

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УСТРОЙСТВА КОТЛОВАНОВ

Современное городское строительство требует интенсивного освоения подземного пространства, для чего необходимо развитие инженерного обеспечения, решение проблемы автопарковок, подземного общественного транспорта, создание дополнительных площадей и т.п. Очевидно, что эти задачи наиболее остро стоят в мегаполисах. Но именно там их решение наиболее затруднено. Существующие здания, дороги и инженерные коммуникации препятствуют сооружению новых подземных сооружений.



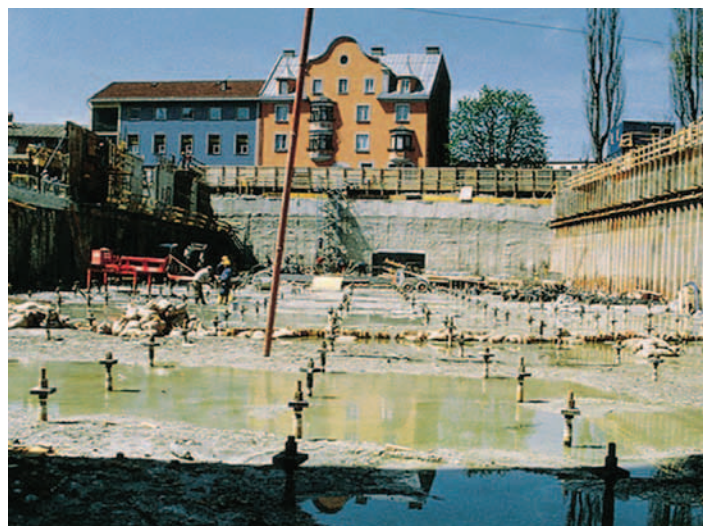
Есть несколько вариантов решения проблемы: строительство коммуникаций «закрытым способом», реконструкция с объединением нескольких коммуникаций в одном коллекторе и т.п. Однако строительство «закрытым способом» длительно и дорого, а для реконструкции с объединением коммуникаций нужно сначала построить новое и только после этого ликвидировать старое. А для строительства новых площадей (автопаркингов, торговых центров и т.п.) эти методы вообще не подходят. Поэтому проблема разработки глубоких котлованов в городах с плотной застройкой стоит очень остро. Каждый раз при про-

ектировании подземного сооружения приходится четко понимать, что последующая реконструкция его будет очень сложной и дорогостоящей процедурой. Поэтому проектируют такие сооружения так, чтобы они как можно дольше выполняли свои функции, с учетом возможности увеличения нагрузки на них, как бы «на вырост». Все это ведет к необходимости строить все более крупные подземные сооружения. В мире уже эксплуатируются подземные автостоянки общей глубиной более 40 метров. Часто они работают как перехватывающие – въехал на стоянку из-за пределов городской черты, оставил машину и сел на метро, станция кото-

рого расположена здесь же. Россия, и в первую очередь Москва, быстро приближается к строительству подобных сооружений. То есть необходимость такого строительства давно назрела, но не хватает опыта аналогичных работ.

В Москве, как и других крупных городах, территорий, свободных от застройки, нет. Значит, увеличивать сооружения можно только в глубину. А это требует устройства котлованов с вертикальными стенами. Для крепления стен котлованов могут быть использованы разные методы: «стена в грунте», шпунтовое ограждение, свайная стенка из сплошного ряда свай или разреженного или даже секущихся свай. Однако с ростом глубины котлована горизонтальная нагрузка на стену растет так быстро, что никакой разумной толщины стены не хватает для восприятия изгибающих напряжений.

