

УДК 622.016

А.Н. Шашенко, А.Н. Роечко

**ПОДЗЕМНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО КАК ЭЛЕМЕНТ СТРУКТУРЫ
СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА**

Розглянуто особливості та перспективи освоєння підземного простору великих міст.

Рассмотрены особенности и перспективы освоения подземного пространства крупных городов.

Peculiarities and prospects of development of underground space of large cities are considered.

Стремительное увеличение объемов подземного строительства во многих странах мира вызвано рядом обстоятельств, основными из которых следует считать бурное развитие межрегиональных и межгосударственных транспортных связей, а также стремительный рост городов, являющихся административно-культурными и промышленными центрами стран и регионов.

Постоянный рост населения, дефицит городских территорий, скопление транспортных средств на улицах требуют активного использования подземного пространства для размещения предприятий городской инфраструктуры – метрополитенов, гаражей и автостоянок, транспортных и инженерных систем, зрелищных предприятий и других объектов.

Следует отметить, что надежность и долговечность подземных сооружений значительно выше, чем поверхностных. Срок службы многоэтажных зданий 100 лет, жилых домов особой капитальности – 125 лет, фруктохранилищ – 28 лет. Период эксплуатации подземных сооружений гораздо выше. Например, для тоннелей эти нормы составляют 500 лет. Известно также немало случаев, когда подземные сооружения сохранялись в течение тысячелетий. Затраты на ремонт подземных сооружений ниже, чем наземных, т.к. они не подвержены климатическим факторам. Для естественного разрушения горных пород требуются десятки и сотни тысяч лет.

Считается, что основным полезным свойством подземного пространства является их способность вмещать в себя какие-либо объекты или процессы. Однако, в отличие от остальных пространственных ресурсов, подземное пространство обладает некоторыми другими полезными характеристиками: имеет относительно стабильные климатические характеристики (температурно-влажностный режим); изолировано от разного рода поверхностных воздействий, таких как шум, вибрация, радиоактивность и т.д.; относительно герметично, а также способно удерживать тепловую и другие виды энергии. Кроме того, влияние любого объекта, расположенного под землей, на окружающую среду значительно ниже и в лучшей степени может контролироваться; подземные здания часто не требуют существенных затрат на внешнюю отделку, служат значительно дольше и требуют более низких эксплуатационных затрат, чем поверхностные; подземное пространство в ряде случаев легче осваивать, чем поверхностное, так как оно не зависит от топографии и дробления на частные участки.

Особые перспективы имеют подземные производства прецизионного приборостроения, электроники и электронной техники, при производстве которых требуются особые условия: чистота помещений, отсутствие вибрации и шумов, постоянство микроклимата. В этом смысле подземные полости оказались почти идеальной средой: уже на глубине 30 м они обеспечивают безвибрационный фон, в них очень мало "собственной" пыли, а уличная пыль в них практически не проникает.

Из сказанного следует, что в недалеком будущем под землей будут работать бесшумные, автоматизированные современные производства, хорошо освещенные, с чистым кондиционированным воздухом и условиями труда отнюдь не худшими, чем на наземных заводах.

Необходимость инновационного развития строительства подземных сооружений диктуется также ограниченностью стратегических запасов энергоносителей и питьевой воды, экологической перегрузкой окружающей среды различными отходами, проблемами наземного транспорта. Крупнейшие города находятся в состоянии кризиса из-за противоречия между ограниченностью территорий и постоянным ростом населения. Выбросы выхлопных газов автомобилей, продуктов переработки предприятий загрязняют атмосферу и наносят вред окружающей среде. В связи с этим чрезвычайно большое значение в наше время приобретает инновационная деятельность для следующих целей освоения подземного пространства:

