

2. Байбурин, А. Х. Влияние качества строительства на эксплуатационную надежность крупнопанельных зданий / А. Х. Байбурин // Жилищное строительство. – 2006. – № 7. – С. 5–6.
3. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-43-2006 – Минск. : МСиА РБ, 2007. – 32 с.

УДК 624.012.4-183.4

*Кузьмич Д. Н.*

*Научный руководитель: к. т. н., доцент Кривицкий П. В.*

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ**

Развитие капитального строительства во всем мире тесно связано с задачами повышения эффективности строительного производства, снижения стоимости и трудоемкости технологических процессов, экономного использования материальных и энергетических ресурсов, применения новых прогрессивных материалов и конструкций.

Опыт применения в СССР в 70–80-х годах легкого бетона в сборных большепролетных несущих конструкциях зданий различного назначения, где существенную долю от расчетной нагрузки имеет их собственная масса, весьма эффективно реализовано в следующих видов конструкций промышленных и гражданских зданий: предварительно напряженные тонкостенные ребристые плиты пролетом  $3 \times 18$  м, панели-оболочки типа КЖС пролетом 18, 24 и 36 м из керамзитобетона класса по прочности при сжатии В30 для строительства промзданий в России (г. Липецк, г. Череповец); динакоры – тонкостенные элементы покрытий коробчатого сечения пролетом до 40 м. из керамзитобетона класса В30 для общественных зданий (г. Москва).

В гражданском строительстве бывшего СССР из легкого бетона возведены здания в Армении, Узбекистане и Таджикистане. Использовался в основном керамзитобетон, шлакопемзобетон, бетон на природных пористых заполнителях классов по прочности при сжатии В3,5-В25. Наиболее распространенными конструкциями, применяемыми в жилищном и гражданском строительстве, являются многопустотные панели перекрытий и ребристые плиты покрытия. На полигонах заводов ЖБК изготавливались многопустотные панели и ребристые плиты из керамзитобетона марки 200 объемным весом  $1600 \text{ кг/м}^3$ . Проведенные в НИИЖБи совместно с рядом других институтов испытания предварительно напряженных керамзитобетонных панелей с круглыми (размеры панелей  $6,2 \times 1,2 \times 0,22$  м) и овальными пустотами (размеры панелей  $6,2 \times 0,76 \times 0,22$  м) марки 200, объемным весом  $1650 \text{ кг/м}^3$  показали, что при замене для типовых настилов перекрытий тяжелого бетона легким, той же марки, конструкции сохранили проектную несущую способность. Жесткость керамзитобетона отвечала нормативным требованиям.

В информационных материалах СЕВ-FIB [1] приведена информация об эффективности использования легких бетонов в достаточно больших объемах в США, странах западной Европы, Австралии в конструкциях вертикальных рам, преднапряженных стропильных ферм, консольных элементах кровли пролетом до 30 м, большепролетных балок, перекрытиях, плитах покрытий, крупнораз-

мерных оболочках, покрытиях различной конфигурации, пролетных строений мостов.

Высокопрочный керамзитобетон применяют в США при строительстве самых разнообразных зданий и сооружений. Так, при строительстве 65-этажного здания «Марина Сити» в Чикаго все перекрытия были выполнены из легкого бетона объемным весом  $1660 \text{ кг/м}^3$  и прочностью 32 МПа. Из легкого бетона были выполнены также один 58-этажный и два 40-этажных жилых дома в Чикаго и один 30-этажный жилой дом в Детройте. Для строительства школьного здания в штате Иллинойс были применены предварительно напряженные пустотелые плиты перекрытия пролетом 12,2 м с консолью 2,95 м. Ширина плит перекрытия 2,44 м. Толщина 50,8 см. Для производства таких плит использовался легкий бетон прочностью 35 МПа. При сооружении купола зала собраний Иллинойсского университета, имеющего пролет 120 м также был использован керамзитобетон прочностью 33 МПа и объемным весом  $1700 \text{ кг/м}^3$ . Высокопрочный керамзитобетон был применен и при сооружении зданий аэропортов в Нью-Йорке и Минниаполисе. В первом случае для покрытия помещения размером 90 x 60 м была применена оболочка толщиной 15 см из керамзитобетона прочностью 41 МПа и объемным весом  $1850 \text{ кг/м}^3$ . Во втором случае для складчатой 13-сантиметровой кровли был использован легкий бетон прочностью 21 МПа и объемным весом  $1440 \text{ кг/м}^3$ .

