

ОПЫТ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТОВ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВАНИЙ И СРЕДЫ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ БЕЛОРУССИИ

А.Н. Галкин¹, И.А. Красовская¹, А.И. Павловский²

¹ Витебский государственный университет имени П.М. Машерова,
210038, Беларусь, г. Витебск, Московский пр-т, 33
E-mail: galkin-alexandr@yandex.ru

² Белорусский национальный технический университет, 220013, Беларусь, г. Минск,
пр-т Независимости, 65
E-mail: aipavlovsky@mail.ru

Техногенные грунты в практике отечественного градостроительства используются на протяжении уже более полувека. Пойменные, заболоченные территории, овраги, балки, полигоны ТКО и другие «бросовые земли» являются существенным градостроительным резервом. Их освоение во многих случаях позволяет получить более компактную структуру всей городской среды, сократив при этом транспортные магистрали и сеть инженерных коммуникаций, улучшить городской ландшафт и микроклимат. При этом следует отметить, что, при освоении таких территорий часто возникают неблагоприятные гидрогеологические условия или слабые, малопрочные грунты, которые находятся под зданиями и сооружениями. Глубина залегания этих грунтов не позволяет использовать свайный фундамент или удалить их и заменить на более прочные, так как это слишком дорого и требует больших затрат материалов, труда и времени. В таких случаях эффективным способом является использование уплотненных насыпных грунтов, таких как песчано-гравийные и песчано-щебеночные подушки, которые покрывают слабые грунты и служат основным несущим слоем под фундаментами [3]. Примерами проектирования и строительства фундаментов с использованием уплотненных насыпных грунтов могут служить ледовые дворцы в городах Барановичи, Орша и Молодечно [3, 4]. В частности, в Барановичах планировалось построить ледовый дворец на территории, где ранее находились отработанные поля фильтрации ТЭЦ и прилегающая к ним земля. Во время проведения изысканий, поля фильтрации, разделенные дамбами на участки, на которые более 50 лет сбрасывались отходы производства ТЭЦ (песок, зола, шлаки, торфокрошка, известь), были затоплены. Значительная часть территории также подвергалась затоплению поверхностными водами и образованию болот. Кроме того, наличие слабозаторфованных глинистых грунтов толщиной от 0,5 до 3,9 м и слабозаторфованных мергелей толщиной от 0,7 до 3,5 м являлось дополнительным усложняющим фактором. В рамках проекта планировалось построить целый комплекс зданий, включающий в себя Ледовый дворец на 2000 мест, специализированный зал для акробатики на 360 мест, а также здания котельной, очистных сооружений для дождевых вод, резервуаров для дизельного топлива и сливного устройства. Нагрузки на фундаменты были рассчитаны в пределах от 150 до 1950 кН для вертикальной составляющей, от 5 до 55 кН для горизонтальной составляющей и от 2 до 105 кН×м для момента.

В Орше в качестве строительной площадки был выбран участок, в пределах которого расположен бывший котлован, заполненный неуплотненными насыпными грунтами с остатками фундаментов, строительным мусором и другими отходами. В ходе изысканий были обнаружены полости и пустоты глубиной до 2,3 м. Согласно архитектурному проекту, запроектировано одноэтажное здание эллипсообразной формы в плане с габаритными размерами 145,5×112,8 м с переменной высотой от 17 до 30 м из металлического каркаса. По краям ледовой арены предусмотрены двухэтажные пристройки. Под зданием и полом ледовой арены – железобетонная плита. Пролет металлических ферм над ледовой ареной составляет 78 м с шагом 6 м. Нагрузки на фундаменты проектировались: до 3235 кН – вертикальная составляющая, до 278 кН – горизонтальная составляющая, до 263 кН×м – для момента.

В Молодечно усложняющим фактором на выбранной строительной площадке послужило присутствие в несущем слое оснований на глубине 2,5–3,5 м от поверхности земли слабых суглинков мощностью до 3,0 м с модулем деформации 4–8 МПа. Конструктивная схема принималась анало-

гичной схеме ледового дворца в г. Барановичи, но в отличие от последнего с пристройкой к универсальному спортивному залу здания бассейна с элементами аквапарка с глубиной заложения фундаментов на 3 м ниже, чем глубина заложения фундаментов зала.

На всех объектах были запроектированы столбчатые фундаменты из монолитного железобетона. Основные характеристики технического решения фундаментов следующие: 1) давление по подошве фундаментов не более 0,28 МПа, оптимально – 0,25–0,27 МПа; 2) глубина заложения фундаментов не более 2,5 м, оптимально – 1,8–2,3 м; 3) насыпной грунт уплотненной песчаной подушки – песчаный грунт, состоящий из песка крупного, среднего, мелкого (согласно СТБ 943–2007) или их смеси без глинистых частиц (масса частиц менее 0,1 мм не должна превышать 10%); 4) характеристики уплотненных песчаных грунтов под фундаментами на всю их глубину должны быть не менее: $\rho = 17,4 \text{ кН/м}^3$; $c = 1,0 \text{ кПа}$; $\varphi = 34^\circ$; $E = 20 \text{ МПа}$ [3, 4].

