

Решив первое уравнение (5) и уравнение (6) относительно порового давления P и далее, относительно функции Ф, найдем общее решение (3) в виде (7):

$$\left. \begin{aligned} U^* &= \frac{\partial \Phi^*}{\partial r} - \frac{\partial^2 F^*}{\partial r \partial z}; \\ W^* &= \frac{\partial \Phi^*}{\partial z} + \frac{\partial^2 F^*}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial F^*}{\partial r}; \\ (\lambda + 2G)\Delta \Phi^* &= \frac{1}{\beta} P^* - \rho \cdot \omega^2 \cdot \Phi^*; \\ G\Delta F^* &= -\rho \cdot \omega^2 \cdot F^*; \\ \Delta \left[ \frac{3c_V P^*}{\beta(3\lambda + 2G)} - i \cdot \omega \cdot \Phi^* \right] &= 0; \\ \Delta \left[ \frac{3c_V(\lambda + 2G)}{3\lambda + 2G} \Delta \Phi^* + \frac{3\rho \cdot c_V}{3\lambda + 2G} \cdot \omega^2 \cdot \Phi^* - i \cdot \omega \cdot \Phi^* \right] &= 0; \\ \Delta \left[ \frac{3c_V(\lambda + 2G)}{3\lambda + 2G} \Delta P^* + \frac{3\rho \cdot c_V}{3\lambda + 2G} \cdot \omega^2 \cdot P^* - i \cdot \omega \cdot P^* \right] &= 0; \\ \sigma_{zz}^* &= \left( \lambda \Delta + 2G \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \Phi^* + 2G \left[ \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \right) \right] F^* - \frac{1}{\beta} P^*; \\ \sigma_{rr}^* &= \left( \lambda \Delta + 2G \frac{\partial^2}{\partial r^2} \right) \Phi^* - 2G \frac{\partial^3 F^*}{\partial r^2 \partial z} - \frac{1}{\beta} P^*; \\ \sigma_{\theta\theta}^* &= \left( \lambda \Delta + 2G \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \right) \Phi^* - 2G \frac{1}{r} \frac{\partial^2 F^*}{\partial r \partial z} - \frac{1}{\beta} P^*; \\ \tau_{rz}^* &= 2G \frac{\partial^2 \Phi^*}{\partial r \partial z} + G \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\partial^2 F^*}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial F^*}{\partial r} - \frac{\partial^2 F^*}{\partial z^2} \right). \end{aligned} \right\}$$

При этом общее решение системы уравнений (1) имеет вид

$$\left. \begin{aligned} U &= U^* e^{i\omega t}; \\ W &= W^* e^{i\omega t}; \\ \varepsilon_z &= \varepsilon_z^* e^{i\omega t}; \\ \varepsilon_r &= \varepsilon_r^* e^{i\omega t}; \\ \varepsilon_\theta &= \varepsilon_\theta^* e^{i\omega t}; \\ \gamma_{rz} &= \gamma_{rz}^* e^{i\omega t}; \\ \sigma_{zz} &= \sigma_{zz}^* e^{i\omega t}; \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{rr} &= \sigma_{rr}^* e^{i\omega t}; \\ \sigma_{\theta\theta} &= \sigma_{\theta\theta}^* e^{i\omega t}; \\ \tau_{rz} &= \tau_{rz}^* e^{i\omega t} \end{aligned} \right)$$

**Выводы.** Системы уравнений (7) и (8) полностью описывают напряженно-деформированное состояние водонасыщенной весомой упругой среды при изменяющейся по гармоническому закону внешней нагрузке после завершения переходных процессов, и позволяет в рамках указанной модели строить точные общие решения. При этом для получения частных решений к равенствам (7) и (8) следует присоединить начальные и граничные условия [2, 5, 6, 7, 8]. Приведенный алгоритм расчета может найти практическое применение при оценке напряженно-деформированного состояния водонасыщенных оснований, испытывающих динамические нагрузки.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Зарецкий Ю.К. Лекции по современной механике грунтов. - Ростов на Дону. - 608 с.
2. Зарецкий Ю.К. Теория консолидации грунтов. - М.: Наука. - 270 с.
3. Шаповал В.Г. Прогноз осадок и кренов фундаментов на пылевато-глинистом основании, находящихся под воздействием статической и циклической нагрузки. Докторская диссертация, рукопись - Дн-ск, 1996.
4. Корн Г. и Корн Т. Справочник по математике. - М.: Наука, 1974.-840 с.
5. Тимошенко С.П., Гудыр Дж. Теория упругости. - М.: Наука, 1975.-576 с.
6. Новацкий В. Теория упругости. - М.: Мир, - 1975. - 872 с.
7. Подстригач Я. С., Ломакин В.А., Коляно Ю.М. Термоупругость тел неоднородной структуры. -М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984- 368 с.
8. Флорин В.А. Основы механики грунтов, т. 2. - Л.-М.: Гостройиздат, 1961. - 543 с.