Расчет показывает, что при глубине котлована 3-4 м может быть достаточно ограждения из разреженного ряда свай диаметром 300 мм с легкой деревянной забиркой. При глубине котлована 5-6 м требуется уже стена в грунте толщиной 600 мм или соответствующие буросекущиеся сваи. При глубине котлована 7-8 м даже стена в грунте толщиной 1200 мм не всегда является достаточно надежной. А если требуется котлован большей глубины? Выход был найден в дополнительных креплениях ограждения. Если в расчетную схему ограждения ввести дополнительную опору, схема меняется с консольной на балочную и максимальный момент резко уменьшается. Это решение интуитивно найдено очень давно – при раскопках глубоких ям и траншей устанавливали деревянные распорки. Когда траншея разрабатывается для тоннеля метрополитена, то при глубине 6 м и ширине 8-12 м в качестве распорок используются стальные трубы диаметром 400-600 мм. Если глубина траншеи увеличивается, распорки ставят в 2 и более рядов. А вот если увеличивается ширина, то приходится увеличивать диаметр



труб или ставить дополнительные опоры для поддержания распорок. Есть и разновидности распорного крепления – подкосы с опорой на дно котлована. Вершиной развития распорных систем стала схема крепления, известная как «up-down» (вверх и вниз) и «top-down» (сверху вниз). Суть этой системы в использовании в качестве распорок проектных перекрытий подземной части здания. Схема «вверх и вниз», при которой верхнее строение возводится одновременно с разработкой грунта в подземной части здания и строительством подземных этажей практически не применяется в нашей стране, поскольку не соответствует принятым у нас нормам безопасности. Схема «сверху вниз» уже регулярно применяется в Москве. Наиболее эффективна эта схема в небольших по площади котлованах. К явным достоинствам этой схемы относится отсутствие временных сооружений и, соответственно, за-

трат на их возведение и демонтаж. Однако разработка грунта из-под перекрытий и бетонные работы с подачей бетона и арматуры через проемы в вышележащих перекрытиях существенно снижают темпы работ и увеличивают их стоимость.

Существует и еще одна схема крепления ограждения котлованов – анкерная. Начали ее применять в горных работах как альтернативу арочной крепи для крепления сводов туннелей. В настоящее время при проходке туннелей арочная крепь практически не применяется, проходка ведется либо специализированными проходческими комплексами, либо с применением анкерной крепи. При строительстве в горах, на гидротехнических объектах также очень широко используются анкеры для закрепления откосов, как естественных склонов, так и искусственных. Накопленный опыт применения анкерной крепи позволил

использовать предварительно-напрягаемые и ненапрягаемые анкеры для укрепления ограждений котлованов в городах.

Работа такого ограждения аналогична работе заанкеренной подпорной стенки. Наиболее часто используются предварительно-напрягаемые анкеры, поскольку они позволяют предотвратить разуплотнение грунта вокруг котлована. Дело в том, что любые ограждения имеют некоторую податливость, следовательно, деформируются под нагрузкой, и грунт вокруг котлована разуплотняется. Именно из-за этого происходят осадки сооружений, находящихся вблизи котлованов. В случае применения предварительно-напрягаемых анкеров ограждение прижимается к грунту силой в десятки тонн на каждый метр еще до того, как грунт мог разуплотниться (за исключением самого верхнего участка, который работает по консольной схеме). Это

позволяет компенсировать отпор вынимаемого грунта. При расчете эта особенность преднапрягаемого крепления обычно учитывается путем назначения очень высокой, вплоть до бесконечной, жесткости для промежуточных опор, которыми являются анкера. Есть у анкерного крепления и еще один плюс – котлован совершенно свободен от всяких временных конструкций и наиболее удобен для разработки грунта и возведения сооружения.

Конечно, в случае применения анкерной крепи в городском строительстве необходимо учитывать множество факторов, кроме основного назначения. Ведь анкера располагаются за пределами котлована, и, как правило, выходят за пределы участка застройки.

Во-первых, устройство анкеров не должно разрушать существующие сооружения и инженерные коммуникации.

Во-вторых, сами анкера не должны препятствовать дальнейшему городскому строительству, в том числе подземному.

Есть и менее существенные факторы, например процедура передачи усилий с временных анкеров на постоянные конструкции и т.п.

При устройстве анкерных крепей в городах обычно не применяются постоянные анкера, т.е. анкера с расчетным сроком службы 50 лет и более. Ведь котлованы устраиваются для строительства подземных частей зданий или других сооружений, которые вполне могут сами воспринимать давление грунта. Анкеры, как и другие крепления, обычно являются временными, со сроком службы до 2 лет. Это позволяет применить более простые и менее дорогостоящие конструкции.