- использование недр как эффективного ресурса для энергоснабжения, а также для вовлечения в производство отработанных подземных горных выработок;
- решение проблем развития инфраструктуры городов на основе многоцелевого использования подземных сооружений;
- создание условий для защиты людей и объектов от прямого воздействия климатических и других факторов, а также обеспечение акустической изоляции и виброустойчивости;
- строительство подземных атомных станций как одного из безопасных и перспективных направлений развития энергетики в современных условиях;
- захоронение токсичных, радиоактивных и бытовых отходов в хранилищах-могильниках, размещаемых в специально пройденных или в отработанных подземных выработках;
- создание стратегических запасов нефтепродуктов и газа;
- защита окружающей среды от отрицательного воздействия транспортных инженерных систем и потенциально опасных производств;
- создание подземных транспортных коммуникаций – метрополитенов, железных дорог, подземных скоростных трамваев, позволяющих уменьшить последствия перенаселенности больших городов, высвободить площади для жилой застройки на поверхности земли;

– формирование новой жизненной среды обитания человека на основе подземного размещения различных объектов промышленного, сельскохозяйственного и культурно-бытового назначения.

Использование подземного пространства наиболее актуально в центральных, отличающихся плотной застройкой и наиболее посещаемых центральных районах, а также в отдельных специализированных центрах и в так называемых общественно-транспортных комплексах массового посещения. При этом перспективно создание подземных сооружений, помещений и устройств, эксплуатация которых связана с кратковременным пребыванием там людей. По сравнению с наземными объектами подземные сооружения могут располагаться под существующими и проектируемыми зданиями, коммуникациями и даже под руслами рек. На пространственную организацию подземных сооружений почти не оказывает влияние рельеф, что позволяет обеспечить самые удобные условия передвижения людей и транспорта.

Особенность планировки при подземном строительстве состоит в том, что подземные сооружения не нуждаются в каких-либо разрывах между собой и в отдельных районах крупных городов иногда образуют сплошной подстилающий слой.

Однако освоение подземного пространства городов является более сложным по сравнению с методами традиционного «наземного строительства», требует специфических методов производства работ с учетом нормальной жизнедеятельности города, с характером ранее уложенных коммуникаций и оснований ранее построенных зданий. Значительное влияние на возможности развития подземных объектов, их пространственно-конструктивную структуру и технологическое оборудование оказывают конкретные горно-геологические условия.

Кроме этого, ни одна подземная конструкция на поверхности не находится в такой непосредственной зависимости от состава, строения, водно-физических, физико-механических и других свойств горных пород и состояния вмещающей среды.

В связи с этим стоимость строительства новых подземных объектов нередко в 1,5-2,0 раза превышает стоимость аналогичных наземных зданий и сооружений. Вместе с тем, область подземной урбанистики значительно расширяет во многом новые для нас понятия цены земли, цены недвижимости, комплексной градостроительной оценки территории, в которой участвуют не только предстоящие затраты на строительство на данном участке, но и ранее вложенные. Следует учитывать также ожидаемый суммарный социально-экономический эффект. Все это требует, как правило, многовариантных проектных решений.

Эффективность использования подземного пространства с точки зрения экономии энергоресурсов подтверждается данными, приводимыми западными учеными. Анализируя цифры огромных затрат на отопление современных высотных зданий они, например, отмечают, что 25-30% всей энергии, потребляемой в Канаде, расходуется на отопление и охлаждение зданий. В то же время, при эксплуатации подземных объектов энергетические затраты на 80-90% ниже, чем при эксплуатации наземных. Экономия за счет этого фактора составляет от 6 до 12 доллар/м². На заводе точного приборостроения в Канзас-Сити после перевода его под землю потребность в энергии на отопление снизилась в 3 раза, а на охлаждение – в 10 раз. Весьма близкие расчеты сделаны и европейскими специалистами. Так, по данным норвежских специалистов, максимальные значения установленной мощности в подземных спортивном зале и плавательном бассейне, сооруженных в скальном массиве, составили 61 и 44% от наземного, а расход энергии за год – 70 и 44%. Экономия тепловой энергии на существующих подземных объектах в Финляндии составляет 74% в холодильниках, 20% в плавательных бассейнах, 31% в спортивных залах. Потребление теплоэнергии в подземных складах и хранилищах более чем на 32% ниже, чем в соответствующих наземных сооружениях.

