

УДК 624

## НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ ЗАГЛУБЛЕННЫХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

*к.т.н. Никифорова Т.Д., д.т.н. Савицкий Н.В.  
ГВУЗ «Приднепровская государственная академия  
строительства и архитектуры»*

### **Актуальность проблематики и постановка задачи исследований..**

Наше время характеризуется бурным развитием городов и обострением проблем, связанных с взаимоотношением природы и общества. Одна из этих проблем – это развитие городов на территориях, неблагоприятных с точки зрения инженерно-геологических условий, так как значительная часть территории Украины представляет сложность для развития градостроительства из-за условий рельефа.

Однако в условиях земельного дефицита сегодня именно неблагоприятные участки привлекательны для строительных компаний.

Согласно международной статистике до 80% современных оползней связано с деятельностью человека. Для стабилизации оползневых процессов необходимо выполнение противооползневых мероприятий. Одним из наиболее эффективных способов повышения устойчивости откосов и склонов является их выполаживание или создание уступчатого профиля с образованием горизонтальных площадок (берм) по высоте откоса, т.е. террасирование склона.

Для предотвращения оползневых процессов сооружаются подпорные стенки, контрбанкеты, свайные ряды и другие сооружения. Однако осуществление противооползневых мероприятий связано с привлечением значительных финансовых ресурсов.

Кроме того, сегодня остро стоят вопросы энергосбережения при строительстве и эксплуатации зданий, вопросы сохранения и рационального использования земельного фонда Украины, сохранения окружающей природной среды.

Таким образом, XX век оставил миру трудное наследие: экологический и энергетический кризисы, деградацию ландшафта под давлением неуправляемых или плохо управляемых процессов освоения окружающей среды, осуществлявшихся без заботы о сохранении ее равновесия. Все эти проблемы сделали актуальным использование для нового строительства подземного пространства или территорий, ранее считавшихся непригодных для строительства.

Перспективным и эффективным направлением в решении данных проблем является комплексное освоение подземных и наземных территорий, т.е. строительство заглубленных зданий. В таких зданиях выполняется совмещение функционального назначения конструкций заглубленных сооружений, снижение эксплуатационных затрат на обеспечение теплового комфорта в помещениях с временным или постоянным пребыванием людей.

Анализ существующего опыта строительства и эксплуатации подземных и заглубленных зданий и сооружений подтверждает положительные аспекты освоения подземного пространства, свидетельствует о высоком уровне его экономической целесообразности.

Однако, исследования в которых комплексно бы решались вопросы проектирования заглубленных зданий, недостаточно. Поэтому разработка научных основ и методов расчета конструкций заглубленных зданий с учетом внешних воздействий является важной и актуальной научно-практической задачей.

**Цель настоящих исследований** - разработка научных основ и методов расчета конструкций заглубленных зданий с учетом внешних воздействий.

**Изложение основного материала.** Среди ряда технических, социально-экономических и экологических факторов, которые влияют на целесообразность и перспективу строительства заглубленных зданий важную роль играет учет инженерно-геологических условий.

В зависимости от инженерно-геологических условий строительства рассмотрены различные конструктивные решения заглубленных зданий.

Основной характеристикой, влияющей на выбор проектных решений сооружений, размещаемых на склонах, является уклон рельефа. С целью учета влияния характеристик рельефа и других факторов на конструктивные решения сооружений, размещаемых на склонах, выделяют четыре основных группы факторов:

факторы, влияющие на размещение, строительство и функциональное использование отдельных зданий и сооружений (уклон участков, устойчивость склонов);

факторы, влияющие на организацию и осуществление всех видов городских коммуникаций – пешеходных, транспортных, инженерных (перепады высот, частота расчленения, конфигурация рельефа);

факторы, влияющие на состояние окружающей городской среды (абсолютная отметка над уровнем моря, конфигурация и крупность форм рельефа, экспозиция склонов);

факторы, влияющие на архитектурно-художественный облик города (ритмические строения рельефа, разновысотность участков, скульптурность форм).

Рассмотрены основные типы жилой застройки на склонах:

- а) индивидуальные жилые дома на склонах;
- б) заблокированные жилые дома на склонах;
- в) жилые группы террасного (ступенчатого) типа;
- г) объекты с ярусной структурой;
- д) объекты, имеющие диагональное построение плана или разреза;
- е) сгруппированные объекты;
- ж) объекты, характеризующиеся «органичным» подходом.