Под подошвой фундаментов выполнена уплотненная щебеночная подготовка толщиной 0,10–0,15 м. Толщина уплотненной песчаной подушки под фундаментами составила: 5,0–7,0 м – для дворца в г. Барановичи; 1,0–5,0 м – для дворца в Орше; 1,0–2,6 м – для дворца в г. Молодечно. Мощность уплотненной обратной засыпки под полы и конструкции ледовых полей составила 2,0–2,3 м. Толщина и характеристики уплотненных подушек подбирались таким образом, чтобы обеспечить требования строительных норм в части абсолютных и относительных (неравномерных) осадок фундаментов [3]. Уплотнение песчаных подушек осуществлялось вибродинамическим методом с применением виброкатков как отечественного, так и зарубежного производства (рис. 1).



Рис. 1. Ледовый дворец с залом акробатики в г. Барановичи: а – подготовка площадки строительства, б – этап строительства; в – современный вид (по [4, 5])

Нередко при инженерной подготовке строительных площадок, устраиваемых на «бросовых землях» возникает необходимость перемещения большого количества земляных масс, и наиболее рациональным способом, утвердившимся в настоящее время, является гидронамыв грунтов. Так, использование намывных грунтов на пойменных территориях в городах Белорусского Полесья, отличающихся сложностью инженерно-геологических условий, позволило возводить здания и сооружения (при определенных нагрузках, в зависимости от геологического разреза) как на ленточных, так и свайных фундаментах (рис. 2).

Для наглядности рассмотрим опыт строительства на участке поймы р. Сож в Гомеле пяти домов (№№ 4, 11, 12, 15, 30) различной этажности и жесткости, характер и величина осадок которых

были детально изучены Е.Ф. Винокуровым и А.С. Карамышевым [1]. Основанием фундаментов на рассматриваемой территории являются намывные пески, представленные главным образом песками мелкими средней плотности мощностью до 3,5 м, подстилаемыми современными аллювиальными отложениями поймы реки. В процессе строительства в целях изучения поведения именно-намывного основания под нагрузкой, а также для уточнения несущей способности основания были установлены специальные марки и осуществлено наблюдение за осадкой во времени. Наблюдения позволили установить следующее.



Рис. 2. Строительное освоение массивов намывных песков в микрорайоне «Мельников луг» в Гомеле (по [3])

Два пятиэтажных совершенно одинаковых крупнопанельных дома №№ 11 и 12 с ленточными фундаментами построены на идентичных напластованиях пойменных отложений. Однако осадка фундамента дома № 12 оказалась в 1,5 раза больше, чем дома № 11. Вместе с тем, характер изменения осадок во времени показал, что основная осадка произошла преимущественно в период строительства и составила 80% средней осадки для дома № 11 и 55% для дома № 12. Такое различие в осадках домов объясняется наличием в основании фундамента дома № 11 плотных мелкозернистых песков, в то время как под фундаментом дома № 12 залегают пылеватые пески. Кроме того, под домом № 12 уровень грунтовых вод оказался значительно выше. После заселения осадки в обоих домах несколько возросли, и затем наступило их резкое затухание. Практически консолидация закончилась через год. Аналогичный характер протекания осадок наблюдался и у дома № 15. Особенностью этого дома является то, что по продольной оси фундамент одного угла дома опирается на пойменный мелкий песок средней плотности, а другой угол опирается на 2,5-метровую толщу намывного песка, подстилаемого толщей плотных мелких и пылеватых песков. Абсолютная величина осадки здания составила 16 мм. При этом, характер осадки фундамента дома в разных частях здания оказался совершенно одинаков, несмотря на различия в отметках залегания грунтовых вод.

Девятиэтажный крупнопанельный дом № 30 построен на самой границе надпойменной террасы и поймы, характеризующейся большой неровностью напластования грунтов, особенно в поперечном направлении дома. Это обстоятельство вызвало необходимость устройства свайного фундамента, хотя первоначальным проектом предусматривался ленточный фундамент. Дальнейшее наблюдение за осадкой дома подтвердило обоснованность таких опасений. Определенный интерес представляют наблюдения за осадкой дома № 4, специально построенного на двух разных типах фундаментов: половина дома – на ленточном фундаменте, а другая половина – на свайном. Основанием фундаментов этого дома являются те же многослойные аллювиальные отложения поймы

Сожа, представленные в основном пылеватými плотными песками с различным содержанием глинистых частиц. Осадки двух половин дома отличаются тем, что деформация ленточного фундамента началась несколько раньше, при меньших нагрузках, чем свайного фундамента. В дальнейшем характер осадок обеих половин здания оказался одинаковым. К концу заселения произошли основные деформации, составляющие 80% полной осадки, после этого деформации, медленно затухая, прекратились в течение двух месяцев. Характерным является значительное увеличение осадок середины дома и большая разница значений осадок ленточного фундамента. Причиной этого, как показали исследования [1], является более значительная величина поверхностного слоя поймы, который был удален не полностью, а также местное понижение рельефа на этом участке, способствующее аккумуляции пылеватых фракций грунта при намыве. В целом, фактические осадки жилых домов, построенных на пойменно-намывных грунтах, оказались значительно меньше допустимых для данного класса зданий [3].