Важным элементом использования подземного пространства мегаполисов, особенно в центральных полностью застроенных районах, как показывает мировой опыт развития

больших городов, являются подземные гаражи и автостоянки. От этого фактора во многом зависит деловая и финансовая жизнь городов. К тому же необходимо отметить важное достоинство подземных гаражей: наличие в них постоянной температуры порядка $+ 10^{\circ} \text{C}$, что облегчает, например, запуск двигателя автомобиля зимой.

Бесприютные автомобили заполняют проезжие части улиц и переулков, дворы и проезды к ним. На один легковой автомобиль требуется выделить 20-25 м² площади для постоянного хранения по месту жительства и столько же для временной стоянки по месту назначения поездки. Дефицит мест для стоянки автомашин повсеместно возрастает. Расчеты показывают, что даже если принять количество автомобилей на 1000 жителей скромно в 150 единиц, то для их размещения в условиях миллионного города потребуется 670 га земли. Если же сюда добавить троллейбусы, автобусы и трамваи, получим в итоге 800-1000 га. С учетом экономической оценки земли сумма составит несколько сот миллионов гривен.

Сейчас в городах строятся, как правило, полуподземные гаражи-стоянки, занимающие под многоэтажными наземными зданиями один-два подземных яруса. К сожалению, следует отметить, что, несмотря на очевидную необходимость строительства подземных стоянок автотранспорта, число их в наших городах крайне незначительно, тогда как, например, в Японии в подземных гаражах размещаются десятки тысяч автомашин. Любопытно, что там место в гараже обходится значительно дороже, чем стоимость самого автомобиля. Однако без доказательства наличия места хранения автомобиля он продан не будет.

Таким образом можно утверждать, что окупаемость капитальных вложений в подземное строительство, по сравнению с наземными аналогами, достигается за счет экономии и рационального использования городской территории, сокращения эксплуатационных расходов и экономии топливно-энергетических ресурсов, уменьшения протяженности инженерных коммуникаций, уменьшения затрат общественно полезного времени и улучшения качества обслуживания населения в сфере транспортных (создание более удобных многоуровневых пересадочных узлов), культурно-бытовых и других видов услуг. Кроме этого, использование массивов горных пород в качестве крепи и заполнителей обеспечивает экономию строительных материалов.

Подземные сооружения позволяют также сохранить природную среду, ландшафт, рекреационные возможности, сберечь землю (особенно почву) посредством размещения подземных объектов под застроенными территориями. Широкое использование подземного пространства больших городов позволит резко – в несколько раз – снизить потребность в электроэнергии при сохранении или даже улучшении условий обитания жителей.

Приближение предприятий торговли и общественного питания, зрелищных и коммунально-бытовых объектов к участкам концентрации населения увеличивает их покупательскую способность и рентабельность эксплуатации.

Рассматривая проблему реализации планов по освоению подземного пространства можно отметить следующее.

Уровень научной, технической и технологической оснащенности строительства в различных странах мира (всего более 50) свидетельствует о том, что уже сформировались научно-технические и производственные организации, способные реализовать самые сложные проекты освоения подземного пространства.

Анализ мирового опыта освоения подземного пространства и строительства крупных подземных объектов в последние годы, позволяет отметить наличие значительных успехов в этой отрасли, достижение которых обеспечено благодаря развитию следующих направлений:

- широкое использование особенностей развития геомеханических процессов в массиве пород при строительстве подземных объектов;
- применение новых конструкций анкеров и роботов для нанесения набрызгбетона на стены и кровлю подземных объектов;
- расширение масштабов использования геомониторинга для повышения качества и безопасности подземного строительства;

– внедрение новых конструкций передвижных опалубок для возведения монолитных обделок.