В качестве противооползневых заглубленных зданий могут применяться: сблокированные жилые здания террасного типа, здания с ярусами-платформами.

Современные подземные здания классифицируются по назначению, глубине заложения, условиям размещения, конструктивным решениям и освещению.

Один из важных вопросов проектирования - взаимосвязь заглубленных зданий с рельефом. Для ровного рельефа рационально проектирование полузаглубленных или обвалованных зданий с отсыпкой небольших насыпей вдоль наружных стен. На пологом (небольшом) уклоне можно полностью или частично заглубить здание в грунт, на крутом - дома проектируют в нескольких уровнях, устраивают террасные многоэтажные здания.

Заглубление пола зависит от рельефа, уровня грунтовых вод, толщины слоя обваловки в связи с теплопотерями, влияния формы обваловки на общий ландшафт местности, положения солнца для проникновения его лучей внутрь здания.

При проектировании размеров подземного здания в плане и по высоте учитывают соблюдение пропорций, которые существенно зависят от его планировки, заглубления, способа освещения, проектируемых тепловых потерь.

Наиболее сложными задачами, которые необходимо решать при строительстве заглубленных зданий являются задачи, направленные на обеспечение их устойчивости, прочности, надежности, долговечности с учетом различных воздействий окружающей среды, экономичности и экологической безопасности на всех стадиях жизненного цикла.

На сегодня существует достаточно разработанный пакет нормативных документов, регламентирующих расчет устойчивости склонов и прочностные расчеты противооползневых удерживающих конструкций.

Многие методы, широко применяемые в практике инженерных расчетов устойчивости грунтовых массивов и, в частности склонов, страдают недостаточным теоретическим обоснованием в части учета многообразных факторов, влияющих на развитие оползневого процесса, или недостаточной математической строгостью в принятых расчетных схемах. К числу таких можно отнести методы, в которых предельное равновесие грунтового массива или откоса проверяется относительно круглоцилиндрической или шаровой поверхности скольжения, построенной в грунтовом массиве различными геометрическими приемами без учета напряженно-деформированного состояния приоползневой зоны и, тем более, без учета влияния НДС оползнеудерживающей конструкции.

Научный интерес в решении задач надежности конструкций заглубленных зданий представляют аналитические и экспериментальные исследования поведения системы "заглубленное здание - грунтовой массив". Установлено, что на напряженно-деформированное состояние этой системы в значительной мере оказывают влияние жесткостные характеристики

конструкций. Все это в значительной мере влияет на составление расчетных моделей для оценки НДС железобетонных конструкций заглубленных зданий, разработку методов расчета прочности, устойчивости и трещиностойкости конструкций с учетом внешних воздействий.

Сегодня, в связи с появлением и развитием численных методов можно, используя готовые программные комплексы, достаточно точно смоделировать сложный процесс взаимодействия грунта и сооружения, а также определить напряженно-деформированное состояние грунтового массива. При этом достоверность результатов, полученных при численном моделировании, зависит от того, насколько адекватной будет созданная расчетная модель реальным условиям.

Нами сформулированы основные принципы численного моделирования работы конструкций заглубленного сооружения, взаимодействующего с грунтовым массивом, которые учитывают особенности данной задачи и, таким образом, обеспечивают адекватность расчетной модели.

Моделирование работы конструкций заглубленного сооружения включает в себя три основных этапа: выбор программного комплекса, моделирование и контроль результатов расчета.

Анализ программных комплексов показал, что расчет заглубленного сооружения, взаимодействующего с грунтовым массивом, может быть выполнен в любом программном пакете, который обеспечивает возможность решения статической задачи с учетом физической и геометрической нелинейности, имеет в составе библиотеки конечный элемент, моделирующий поведение грунтового массива согласно известным моделям прочности грунта и обеспечивает возможность задания контактных условий на границе «заглубленное сооружение – грунт».

Процесс моделирования предлагается проводить в три этапа: создание расчетной модели заглубленного сооружения; создание расчетной модели грунтового массива; моделирование поверхности контакта "заглубленное сооружение – грунт".

