давления составляет 0,0375 МПа с распространением в обе стороны от оси фундамента на 4,09 м. При ширине фундамента 2,7 м, ширина песчаной подушки по развитию горизонтального давления по верху составляет 8,18 м, т.е. практически равна трем ширинам подошвы фундамента.

2. В уровне подошвы песчаной подушки величина горизонтального давления составляет 0,012 МПа на расстоянии 1,63 м от оси фундамента. Таким образом, ширина песчаной подушки понизу по развитию горизонтальных давлений составляет 3,26 м, т.е. 1,2 м ширина подошвы фундамента.

3. На границе подошвы песчаной подушки со слоем лессовой твердой просадочной супесью на глубине 4 м наблюдается резкий скачок увеличения горизонтального давления с 0,012 МПа до 0,037 МПа. Объясняется этот перепад горизонтальных напряжений более плотным состоянием твердой супеси и связностью по сравнению с песчаным грунтом. С увеличением глубины до 5 м величина горизонтального давления снижается до 0,022 МПа.

4. Полученные экспериментальные данные позволяют установить напряженно-деформируемую зону двухслойного основания - композита из песчано-лессовых грунтов, а именно: по ширине у подошвы фундамента - 3ϵ (ϵ - ширина подошвы фундамента), в нижней зоне двухслойного основания - $1,2\epsilon$. При этом вертикальные напряжения по экспериментальным данным заканчиваются по подошве песчаной подушки.

Показания датчиков, позволили оценить распределение напряжения по слоям двухслойного основания. Из них следует, что наибольшие напряжения возникают непосредственно под подошвой фундамента, с увеличением глубины, они уменьшаются. Практиче-

ски, максимальное напряжение воспринимает на себя песчаная подушка, а минимальное - подстилающий слой грунтов - лессовая супесь. Все это подтверждается проведенным крупномасштабным экспериментом.

Как известно, анизотропные свойства грунтов оцениваются с помощью показателей анизотропии, которые представляют собой соотношение вертикальных и горизонтальных давлений (или величины модулей общей деформации грунтов) в горизонтальных и вертикальных направлениях.

По данным исследований величины коэффициентов анизотропии наблюдаются для различных грунтов в пределе 0,5-3,5.

Величина активного давления песчаного грунта подушки в середине ее высоты по результатам проведенного эксперимента составила 0,283 МПа. При этом величина горизонтального пассивного давления равно 0,024 МПа. Таким образом, величина коэффициента анизотропии по экспериментальным данным равна 11,6. По итогам расчета, с использованием рекомендуемой формулы величины коэффициента анизотропии составляет $0,312:2,1 = 0,15$.

Как видно из приведенных данных величины коэффициентов анизотропии по нашим экспериментальным данным и определенных теоретически отличается более чем в 10 раз. Такое стало возможным в связи с тем, что теоретические расчеты не отражают в полной мере поведения грунта под нагрузкой, также как и вертикальные напряжения в грунте по опытным данным и по теории линейно-деформируемого полупространства. Важно отметить и то обстоятельство, что при проведении крупномасштабного эксперимента песчаная подушка была выполнена под всем зданием без разрыва между лентами фундаментов. Поэтому, изменение величины горизонтального давления происходило в условиях естественного убывания, без упора в лессовую просадочную супесь. В связи с этим величины боковых давлений оказываются несколько заниженными, а коэффициенты анизотропии - завышенными. Во всяком случае, коэффициент анизотропии для лессовой супеси (на которую опирается песчаная подушка) оказывается равным $\alpha = 4$.

В связи с этим и согласно исследованиям профессора Коробовой О.А., анизотропия в значительной степени влияет на напряженно-деформированное состояние, особенно лессовых грунтов.

Крупномасштабный эксперимент заканчивался замачиванием двухслойного основания. Замачивание производится как под

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ ДВУХСЛОЙНОГО ОСНОВАНИЯ – КОМПОЗИТ ИЗ ПЕСЧАНОЙ ПОДУШКИ И ЛЕССОВОГО ГРУНТА

строящимся зданием так и под опытным штампом - фундаментом на двухслойном песчано-глинистом просадочном основании.

В проведенных экспериментах временно устанавливались марки для определения осадок поверхности грунта на расстоянии 500 мм друг от друга по горизонтали. Замер осадок, как фундамента, так и марок производился тригонометрическим нивелированием. Также производился расчет осадок фундаментов по программным комплексам. Из расчетов следует, что общая величина расчетной осадки не превышает допускаемой по нормативам 10 см и составляет 7,3 см. При этом, замеренная осадка на 6 этапе строительства зданий не превышает 1,56-1,6 см, а замачивание оснований добавило осадок всего 0,03-0,04 см. Практически уплотнение лессовой просадочной супеси привело почти к полному устранению ее просадочности.

Обращает внимание и тот факт, что осадки происходят и за пределами нагруженного участка песчаной подушки. Они всего составляет 0,05-0,39 см, но при этом зафиксировано, что осадки возникают за пределами фундамента на расстоянии до 1,5 м с каждой стороны фундамента и тем самым подтверждается правомерность применение модели линейно-деформируемого полупространства. В продолжение эксперимента по изучению применения в строительстве композитов из песчаных подушек и лессового грунта был проведен крупномасштабный натурный эксперимент по испытанию штампа - фундамента с замачиванием основания без уплотнения дна котлована, на площадке где уже проводилось испытание фундамента при строительстве 6-ти этажного гаражного комплекса на ул. Лазурная в г. Барнауле.

При устройстве песчаной подушки грунт отсыпался слоями по 20 см с уплотнением каждого слоя.