Говоря о создании искусственно созданных грунтовых оснований, следует отметить и использование искусственно улучшенных естественных оснований. Эти основания в настоящее время создаются многими конструктивными методами, среди которых можно назвать вытрамбовывание котлованов и устройство грунтовых подушек, армирование грунтовых массивов буронабивными сваями, упрочнение массивов высоконапорной струйной цементацией и др. Так, например, технология высоконапорной цементации грунтов нашла применение на ряде объектов в Минске, Гомеле, Жлобине и других городах при устройстве противодиффузионных ванн, подпорных стен, усилении основания фундаментов зданий при реконструкции, прокладке подземных коммуникаций и т.д.

Одним из перспективных в Белоруссии методов искусственного улучшения грунтов оснований является комбинированный метод с применением песчано-гравийных (ПГС) и щебеночных (ЩС) свай, который заключается в сочетании глубинного уплотнения грунтов, поверхностного уплотнения и возведения грунтовой подушки, причем все эти действия производятся без перемещения грунтовых масс. Такая технология подготовки оснований одновременно улучшает как свойства грунтов, так и их работу в системе основание – фундамент [3]. Сама технология устройства геомассивов с применением ПГС и ЩС представляет собой последовательное осуществление подготовительных работ, устройства в основании тем или иным способом песчано-гравийных и щебеночных свай, отсыпки под пятно фундамента щебеночной подушки и поверхностного уплотнения основания укаткой или виброуплотнением с образованием единого сваегрунтового массива. По воспринимаемым вертикальным нагрузкам от надфундаментных конструкций рациональная область применения геомассивов из ПГС и ЩС очерчена следующим образом. Столбчатые фундаменты на песчано-гравийных и щебеночных сваях в вытрамбованных скважинах выдерживают до 5000 кН на колонну, ленточные – до 600 кН/м по обрезу стены. В буровых – до 3000 кН и до 250 кН/м и в вибросформированных скважинах – до 2500 кН и до 250 кН/м соответственно. Кроме того, на рациональную область применения геомассивов из ПГС и ЩС в вытрамбованных и буровых скважинах ограничения накладывают и грунтовые условия. Так, песчано-грунтовые сваи применяются в песчаных грунтах со степенью влажности от 0,1 до 0,8, глинах и суглинках с показателем текучести от 0,5 до 0,75 и супесях с показателем текучести от 0,25 до 1,0. Щебеночные сваи применяются в песчаных грунтах со степенью влажности от 0,1 до 0,8, глинах и суглинках с показателем текучести от 0,5 до 1,0 и супесях с показателем текучести от 0,25 до 1,0. Геомассивы из ПГС и ЩС в вибросформированных скважинах применяются в любых рыхлых песчаных грунтах [2].

Если фундамент (монолитный или сборный, столбчатый или ленточный) промышленного здания или сооружения опирается на геомассив с применением ПГС и ЩС, проектную нагрузку на грунт основания можно передать при меньших размерах подошвы фундамента за счет уплотнения основания, повышения его жесткости, прочности и уменьшения деформативности. Помимо сплошных геомассивов, создаваемых для общеплощадного укрепления грунтов, часто устраивают одиночные, или кустовые (под столбчатые фундаменты), и ленточные (под ленточные фундаменты) геомассивы [3].

Научные исследования и накопленный опыт строительства промышленных объектов подтверждают эффективность ПГС и ЩС при возведении промышленных объектов с нагрузками до 5000 кН на фундамент. Одним из ярких примеров практического применения данной технологии являются фундаменты главного производственного корпуса ОАО «Гомельстекло» и цеха ОАО «Спартак» в Гомеле [2].

Литература

1. Винокуров Е.Ф., Карамышев А.С. *Строительство на пойменно-намывных основаниях*. Минск, Вышэйшая школа, 1980. 206 с.
2. Галкин А.Н. *Инженерная геология Беларуси: в 3 ч. Ч. 1: Грунты Беларуси / под науч. ред. В.А. Королева*. Витебск, ВГУ имени П.М. Машерова, 2016. 367 с.
3. Галкин А.Н., Акулевич А.Ф., Павловский А.И., Галезник О.И. *Техногенные грунты*. Минск, Вышэйшая школа, 2020. 192 с.
4. Лях В.Н. Опыт применения фундаментов на насыпных основаниях при строительстве зданий ледовых дворцов в Республике Беларусь // *Строительная наука и техника*. 2011. № 2. С. 23–33.
5. Фотогалерея. Belarusinfo.by – Интерактивная поисковая система. URL: <https://www.belarusinfo.by/ru/poisk/7409.html> (дата обращения 19.11.2024)