Развитием этих направлений стало: разработка и внедрение прогрессивных технологий подземного строительства (прежде всего новоавстрийского и норвежского способов); создание многофункциональных и многоуровневых подземных комплексов при одновременном строительстве наземной и подземной частей; разработка технологии укрепления окружающего подземные полости породного массива путем применения тампонажа и инъекции скрепляющих растворов; внедрение новых конструкций анкеров и водонепроницаемых железобетонных тубингов; создание новых архитектурных форм подземных сооружений; осуществление геомониторинга в сочетании с комплексом мероприятий по предотвращению негативного влияния подземного строительства на поверхностные здания и сооружения.

Инновационные технологии в строительстве подземных объектов стали применяться в последние годы практически в любых геологических условиях: в крепких и мягких породах, при больших притоках воды, под акваториями и в водной среде. Кроме этого, специализированные фирмы и организации ведут активную деятельность по разработке и внедрению новых технологий подземного строительства категории Hi-Tech, основанных на принципах, резко отличающихся от ранее известных и приводящих к новым результатам, исключая вредные явления и увеличивающим эффект от их применения. Ведутся работы по созданию новых видов оборудования, машин, инструмента и средств механизации трудоемких процессов подземного строительства, созданию новых средств наблюдения и оценки поведения массива горных пород, новых видов и разновидностей геотехнических систем освоения недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых. Все это направлено на обеспечение возможности индустриального освоения подземного пространства в XXI веке в качестве новой среды обитания человека с целью решения неотложных проблем совершенствования городской инфраструктуры и транспортных коммуникаций для улучшения условий жизни людей.

Следует отметить, что наметившиеся тенденции освоения подземного пространства в полной мере имеют место в практике стран дальнего зарубежья, довольно интенсивно внедряются в России и очень медленно в Украине. Дело в том, что в практике освоения подземного пространства России и Украины строительство подземных сооружений осуществляется, в основном, с использованием достигнутого ранее передового производственного опыта и научно-технического потенциала прежних лет. Они накоплены при строительстве метрополитенов, тоннелей Байкало-Амурской магистрали, в гидротехническом строительстве, при прокладке коммунальных тоннелей для канализации, водоснабжения и размещения инженерных коммуникаций. Достаточно сказать, что с 1954 до 1991 гг. на территории бывшего СССР было построено более 500 км линий метрополитенов в 13 городах страны и специалисты из Советского Союза оказывали техническую помощь в строительстве метрополитенов в Чехословакии, Польше, Индии. Каждый год в стране возводилось по 18-20 км новых линий. В чрезвычайно сложных гидрогеологических, климатических и сейсмических условиях Байкало-Амурской магистрали было построено 11 железнодорожных тоннелей общей протяженностью почти 70 км. Было построено четыре подземные электростанции и 400 км гидротехнических и деривационных тоннелей.

В то же время новые экономические условия, наряду с использованием ранее достигнутого уровня строительства, требуют применения прогрессивных технологий и конструкций, обеспечивающих более высокое качество возводимых объектов, надежность и безопасность эксплуатации, требования промышленной безопасности и сохранности окружающей среды. Выдвинутые требования вносят в процесс создания подземного сооружения ряд особенностей и новых положений.

В городах подземное строительство осложнено обводненностью территорий, наличием большого количества инженерных коммуникаций, близостью ранее возведенных зданий и сооружений, требующих усиления при производстве подземных работ. Кроме этого, при строительстве подземных объектов в условиях плотной городской застройки, в природоохранных зонах и местах расположения памятников истории и архитектуры важным является сохранение окружающей среды, уровня и режима движения подземных вод, чистоты воздуха, почвы и воды, а также сохранение сложившейся городской инфраструктуры: зданий, подземных и наземных сооружений и коммуникаций.