По разработанной схеме в песчаную подушку на различных этапах засыпки были установлены тензометрические датчики. С помощью датчиков проводились замеры напряжений и деформаций основания с целью последующего сравнения полученных данных с расчетными значениями, посчитанными по СНиП 2.02.01-83* «Основания зданий и сооружений».

Установка тензометрических датчиков производилась в песчаной подушке в двух плоскостях, как горизонтально, так и вертикально с шагом 0,5 метра по высоте и 2 метра по ширине с расстоянием от краев котлована по 0,5 метра.

Всего в подушке было установлено 12 тензометрических датчиков.

В подушке на поверхности грунта были установлены 12 марок для проведения съемки котлована тригонометрическим нивелированием

Общая нагрузка на основания составила 0,44 МПа. Период стабилизации между нагружениями был выдержан не менее 4 суток.

На каждом этапе испытания с помощью тензометрической аппаратуры ММТС 01-60 и тригонометрического нивелирования в котловане фиксировались изменения напряженно-деформированного состояния двухслойного основания и определялись деформации (осадки) основания.

Замачивание оснований производилось трубами $d = 50$ мм.

Величины осадки оказалось равна 1,89 см. Если учесть фактическое распределение напряжений по экспериментальным данным, то величина осадки будет еще меньше.

Для расчета просадки использовались действующие нормативные документы. При использовании в теоретических расчетах вертикальных давлений, полученных по экспериментальным данным просадка составила 1,5 см при общей величине деформации $S = 1,89 + 1,5 = 2,39$ см, т.е. значительно меньше допустимой деформацией 10 см. Это стало возможным благодаря снижению давления по экспериментальным данным и сравнительно низкими значениями величин относительной просадочности лессовой супеси. В других случаях, проверка суммарной деформации двухслойного основания - композита из песчано-лессовых просадочных грунтов основания необходимо считать обязательной.

ВЫВОДЫ

1. Чаще всего двухслойные основания – композиты из песчаной подушки и глинистых грунтов являются анизотропными основаниями, что необходимо учитывать при оценки их напряженно-деформируемого состояния. Особенно это чрезвычайно важно при опирании песчаной подушки на лессовидные просадочные грунты, когда в условиях замачивания дополнительно учет деформации за счет анизотропии может привести к увеличению суммарным деформациям (осадки, просадки) а их общая величина может превышать нормативные значения.

С другой стороны, крупномасштабный эксперимент по испытанию штампа - фундамент, выполненный без уплотнения лессовых грунтов основания показал, что расчет осадки

и просадки лучше выполнять по экспериментальным величинам действующих вертикальных давлений, а не по теоретическим расчетам по модели линейно-деформируемого полупространства.

Экспериментальные данные более точно отражают величину и характер действующих вертикальных напряжений.

Как показал проведенный эксперимент, эффект принятого решения по отказу от уплотнения лессового просадочного грунта перед устройством песчаной подушки очевиден, а это выгодно и с экономической точки зрения. Тогда возникает необходимость найти способ определения достоверных вертикальных давлений на грунт основания. Рекомендовать каждый раз проводить такие крупномасштабные эксперименты бессмысленно по понятным причинам. С нашей точки зрения необходимо вводить поправочные коэффициенты на величины давлений, определяемых теоретически, т.е. требуется провести

дополнительные исследования по определению поправочных коэффициентов и последующим применением их при проектировании оснований фундаментов.

2. Проведенные крупномасштабные эксперименты позволили более точно определять основные размеры двухслойного основания — композита из песчано-лессового грунтов, и использовать их при проектировании надежных и прочных оснований фундаментов зданий и сооружений.

Носков И.В. — к.т.н., профессор, Алтайский государственный технический университет, E-mail: noskov.56@mail.ru; **Гатилов Ю.А.** — генеральный директор ООО «Жилищная инициатива»; **Осипова М.А.** — к.г.-м.н., доцент, Алтайский государственный технический университет.

УДК 624.154.001.4

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УСИЛЕНИЯ ОСНОВАНИЙ В ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

И.В. Носков, В.Е. Ольховатенко

В статье приведены современные технологии используемые передовыми странами при реконструкции аварийных зданий и сооружений. Установлены эффективные способы усиления оснований реконструируемых и аварийных зданий в грунтовых условиях Алтайского края.

Ключевые слова: грунт, основание, фундамент, усиление, технологии усиления

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в Алтайском крае увеличиваются объемы строительных работ на объектах реконструкции зданий и сооружений с различным функциональным назначением и техническим состоянием.

При проектировании реконструкции зданий и сооружений основным этапом является проектирование оснований и фундаментов. Для гарантированного обеспечения сохранности существующей застройки, проектирование реконструкции зданий в стесненных городских условиях должно быть произведено на основе обоснованных данных исследований свойств грунтов основания и технического обследования конструкций реконструируемых и примыкающих зданий.

Анализ деформаций зданий, которые произошли в процессе реконструкции свидетельствует о несовершенстве методических подходов к проектированию оснований и

фундаментов реконструируемых и восстанавливаемых зданий, особенно в тех случаях, если грунтовая толща сложена, как правило, структурно-неустойчивыми, слабыми водонасыщенными и другими проблемными грунтами [1].

Такие виды грунтов широко распространены на значительных территориях Российской Федерации и стран СНГ. К ним относятся лессовые просадочные, набухающие, засоленные, загипсованные, слабые и сильносжимаемые водонасыщенные грунты различного генезиса (водонасыщенные супеси, суглинки и глины; морские и пресноводные илы; биогенные грунты - заторфованные, торфы и сапропели; водонасыщенные лессовые грунты; озерно-ледниковые - ленточные глины, суглинки и супеси; рыхлые пески; водонасыщенные пылеватые намывные грунты и др.).

Проектирование реконструкции сооружений на указанных грунтовых условиях свя-

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК №4-1 2013