Высокопрочный керамзитобетон был успешно использован также при строительстве гостиниц. Для 22-этажного здания отеля в Денвере все несущие конструкции были выполнены из керамзитожелезобетона. Прочность керамзитобетона для колонн составляла  $410 \text{ кг/см}^2$ , а для плит перекрытия 31 МПа при объемном весе  $1540 \text{ кг/м}^3$ . Это позволило уменьшить общий вес здания по сравнению с вариантом постройки из тяжелого бетона на 6800 т. Значительное снижение веса конструкции при использовании высоко прочного керамзитобетона видно на примере строительства 18-этажного здания гостиницы в Далосе. Благодаря уменьшению веса бетона удалось отказаться от большого количества опор и перейти к конструкциям с консолями, а также снизить стоимость  $1 \text{ м}^2$  на 14 %.

При оценке в вышеуказанных странах эффективности применения легкого бетона в зданиях, особенно высотных, учитывается не только эффект снижения их массы на 20–30 % с соответствующим снижением нагрузки на основания и возможным существенным сокращением расхода арматуры и расходов на возведение фундаментов. Большое значение для предприятий, которые производят и транспортируют легкобетонные смеси, имеет фактор уменьшения их массы на 20–50 %.

При строительстве в Лондоне 13-этажного здания «Филдхейм» все конструкции были выполнены из высокопрочного легкого бетона на заполнителе «Лека», прочность при сжатии на 26 МПа, объемный вес  $1140 \text{ кг/м}^3$ . В Рочестере (Англия) 12-этажное здание также было выполнено из легкого бетона на заполнителе «Лека», что позволило уменьшить вес каждого этажа на 30 т. В лабораторном здании в Брекфорде (Англия) колонны и плиты были изготовлены из легкого бетона на заполнителе «Аглит». Прочность бетона составляла 31,5 МПа.

Следует также отметить уникальные примеры применения легкого бетона в сборных конструкциях, таких как забивные сваи, высоконапорные трубы больших и малых диаметров; сборные элементы морских гидротехнических сооружений, в частности сваи-оболочки причальных сооружений и платформы для добычи нефти (Канада, Норвегия) [3, 4, 5].

В Германии в конце 60-х – начале 70-х годов прошлого столетия были возведены первые здания и сооружения из высокопрочных легких бетонов. Наиболее интересным стал проект строительства моста Дюккерхофф в Висбадене, где в преднапряженных железобетонных конструкциях был использован легкий бетон с классом по прочности LC 35 и плотностью в сухом состоянии 1600 кг/м<sup>3</sup>. Поистине знаковым для бетоноведения стало применение монолитных бетонов класса LC 35/45 с плотностью 1350 кг/м<sup>3</sup> при возведении южных фасадов Кайцентра в Дюссельдорфе [6]. Этот бетон выполняет одновременно конструктивные, декоративно-архитектурные и теплоизоляционные функции. При возведении административного здания BMW в Мюнхене, высотой 100 м, в перекрытиях применен легкий бетон прочностью 30 МПа. Легкий бетон прочностью 45 МПа и средней плотностью 1750 кг/м<sup>3</sup> применялся при строительстве платформы для прыжков с трамплина в Оберстдорфе [7].

Своеобразный рекорд прочности легкого бетона, уложенного в реальных конструкциях, – 75 МПа при средней плотности 1750 кг/м<sup>3</sup> – принадлежит норвежским специалистам, использовавшим такой бетон при строительстве нефтяной платформы "Хайдрун" [8].

Известен зарубежный опыт использования высокопрочного легкого бетона при строительстве и реконструкции дорог, мостов и путепроводов в США, Японии, Норвегии, Германии, Финляндии и других странах [9, 10]. Эффективность применения легкого бетона в пролетных строениях мостов определяется, прежде всего, отношением собственного веса этих конструкций к общей расчетной постоянной и временной нагрузкам. Последние 20–30 лет в мировой практике строительства мостов в большинстве стран применяются преимущественно легкие бетоны.

В США из легкого железобетона изготавливают сборные плиты для перекрытий и покрытий, а также монолитные конструкции в жилых и промышленных зданиях. Наиболее интересным является применение легкого железобетона при постройке моста Сан-Франциско – Окленд. Одежда шестиполосного дорожного полотна этого моста протяжением 6,43 км выполнена из легкого железобетона. Предварительно был изучен вопрос, связанный с показателем истираемости легкого бетона. Установлено, что после пятилетней эксплуатации показатели истираемости бетона находились в пределах нормативных значений [11].