При строительстве больших объемных сооружений (подземных камер, залов, комплексов, гаражей) размерами по высоте 15-20 м и ширине более 50-80 м также приходится пересекать различные по своим характеристикам и водонасыщенности грунты, требующие корректировки конструкторских решений и технологии работ в ходе постройки этих объектов.

В таких условиях при строительстве подземных сооружений различного назначения на первое место выходят следующие важные положения, определяющие особенности строительства:

- качественная оценка инженерно-геологических и гидрогеологических условий строительства до начала работ и их уточнение в процессе строительства с целью получения информации, которую не могут дать традиционные методы;

- проведение постоянного геомониторинга при строительстве для уточнения геологических условий и корректировки в случае необходимости технологии работ на основе опережающего бурения и бесскважинного контроля путем применения различных геофизических методов;

- осуществление в процессе строительных работ постоянного геодезическо-маркшейдерского мониторинга для наблюдения за состоянием земной поверхности и находящихся вблизи выполняемых работ наземных зданий и сооружений.

При строительстве заглубленных подземных сооружений котлованного типа перспективным является применение нового высокопроизводительного оборудования для возведения конструкций способом «стена в грунте» из буросекущихся свай с устройством анкерного крепления с помощью бурового оборудования, позволяющего контролировать установку анкера.

Применение защитных экранов, как средства для преодоления различных препятствий и участков со сложными гидрогеологическими условиями, также является новой технологией. Эта технология основана на принципе опережающего крепления, когда до начала проходки по контуру будущей полости создают крепь-экран, под прикрытием которого осуществляется раскрытие выработки, ведется разработка грунта и возводится обделка.

Указанные технологии требуют применения современного оборудования. К сожалению, как в Украине, так и в России применение новых технологий основано на использовании зарубежного оборудования и машин. Тенденции изготовления нового высокопроизводительного оборудования для подземных работ, наметившиеся на машиностроительных заводах бывшего СССР, были прекращены в начале 90-х годов с развалом страны. В настоящее время широко используется техника фирмы «Хайман Унтертаге Техник» (Германия), которая вместе с австрийской фирмой «Бетон-унд Моньербау» внедрила в странах СНГ новоавстрийский способ проходки тоннелей. Широко используются разрабатываемые фирмой GTA машины на подвесном монорельсе, такие, как рабочие платформы, манипуляторы, буровые системы.

Фирма GTF GmbH (Германия) производит вентиляционную и обеспыливающую технику для строительства тоннелей и подземных сооружений.

Фирма Дегусса Строительная химия (Швейцария) изготавливает современное высокотехнологичное оборудование для набрызгбетонных работ. Современные

роботизированные установки с манипуляторами позволяют контролировать и корректировать при необходимости все параметры процесса набрызг-бетонирования и получать информацию после нанесения набрызгбетона. Это дает возможность иметь всю необходимую информацию о составе нанесенного материала, объеме бетона, количестве цемента и добавок в конкретные периоды работы, а также о толщине слоя набрызгбетона, что всегда особенно важно держать под контролем.

Фирма «Херренкнехт АГ» (Германия) производит и поставляет полный спектр техники для строительства транспортных тоннелей, прокладки коммуникаций и магистральных нефте- и газопроводов во всем диапазоне инженерно-геологических условий. Кроме своей традиционной продукции для проходки в последнее время фирма стала поставлять дополнительно так называемое периферийное оборудование. Это позволяет в комплексе решать многие организационно-технические вопросы строительства подземных объектов различного назначения, обеспечивая экологически безопасное, бесшумное, быстрое и экономически выгодное строительство подземных сооружений.

Современный опыт строительства подземных сооружений вызвал также необходимость совершенствования технологии буровзрывных работ, что связано не только с необходимостью обеспечения ровного контура выработки и уменьшения перебоев и нарушенности окружающих пород, но и стремлением удовлетворения экологическим требованиям окружающей среды, снижения уровня шума и вибрации.

