

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ НАГРУЗКАМ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ИЗ КЕРАМЗИТОБЕТОНА**

### **Введение**

Легкие конструкционные бетоны, включая керамзитобетон, имеют множество преимуществ по сравнению с обычными тяжелыми бетонами. Они обладают меньшим весом, более высокой прочностью на сжатие, улучшенными теплоизоляционными и звукоизоляционными свойствами, лучшим сцеплением с арматурой, большей устойчивостью к микротрещинам. В Беларуси керамзит широко используется в качестве заполнителя для легкого бетона благодаря его высокой прочности на сжатие и наличию множества замкнутых пор.

Исследование применения легких бетонов в Беларуси заслуживает особого внимания по нескольким причинам. Во-первых, уникальные геологические условия и доступность качественного керамзита создают благоприятные условия для производства высокопрочного и экологически чистого легкого бетона. Во-вторых, применение передовых технологий на местных предприятиях позволяет получать бетон с оптимальными характеристиками, что делает его эффективным и долговечным материалом для строительства в условиях переменного климата Беларуси.

### **Применение легких бетонов с заполнителем из керамзита в строительстве**

Лёгкий бетон, включая керамзитобетон, имеет ряд конструктивных особенностей, которые делают его привлекательным материалом для разнообразных проектов. Он часто используется для возведения несущих стен, колонн и перекрытий, что позволяет уменьшить вес здания, снижая нагрузку на фундамент и грунт, а также сократить затраты на материалы. Лёгкий бетон обладает отличными теплоизоляционными свойствами, что делает его подходящим для внешних стен и фасадов, а также для производства теплоизоляционных панелей, устанавливаемых на внешние стены зданий, улучшая их энергоэффективность. Пористая структура лёгкого бетона обеспечивает высокую звукоизоляцию, что делает его идеальным для внутренних перегородок в многоквартирных домах и офисных зданиях, создавая комфортную акустическую среду и снижая уровень шума между помещениями. Лёгкий бетон используется и для строительства шумозащитных экранов вдоль дорог и железнодорожных путей, защищая жилые районы от транспортного шума. Благодаря своей негорючей природе лёгкий бетон применяется в конструкциях, где важна высокая огнестойкость, таких как противопожарные перегородки, обеспечивающие безопасность здания и препятствующие распространению огня, и огнезащитные покрытия для стальных конструкций, продлевающие их устойчивость к высокотемпературным воздействиям. Лёгкий бетон обладает высокой устойчивостью к влаге и морозу, что позволяет использовать его в наружных стенах, где он хорошо противостоит циклам замораживания и оттаивания, увеличивая долговечность наружных стен и фасадов, а также в гидротехнических сооружениях,

обеспечивая их долговечность и устойчивость к водной эрозии. Лёгкий бетон легко поддаётся обработке, что упрощает процесс строительства: элементы из лёгкого бетона проще монтировать и транспортировать, что ускоряет строительные работы, и он легко режется и сверлится, что облегчает прокладку коммуникаций и установку различных инженерных систем. Лёгкий бетон, особенно на основе натуральных материалов, таких как керамзит, является экологически чистым материалом, что снижает углеродный след строительства и не выделяет вредных веществ, делая его безопасным для использования в жилых и общественных зданиях. Примеры конструкций с использованием лёгкого бетона включают жилые дома и коттеджи, где лёгкий бетон используется для строительства стен и перекрытий, коммерческие здания с лёгким бетоном в перегородках и фасадных панелях, инфраструктурные объекты, такие как шумозащитные экраны и мосты, и промышленные здания с противопожарными перегородками и покрытиями. Эти конструкционные особенности делают лёгкий бетон универсальным материалом для различных видов строительства, обеспечивая сочетание прочности, долговечности и энергоэффективности.

### **Существующие здания из легких бетонов**

Музей Гуггенхайма [1], признанный одним из самых представительных произведений архитектуры конца XX-го века, является шедевром одного из ведущих современных американских архитекторов Фрэнк Гени. Чтобы снизить вес конструкций из-за особых условий грунта, плиты перекрытия были отлиты с использованием легкого бетона. Система сама по себе легкая, но использование керамзита в бетоне позволило снизить общий вес примерно на 30 %.

Чтобы спроектировать эту драгоценную жемчужину испанского города Бильбао, проектировщикам пришлось столкнуться с огромной проблемой – низким качеством почвы на берегу реки Нервион, которая в основном состоит из промышленных отходов, накопившихся за десятилетия сталелитейного производства. Вес гигантского сооружения музея должен был быть максимально уменьшенным. Одним из наиболее важных принятых мер был выбор сверхлегкой конструкции перекрытия, выполненной из гофрированного листа оцинкованной стали, соединенного с бетонной плитой толщиной 60–80 мм.

Церковь Снарейя [1], расположенная недалеко от Осло, представляет собой особый архитектурный облик церкви, построенной с использованием легкого бетона. Церковь была построена в 1968 году. Причиной применения легких бетонов была задумка архитектора, который хотел использовать бетон в качестве строительного материала для получения однородного внешнего вида на больших поверхностях в сочетании с относительно большими пролетами, теплоизоляционными свойствами и малым собственным весом, что сделало легкий бетон очень подходящим для этих целей. Архитектурной особенностью церкви является то, что она расположена на равнинной местности, но интегрирована в местном скалистом утесе. Вход был расположен на вершине скалистого утеса, а высокие стены церкви были изогнуты вниз, к равнинным окрестностям. Все стены состоят из частей кривых и прямых линий, разделенных окнами по всей высоте, что придает особое освещение внутри церкви.