Для того, чтобы установленные анкера не создавали помех при дальнейшем освоении подземного пространства, анкера могут быть извлекаемой конструкции. На сегодняшний день разработано несколько типов таких конструкций, например, с обрываемыми канатами или с использованием арматурного стержня винтового профиля, который можно вывинтить из корневой части.

Опыт применения анкерных креплений котлованов в нашей стране невелик, поэтому отношение к ним настороженное. При недостатке информации обычно возникают легенды.

Такие легенды существуют и про анкера.

Наиболее распространен миф о том, что анкера «тянут» грунт и приводят к дополнительным деформациям окружающего массива. Есть и другая версия – о «ползучести» анкеров по грунту, которая приводит к образованию пустот на том месте, из которого анкера «уползли». На самом деле правильно запроектированные анкера не перемещаются в грунте на сколько-нибудь заметное расстояние ни в процессе натяжения, ни в течение нескольких месяцев. Как уже было сказано ранее, анкера «обжимают» грунтовый массив, а не тащат его за собой. В процессе первоначального создания напряжения некоторые пластические деформации существуют. Измеряются они десятками миллиметров, а критерием правильности натяжения является отсутствие прироста пластических деформаций за значительный промежуток времени. Это регламентировано нормами проектирования предварительно-напряженных анкеров.

В процессе эксплуатации анкеров, корни которых установлены в мягких (нескальных) грунтах нельзя исключить возможность дополнительных пластических деформаций. Однако значительный опыт применения анкерных креплений, в том числе и с установкой измерительной аппаратуры, говорит о том, что ни существенного падения напряжения в анкерах, ни больших перемещений их верхнего конца не наблюдается. Более того, известны случаи, когда ограждение, закрепленное анкерами, подвергалось динамическим (ударным) воздействиям значительной силы. Крепление не рассчитывается на такие нагрузки. Обычно при этом распорные системы теряют устойчивость и деформируются. А «сползания» грунтовых замков анкеров в таких случаях не зафиксировано. Чаще всего не выдерживает опорная конструкция верхнего конца анкера – прогибается опорная площадка, проскальзывает механический верхний замок анкера. И это при сверхнормативных нагрузках. Другой миф связан с якобы большой деформативностью анкерных креплений. Стержни анкеров «тянутся» на несколько сантиметров, и ограждение перемещается. На самом деле стержень действи-

тельно вытягивается, и тем больше, чем прочнее сталь тяжа. Но эта вытяжка происходит до начала работы анкера. При этом анкер включается в работу еще до того, как на ограждение начнут воздействовать нагрузки. В дальнейшем он под действием дополнительных нагрузок получает некоторое дополнительное удлинение, но оно уже измеряется миллиметрами. Анкер работает, как натянутая пружина; если бы он продолжал и дальше сильно вытягиваться, то либо не верен закон Гука, либо анкер должен оборваться.

Третий миф имеет наукообразный вид: анкеры изменяют напряженно-деформированное состояние грунтового массива и таким образом влияют на сооружения вокруг. В действительности грунтовые анкера несколько изменяют напряжения в грунтовом массиве, это неизбежно. Но устройство котлована или другой выработки в земле тоже меняет напряженно-деформированное состояние массива. Анкерные крепления перераспределяют изменения в грунте, распространяя их на значительно больший объем грунта. Это означает, что в точках грунтового массива, удаленных от выработки, появляются некоторые изменения, а в точках, приближенных к выработке, эти изменения уменьшаются. В целом это скорее плюс анкерного крепления, чем минус – величина изменения напряжений вблизи сооружения велика, и перераспределение усилий ее уменьшает, а возникновение небольших изменений напряженного состояния в окружающем массиве обычно опасности не представляет. Зона влияния анкера может быть рассчитана так же, как для сваи соответствующего диаметра и нагрузки. Таким образом, влияние анкеров практически неощутимо на расстоянии 2 метров от корневой части. Конечно, в тех случаях, когда окружающий грунтовый массив уже находится в предельно-устойчивом состоянии, и этого может быть много. Но это редкие случаи типа оползневых склонов, и проектировать там анкерные крепления – серьезная ошибка. Напротив, закрепление оползневых склонов напрягаемыми анкерами, заделанными в устойчивую часть массива – очень эффективная мера.