УДК 624.131.53

#### МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАСЧЕТУ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ КОНСТРУКЦИЙ ЗАГЛУБЛЕННЫХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Т.Д. Никифорова, к.т.н., доц., И.И. Куличенко\*, инж.,  
Н.В. Савицкий, д.т.н., проф.

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры  
\*Днепропетровский городской совет

#### Актуальность темы и постановка задач исследования.

Существующие проблемы эффективного использования и сохранения земельного фонда Украины; нового строительства в условиях ограниченных возможностей по расширению территории больших городов; использования

непригодных для наземной застройки территорий со сложными инженерно-геологическими условиями; энергосбережения при строительстве и эксплуатации зданий; сохранения окружающей природной среды тесно связаны с поиском рациональных форм зданий и сооружений и способов их размещения в окружающей природной среде, разработкой рациональных типов конструкций, с учетом требований надежности, коррозионной стойкости, повышенной энергоэффективности. Таким образом, тема исследований, в которых решаются вопросы обеспечения устойчивости, прочности, надежности, экологической безопасности заглубленных зданий и экономической их эффективности направлена на решение актуальных проблем современной строительной отрасли.

**Целью** работы является разработка методологии расчета конструкций заглубленных зданий с учетом механических, физических и химических воздействий внешней среды. Исходя из состояния вопроса, определены цель и задачи исследований.

В работе поставлены следующие задачи:

- 1) совершенствование расчета устойчивости, прочности и трещиностойкости железобетонных конструкций заглубленных зданий с учетом взаимодействия с окружающим грунтом;
- 2) исследование теплофизических характеристик грунтов и разработка принципов расчета тепловых потерь заглубленных зданий;
- 3) исследование энергоэффективности заглубленных зданий;
- 4) исследование коррозионных воздействий окружающей среды на конструкции заглубленных зданий и разработка методологии расчета с учетом развития коррозионных процессов в бетоне и арматуре;
- 5) исследование радиационных воздействий естественных радионуклидов в помещениях заглубленных зданий и разработка методов расчета защиты от ионизирующих воздействий с учетом допустимого риска;
- 6) исследование технико-экономической эффективности заглубленных зданий и оценка экономического, социального и экологического эффектов строительства заглубленных зданий с учетом внешних воздействий.

#### **Изложение основного материала.**

Большая часть территории Украины имеет холмистый рельеф, характерный для многих крупных городов – Киева, Днепропетровска, Донецка, Харькова, Полтавы и др. В предгорьях Карпат расположены Черновцы, Львов, Ужгород, Каменец-Подольский, в горах Крыма – Севастополь, Ялта, Алушта и др. Наличие балочных и балочно-овражных образований, особенно в центральных частях городов, наличие территорий, неблагоприятных с точки зрения инженерно-геологических условий, попавших в городскую застройку, представляют большую сложность для развития градостроительства.

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

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.

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.

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

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 оползневой системы, 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 грунтовой массе различными геометрическими приемами без учета напряженно-деформированного состояния приоползневой зоны и, тем более, без учета влияния НДС оползнеустойчивающей 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.

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 исследованиях рассматриваются вопросы энергоэффективности заглубленных зданий. Исследуется влияние теплофизических свойств грунтов на энергоэффективность заглубленных зданий, а также проведены экспериментальные исследования теплопроводности грунтов. Разрабатываются технические решения, направленные на повышение энергоэффективности заглубленных зданий.

Железобетонные конструкции заглубленных зданий подвержены действию агрессивных сред. 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.

Проводятся исследования прочности и деформативности бетона при действии агрессивных сред. Рассматриваются 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.

Так как в помещениях заглубленных зданий предусматривается временное или постоянное пребывание людей, то возникает проблема обеспечения обоснованного уровня и методов расчета защиты от ионизирующих воздействий естественных радионуклидов в помещениях заглубленных зданий с учетом допустимого риска.

Ионизирующая радиация является естественным компонентом среды проживания человека. Главным источником поступления в воздух помещений заглубленных зданий естественных радиоактивных веществ являются горные породы. Наиболее весомым по радиационной опасности для человека из всех известных естественных радионуклидов является радиоактивный газ - радон, который выделяется поверхностным пластом Земли.

Выполняются экспериментальные исследования радонопоступления из грунтов в воздух помещений заглубленных зданий; исследования эффективности технических методов защиты от радонопоступления с учетом скорости эсхалации радона и кратности воздухообмена помещений заглубленных зданий. На основании полученных результатов исследований разрабатываются и выполняется оптимизация методов защиты от радонопоступления с учетом уровня радиационного риска.

По результатам исследований, разрабатываются основные положения методики определения экономической эффективности строительства заглубленных зданий, выполняется оценка технико-экономического, социального и экологического эффектов строительства заглубленных зданий с учетом внешних воздействий.

#### **Выводы.**

1. Выявлены наиболее значимые факторы и воздействия, которые необходимо учитывать при расчете и проектировании заглубленных сооружений, а именно: механические воздействия окружающего грунта, воздействие нестационарного режима теплопередачи; коррозионные воздействия окружающей агрессивной среды, радиационное воздействие естественных радионуклидов, преимущественно в виде радона.