Расположенный в городе Тромсе, в окружении гор Тромсдальстинден, Полярный морской собор [1], благодаря своей особой архитектуре является

одной из самых известных туристических достопримечательностей северной части Норвегии. Собор был построен в середине шестидесятых годов. Специальная крыша и основная конструкция выполнены из легкого бетона. Самой выдающейся особенностью здания является наклонная крыша, состоящая из легких бетонных секций, что позволило удовлетворить важные требования к изоляции и снизить вес конструкции. Использование легкого бетона позволило снизить нагрузку на конструкцию примерно на 50 % по сравнению с обычной ребристой конструкцией с внутренней изоляцией. Была достигнута высокая степень изоляции без тепловых мостиков. Эта альтернатива привела к значительной экономии средств.

### **Сопротивление срезу железобетонных балок из керамзитобетона**

Сопротивления срезу железобетонных балок зависит от различных конструктивных параметров, включая геометрию сечения, тип нагрузки и характеристики материалов. Существующие модели учитывают данные параметры по-разному, что приводит к использованию различных подходов и уравнений для определения сопротивления срезу в современных строительных нормах.

Для изучения характера поведения и причин разрушения железобетонных балок при срезе было выполнено большое число экспериментальных отечественных и зарубежных исследований. Согласно полученным экспериментальным данным, прочность на срез однопролетных разрезных балок зависит от прочности бетона на сжатие, коэффициента продольного армирования, отношения пролета среза к рабочей высоте балки ( $a/d$ ) и размера поперечного сечения балки. Для конструкций с различным типом армирования и выполненных из любых видов бетона, величина данных составляющих и их вклад в сопротивление срезу может изменяться. В частности, механизм сопротивления срезу начинает меняться в зависимости от  $a/d$ .

Несмотря на большое количество проведенных исследований в области сопротивления срезу железобетонных конструкций, недостаточно внимания уделялось балкам из легких бетонов. Ранние эксперименты показывают, что их сопротивление срезу обычно ниже, чем у конструкций из обычного бетона. В связи с этим в нормативной литературе предлагаются дополнительные понижающие коэффициенты и ограничения для учета различий в физико-механических характеристиках легких бетонов.

Большинство этих коэффициентов связаны с изменением плотности легкого бетона и, в меньшей степени, с его составом. Однако такие ограничения могут недооценивать реальные характеристики легкого бетона и требуют дополнительного анализа. Появление новых заполнителей и улучшение технологий производства увеличивают необходимость дальнейших исследований сопротивления срезу конструкций из легких бетонов.

Ю. Е. Корнилович [2] в своих исследованиях показал, что главным фактором прочности бетона является активность вяжущих, выражаемая в виде показателей их адгезионных и когезионных свойств. На основании опытов Ю. Е. Корнилович и Ю. Д. Нациевский делают вывод, «... что разрушение легкого бетона имеет одну стадию и происходит вследствие одновременного, а не последовательного разрушения цементного камня и заполнителей».

Авторами Keun-Hyeok Yang, Jae-II Sim, Byong-Jeong Choi, and Eun-Taik Lee [3] был сделан вывод, что максимальный размер заполнителя практически не влияет на нормированную прочность бетона на срез при наклонном растрескивании. Однако предельная прочность по наклонным сечениям увеличивалась с увеличением размера заполнителя, указывая на то, что скорость увеличения была ниже в балках из легких бетонов, чем в балках из бетона с нормальным весом.

### **Заключение**

Анализ экспериментальных данных показывает, что тип бетона, в частности вид используемого заполнителя, оказывает значительное влияние на формирование трещин и разрушение железобетонных балок. Балки из легких бетонов часто разрушаются с образованием трещин с шероховатыми краями, проходящих через цементный камень и заполнитель. Такие балки, особенно без поперечного армирования, склонны к хрупкому разрушению вдоль сжатой бетонной полосы. Использование поперечной арматуры существенно повышает сопротивление срезу железобетонных балок, однако данное утверждение требует дополнительного исследования через проведение натурных экспериментов.

### **Список цитированных источников**

1. Lightweight Aggregate Concrete. Part 3. Case studies. *fib* Bulletin No. 08, 2000, 61 p.
2. Корнилович, Ю. Е. О формуле прочности легких бетонов / Ю. Е. Корнилович, Ю. Д. Нациевский // Технология легких бетонов на пористых заполнителях и их применение в строительстве. – М. : Стройиздат, 1966. – С. 90–97.
3. Effect of aggregate size on shear behavior of lightweight concrete continuous slender beams / K.-H. Yang [et al.]. – Michigan : ACI Structural Journal, September 1, 2011. – P. 501–509.

УДК 624.012.35(043.3)

*Ткачук И. В.*

*Научный руководитель: к. э. н., доцент Кочурко А. Н.*

## **СОПОСТАВЛЕНИЕ СТОИМОСТИ ВАРИАНТОВ ПРИМЕНЕНИЯ ТРАДИЦИОННЫХ И ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОНТАЖА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК**

### **Введение**

Балки используются в строительстве как несущие элементы, обеспечивающие стабильность и прочность конструкции. Они могут быть изготовлены из различных материалов: железобетон, металл, древесина.

Современный строительный рынок характеризуется внедрением новых технологий, которые направлены на улучшение характеристик балок и снижение затрат:

1. Применение 3D-печати позволяет создавать балки нестандартных форм, что расширяет возможности архитектурного дизайна.
2. Инновационные материалы, такие как ультралегкий бетон или композитные материалы, улучшающие прочностные характеристики и уменьшающие вес конструкций.