Широкое распространение получил динамекс – гелеобразное взрывчатое вещество (ВВ), заменившее динамит. Обладая высокой плотностью и пластичностью, динамекс характеризуется также высокой энергией разрушения и незначительной токсичностью.

Созданы эмульсионные ВВ – эмулиты, представляющие собой водно-нефтяную смесь, нечувствительную к огню и механическим воздействиям. Эмулиты обладают высокой скоростью детонации и характеризуются стабильностью свойств.

Для «гладкого взрывания» используют пластичные ВВ – гуриты, имеющие плотность 1 кг/л и скорость детонации 3 км/с.

Находят применение неэлектрические детонаторы системы, выполненные в виде пластиковых трубок диаметром 3 мм, покрытых изнутри порошкообразным детонирующим составом (0,02 г/п.м), передающим взрывную волну со скоростью 2 км/с.

Созданы различные виды неэлектрических детонаторов для нормальных климатических условий (до +50° С) и жаркого климата (до +65° С). Основные преимущества таких детонаторов в том, что они не подвержены действию блуждающих токов, статического электричества и света, могут применяться при бурении шпуров электрическими и гидравлическими агрегатами.

Разработаны детонаторы нового типа без инициирующего взрывчатого вещества, которые менее чувствительны к нагреву, открытому пламени, трению, удару и деформированию, чем традиционные детонаторы.

Результатом совершенствования буровзрывных работ при строительстве подземных сооружений стал метод разрушения горных пород сверхслабыми зарядами в непрерывном режиме ведения буровзрывных работ. Экспериментальные исследования показали, что разрушение скальных горных пород в забое выработки можно производить с помощью шпуров диаметром 10 мм и небольшой глубины (около одного метра). Заряд ВВ в каждом шпуре составлял 90 г при удельном расходе ВВ 490 г/м³.

Применение коротких шпуров малого диаметра и малых зарядов в них приводит к более точному оконтуриванию горной выработки с незначительными переборами породы, а также к минимальному нарушению приконтурного массива пород.

При обычном способе ведения буровзрывных работ в аналогичных условиях удельный расход ВВ составляет порядка 2 кг/м³, то есть в 4 раза больше, чем при предлагаемом методе. Соответственно и газообразных продуктов взрыва выделяется меньше.

Все более широкое применение в практике строительства подземных сооружений находит безвзрывная экологически чистая технология проходки, основанная на применении гидромолотов.

В настоящее время в мировой практике (в 70 странах мира) широко используется гидравлическое ударное оборудование – от ручных гидравлических отбойных молотков массой 11-25 кг до навесных гидромолотов массой от 75 до 6700 кг и энергией единичного удара от 190 до 15000 Дж.

Применение гидромолотов сопровождается меньшим образованием трещин в приконтурном массиве и сейсмическим воздействием на близрасположенные сооружения на поверхности.

Практический опыт проходки тоннелей в породах средней крепости показал, что при равной скорости проходки безвзрывная технология с использованием гидромолотов обеспечивает конечную себестоимость работ на 30 % ниже по сравнению с буровзрывным методом.

Кроме того, преимущество использования гидромолотов по сравнению с буровзрывным способом разрушения массива состоит в том, что сечение тоннеля может быть оформлено более аккуратно, с меньшим перебором, что дает существенную экономию бетона при сооружении постоянной крепи и снижение ее стоимости.

Таким образом, освоение подземного пространства крупных городов – это объективная необходимость, вызванная бурным их ростом, постоянным ростом численности населения, дефицитом городских территорий, развитием межгосударственных и межрегиональных транспортных связей.

Стремительно развивающаяся во многих странах мира индустрия подземного строительства в настоящее время обеспечена новейшими техникой и технологиями, которые позволят эффективно решать проблемы освоения подземного пространства в XXI веке. Использование подземного пространства в качестве новой среды обитания человека с целью решения неотложных проблем совершенствования городской инфраструктуры и транспортных коммуникаций позволит значительно улучшить условия жизни людей.