Как уже отмечалось ранее, возведение заглубленных зданий, особенно на склонах, позволяет решить еще одну стратегически важную проблему – энергосбережение. Поскольку почти 30% ограждающих конструкций оказываются заглубленными в грунт, потери тепловой энергии значительно уменьшаются.

На сегодня уже имеются отдельные предложения и примеры решения подобных задач. Однако исследования таких сооружений касались исключительно вопросов обеспечения несущей способности. Что касается исследований энергоэффективности, то исследования такого рода проводились исключительно для подземных зданий со стационарным тепловым режимом.

Заглубленные здания занимают промежуточное положение между наземными зданиями и подземными и характеризуются особенностями теплообмена, присущими как наземным, так и заглубленным зданиям.

Процессы тепло- и массопереноса в системе «воздушная среда заглубленного здания – наружный воздух - грунтовый массив» помимо климатических факторов, характеризующихся изменением температуры и влажностью наружного воздуха определяются геолого-геотермическими факторами к которым относятся свойства грунтов, окружающих заглубленные здания, гидрогеологические условия и температура грунтов на глубине строительства и в радиусе теплового влияния.

Исследования такого рода проводились в основном в связи с проектированием дорожных одежд в условиях сурового климата. Для решения задач проектирования заглубленных зданий такие исследования в Украине не проводились.

В проведенных нами исследованиях рассмотрены вопросы энергоэффективности заглубленных зданий. Исследовано влияние теплофизических свойств грунтов на энергоэффективность заглубленных зданий, а также проведены экспериментальные исследования теплопроводности грунтов. Разработаны технические решения, направленные на повышение энергоэффективности заглубленных зданий.

В результате расчета энергопотребления заглубленными зданиями были получены температурные поля и тепловые потоки для наиболее характерных схем расположения здания в грунтовом массиве.

Для разработки технических решений по повышению энергоэффективности заглубленных зданий были определены теплотери через ограждающие конструкции и выявлены зоны с максимальными значениями тепловых потоков через ограждающие конструкции. Получены данные о теплотериях заглубленных сооружений через вертикальные и горизонтальные ограждающие конструкции, граничащие как с наружным воздухом, так и с грунтом.

Рассмотрены различные схемы утепления заглубленных сооружений в зонах грунта с наибольшими теплотериями. Получены результаты расчета теплового потока в зависимости от схемы расположения и длины участка утепления.

Рассмотрены тепловые потери при различной толщине грунтового слоя на покрытии. Получены данные о теплотериях зданий, расположенных на склоне, когда две грани соприкасаются с грунтом.

Одной из наиболее сложных задач, которая решается при строительстве заглубленных сооружений является обеспечение их устойчивости, прочности, надежности, долговечности с учетом воздействия агрессивных сред.

Главной причиной потери эксплуатационных характеристик железобетонных конструкций заглубленных зданий является коррозия арматуры. Она, как правило, наступает в результате двух идущих параллельно процессов:

- сульфатная коррозия бетона защитного слоя;
- проникновение хлоридов.

Данные экспериментов и обследований, а также теоретический анализ свидетельствуют о том, что образование продуктов коррозии на арматуре, приводящее к растрескиванию и разрушению бетона защитного слоя, наступает через 2-4 года после начала коррозии арматуры.

Одним из путей обеспечения надежности и эффективности строительства заглубленных является исследование коррозионных воздействий окружающей среды на конструкции заглубленных зданий и разработка методологии проектирования конструкций заглубленных зданий с учетом развития коррозионных процессов в бетоне и арматуре.

Проектирование защиты строительных конструкций от коррозии предусмотрено в СНиП 2.03.11-85. Требуемая долговечность железобетона при наличии агрессивных воздействий обеспечивается первичной и вторичной защитой от коррозии. Первичная защита осуществляется путем применения коррозионно-стойких для данной среды материалов, добавок, повышающих коррозионную стойкость бетона и его защитную способность для стальной арматуры, снижением проницаемости бетона технологическими приемами и выполнением конструктивных требований (установление требований к категории трещиностойкости, ширине расчетного раскрытия трещин, толщине защитного слоя бетона). Вторичная защита от коррозии предусматривает изоляцию поверхностей сооружений от контакта с внешней средой путем организации различного вида покрытий.