2. На основании проводимых исследований создаются теоретические основы и методы расчета конструкций заглубленных зданий с учетом внешних воздействий (механических, физических и химических), а именно: расчет прочности устойчивости и трещиностойкости железобетонных конструкций заглубленных зданий с учетом взаимодействия с окружающим грунтом; расчет тепловых потерь заглубленных зданий; расчет железобетонных конструкций заглубленных зданий с учетом развития коррозионных процессов в бетоне и арматуре; расчет радиационных воздействий естественных радионуклидов.

3. На основании выявления закономерностей взаимодействия конструкций заглубленных зданий с окружающей средой, возможно создание рациональных заглубленных зданий, удовлетворяющих требованиям надежности, комфортности и экологической безопасности.

УДК 624.012

#### ВОПРОСЫ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ "СТАРОГО И "НОВОГО" (РЕМОНТНОГО) БЕТОНА В ОТРЕМОНТИРОВАННОМ ИЗГИБАЕМОМ ИЛИ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТОМ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОМ ЭЛЕМЕНТЕ

*А.С. Носов асп., Л.А. Кудряшов асп., Р.О. Красновский к.т.н.  
ЗАО "Институт "Оргэнергострой", г. Москва, Россия*

В настоящее время эксплуатируется большое количество зданий и сооружений, нуждающихся в ремонте или реконструкции. Основной причиной снижения несущей способности железобетонных конструкций является коррозия арматуры и/или разрушение сжатой зоны бетона в результате влияния агрессивных сред и/или силового воздействия.

В последнем случае при ремонте и реконструкции возникает необходимость в удалении разрушенного бетона и замене его новым (ремонтным) бетоном.

Особенность реконструкции, при этом, состоит в том, что ремонтируемое сооружение или его элементы, как правило, находятся в нагруженном состоянии, т.к. как на него продолжает действовать постоянная нагрузка от собственного веса. Кроме того, механические характеристики старого и нового бетонов могут значительно различаться.

Механические (прочностные и деформационные) характеристики бетона при сжатии определяются его полной (с нисходящей ветвью) диаграммой деформирования (Рис. 1).

Чем нисходящая ветвь длиннее, тем большими пластическими свойствами обладает бетон данного состава.

Эти условия необходимо учитывать при определении несущей способности усиленного железобетонного элемента.

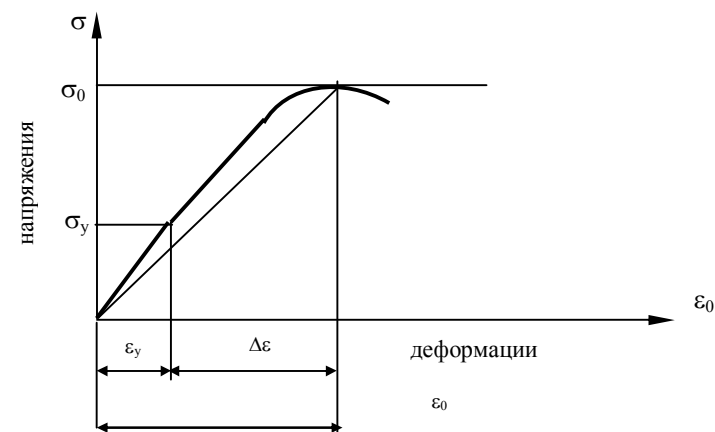


Рис. 1 Полная (с нисходящей ветвью) диаграмма деформирования.

Усиление железобетонных конструкций с путем замены разрушенного бетона сжатой зоны новым ремонтным бетоном имеет смысл в тех случаях, когда бетон и арматура продолжают работать в упругой стадии.

Особенность определения несущей способности усиленного железобетонного сечения, состоящего из двух видов бетона, состоит в том, при расчете по СНиП 2.03.01-84\* [1], принимается, что сечение находится в предельном состоянии. Это напряженное состояние достигается к моменту разрушения железобетонного элемента, когда арматура и бетон находятся в предельном (пластическом) состоянии.

В эксплуатационной стадии железобетонные конструкции нагружены так, что бетон и арматура работают в упругой стадии. Подтверждением того, что железобетонная конструкция продолжает работать в упругой стадии в соответствии с главой 6 СНиП 2.03.01-84\* [2] служит отсутствие прогибов, превышающих расчетные, и раскрытие трещин превышающие допустимые значения. Это, как правило, устанавливается предварительно проведенным обследованием.

В настоящее время подготовлен к выпуску Свод правил СП 52-101-03 [2] в котором железобетонные элементы рассчитываются по нелинейной деформационной модели, с использованием диаграммы состояния бетона (полной диаграммы деформирования).

В соответствии с главой 2 СП 52-101-03 [2] модуль упругости бетона при построении диаграммы состояния принимают в зависимости от класса бетона, а значение предельных относительных деформаций зависят только от длительности нагружения. Однако, известны исследования, полной диаграммы деформирования цементного камня, мелкозернистого бетона и