Таким образом, можно уверенно утверждать, что временные анкерные крепления для ограждений котлованов



являются не менее надежным решением, чем распорные системы или метод «UP-DOWN».

Конечно, важнейшей частью любого технического решения является надежность. Однако кроме надежности, существуют и другие факторы: выполнимость с надлежащим качеством и экономическая эффективность.

Все перечисленные методы при надлежащем исполнении имеют достаточную надежность. При этом ни один из них не гарантирован от риска некачественного исполнения. Простота некоторых из них – кажущаяся, и сложность других – тоже. То, что распорки видны глазом, и их можно потрогать руками, ничего не говорит о том, как они поставлены. Если они установлены поздно или с зазорами, то величина деформаций увеличится в 2-3 раза. Если соединение их с ограждением неравномерно, то самые толстые трубы не спасут положения, когда разрушится соединительный элемент. И наоборот, все анкера, вся конструкция ограждения и соединительные элементы заранее проверяются нагрузкой, превышающей расчетную, при испытании и нагружении анкеров.

То же самое и с экономической точки зрения. Сложные в изготовлении анкера стоят дороже, если считать на

1 анкер. Но распорные системы весят в десятки раз больше, и в итоге могут оказаться дороже. Метод «UP-DOWN» не предусматривает каких-либо значительных временных конструкций, однако бетонирование и разработка грунта в этих условиях значительно удорожаются.

Соответственно для каждого из методов образовалась сфера применения:

- для неглубоких котлованов в легких инженерно-геологических условиях наиболее эффективно использование системы подкосов в один ярус. При большой площади котлована возможно использование в качестве упора частей фундаментной плиты;
- для неглубоких траншей и узких котлованов наиболее эффективно использование горизонтальных распорок без промежуточных опор;
- для небольших по площади, но глубоких котлованов эффективно применение одной из версий метода «UP-DOWN»;
- для глубоких (более 6-7 м) котлованов большой площади наиболее эффективно применение грунтовых анкеров.

Если достаточно одного яруса дополнительных креплений, то стоимость устройства распорной системы из металлоконструкций не слишком велика,

а сама она не слишком усложняет разработку грунта. Это решение здесь является надежным и экономичным.

В случае, когда одного яруса креплений недостаточно, целесообразность применения металлических распорных систем резко снижается: во-первых, стоимость металлопроката сегодня весьма высока, во-вторых, значительно усложняются работы по разработке грунта и устройству постоянных конструкций в многоярусной системе распорок. Для узких котлованов (траншей) распорные системы все же могут оказаться экономически эффективными, если проект производства работ предусматривает многократное повторное использование металлоконструкций, однако это только один из вариантов.

Для котлованов глубиной более 6-7 метров метод «TOP-DOWN» очень эффективен, если площадь котлована невелика. Но если котлован велик, то этот метод резко теряет эффективность. Объясняется это тем, что интенсивность разработки грунта и укладки бетона вручную, или, как максимум, с применением малогабаритных машин невелика и для больших объектов сроки производства работ увеличиваются до неприемлемых значений. Стоимость самих работ выше, чем при высокомеханизированном производстве, и это сводит к минимуму выигрыш за счет отказа от временных конструкций.

При больших и глубоких котлованах наиболее эффективно использование анкерных систем крепления. Свободный котлован позволяет быстро и просто разрабатывать грунт, а затем и возводить постоянные конструкции. Высокие темпы строительства и возможность применения наиболее простых технологий разработки грунта и бетонирования компенсируют относительно высокие затраты на устройство анкерного крепления.

Конечно, в каждом конкретном случае решение о типе крепления должно приниматься индивидуально, с учетом многих факторов; изложенные выше соображения являются обобщением опыта разработки большого количества котлованов.

**Материал подготовлен
ГК «Промстройконтракт»**