Поскольку часть конструкций заглубленных зданий является практически неремонтопригодными, то на стадии проектирования конструкций заглубленных зданий необходимо учитывать развитие коррозионных процессов в материалах с учетом кинетики коррозии бетона.

Проведены исследования прочности и деформативности бетона при действии агрессивных сред. Рассмотрены вопросы долговечности железобетонных конструкций заглубленных зданий в условиях агрессивных воздействий, а также различные расчетные модели железобетонных конструкций заглубленных зданий для описания их напряженно-деформированного состояния с учетом коррозии бетона и арматуры. На основе решения оптимизационных задач по проектированию защиты конструкций заглубленных сооружений от коррозии определяются конструктивные и технологические параметры конструкций заглубленных сооружений по экономическим показателям.

Строительство заглубленных зданий сопряжено со значительными инвестициями. Однако их строительство может быть экономически выгодно с учетом: а) высоких бюджетных затрат на ликвидацию последствий оползневых процессов, выполнение необходимых защитных противооползневых мероприятий; б) низких коммерческих затрат, связанных со стоимостью земельных участков непригодных для строительства; в) сокращением эксплуатационных затрат на отопление зданий; г) низкого земельного налога.

Нами разработаны основные положения методики определения экономической эффективности строительства заглубленных зданий, выполнена оценка технико-экономического, социального и экологического эффектов строительства заглубленных зданий.

По результатам исследований созданы научные основы и методы расчета конструкций заглубленных зданий с учетом внешних воздействий, которые позволяют проектирование рациональных заглубленных зданий, удовлетворяющих требованиям надежности, комфортности и экологической безопасности.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. К инженерной защите оползнеопасных территорий// Савицкий Н.В. Кудрявцев Е.П., Никифорова Т.Д., Баташева К.В / ПДАБА, Вісник академії, №12, 2006. – Дн-ськ, ПДАБА- 2006.- С. 18 – 27.
2. Никифорова Т.Д., Куличенко И.И., Савицкий Н.В. Методологические подходы к расчету и проектированию конструкций заглубленных зданий с учетом внешних воздействий// Сб. научн. тр. ПГАСА: № 37. – Дн-ск: ПГАСА, 2006. – С. 331-335.
3. Особенности расчета конструкций заглубленных сооружений / Савицкий Н.В., Гуслистая А.Э., Куличенко И.И., Никифорова Т.Д. // Міжвід. науково-техн. зб. наук. праць „Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону”. Вип. 62, том 1 - Київ, НДІБК 2005. - С. 273-277.
4. Розрахунок конструкцій заглиблених споруд з урахуванням технології їхнього зведення. / Гуслиста Г.Е., Нікіфорова Т.Д., Савицький М.В./ПДАБА, Вісник академії, № 6, 2006 р.
5. Гуслиста Г.Е., Нікіфорова Т.Д., Савицький М.В. Розв'язання тестових задач взаємодії конструкцій з ґрунтовим масивом в ПК" Ліра" // Сб. научн. тр. ПГАСА. Вып. 35. Часть 1 - Дн-ск: ПГАСА, 2005.- С. 177-182.
6. Никифорова Т.Д., Куличенко И.И., Савицкий Н.В. Методика и результаты экспериментальных исследований теплофизических характеристик грунтов // Сб. научн. тр. ПГАСА: № 47.– Дн-ск: ПГАСА, 2008. – С. 416-422.
7. Инженерная методика расчета прочности и деформаций железобетонных конструкций заглубленных зданий с учетом сульфатной коррозии бетона./Никифорова Т.Д, Савицкий Н.В., Матюшенко И.Н., Бардах А.Ю.,Назаренко А.О./ Сб. научн. трудов. Вып.№56 – Дн-вск,ПГАСА, 2010-с.299-305.
8. Никифорова Т.Д., Савицкий Н.В., Арбузова О.А.Учет кинетики сульфатной коррозии бетона при проектировании заглубленных зданий // Сб. науч. трудов. Вып.№50. – Дн-вск., ПГАСА, 2009.- С.389-397.
9. Экономическая эффективность прогнозирования долговечности бетона и железобетона / Савицкий Н.В., Матюшенко И.Н., Никифорова Т.Д., Шляхов К.В. // Сб. научн. тр. ПГАСА: № 47. – Дн-ск: ПГАСА, 2008. – С. 532 – 537.