В России также имеется опыт применения высокопрочного керамзитобетона при строительстве автодорожных мостов, аэродромных покрытий (легкие бетоны с прочностью при сжатии от 30 до 50 МПа), сборных плит для автомобильных дорог, что дает экономический эффект 12–15 %. Конструкционный керамзитобетон классов В20-В40 в сборных аэродромных предварительно напряженных плитах покрытия обеспечивает положительную эксплуатационную и тех-

нико-экономическую эффективность благодаря повышенной трещиностойкости, морозостойкости, долговечности (при этом уменьшаются изгибающие моменты на 18–20 %; снижается количество арматуры на 12–15 %) [12, 13].

Опыт применения керамзитобетонов в мостах в СНГ также достаточно велик: за последние 20 лет построено и успешно эксплуатируется более 100 автомобильных мостов из керамзитобетона на искусственных пористых и природных заполнителях. Вместе с тем сравнение отечественного и зарубежного опыта применения различных керамзитобетонов в мостостроении показывает возможность более широкого использования эффективных высокопрочных пористых заполнителей и бетонов из них в мостостроении.

В НИИЖБ разработаны и успешно используются в монолитных и сборно-монолитных несущих каркасах зданий модифицированные конструкционные легкие бетоны на рядовых пористых заполнителях классов по прочности при сжатии от В15 до В50 при показателях средней плотности 1200–1900 кг/м<sup>3</sup>. В то же время применение высокопрочного керамзита совместно с органоминеральными модификаторами позволяет получить бетон с прочностью свыше 60 МПа при средней плотности 1750 кг/м<sup>3</sup>.

Данные факты доказывают, что применение конструктивного керамзитобетона в гражданском и промышленном строительстве, начавшееся еще с середины XX века, является актуальным и в наши дни.

#### **Список цитированных источников**

1. Иванов, И. А. Легкие бетоны на искусственных пористых заполнителях / И. А. Иванов. – М. : Стройиздат, 1993. –182 с.
2. Lightweight Aggregate Concrete. Codes and standards. State-of-art report prepared by Task Group 8.1. CEB-FIP (fib), Stuttgart, – 1999. – 44 p.
3. Holland R.B. High Strength Lightweight Concrete Properties of the I-85 Ramp over State Route 34 / R.B. Holland, F.L. Kahn // HPC Bridge Views. - Issue 61, May/June 2010. – P. 1-10.
4. Mechanical properties of lightweight aggregate concrete / EuroLightCon - Economic Design and Construction with Light Weight Aggregate Concrete: Document BE96-3942/R23, June 2000 – 50 pp.
5. Shannag M.J. Characteristics of lightweight concrete containing mineral admixtures / M.J. Shannag // Constuction and Building Materials. – 2011. – Vol. 25. – P. 658-662.
6. Weiss, W.J. Improving Concrete Bridge Decks with Internal Curing, Concrete / Di C. Bella, D.P. Bentz // Bridge Views. – Iss.69. – 2013.
7. Clarke, J.L. Structural Lightweight Aggregate Concrete / J.L. Clarke // Published by Blackie Academic & Professional, an imprint of Chapman & Hall, Wester Cleddens Road, Bishopbriggs, Glasgow G64 2NZ. – Taylor & Francis e-Library. – 2005. – 148 pp.
8. Фаликман, В. Р. Высокопрочный легкий бетон: технология и свойства / В. Р. Фаликман, Ю. В. Сорокин, О. М. Горячев // Бетон и железобетон. – № 2. – 2005. – С. 8-11.
9. Building Bridges and other Marine Structures with Structural Lightweight Aggregate Concrete. – ESCSI Information Sheet № 4700.4. – 26 p.
10. Caroland W.B. Spliced Segmental Prestressed Concrete I-Beams for Shelby Creek Bridge / W.B. Caroland, D. Deep, H. H. Janssen, L. Spaans // PCI Journal. – 1992. – P. 22-33.
11. Хаисон, Дж. Замена легкого заполнителя природным тяжелым песком в конструктивном легком бетоне / Дж. Хаисон // Journal the American Concrete Institute. – №7 – 1964. – 61 pp.
12. Житкевич, Р. К. Высокопрочный легкий бетон / Р. К. Житкевич, К. М. Кац // Всесоюзный семинар «Эффективные конструкции из легких бетонов» Тезисы докладов. Госстрой СССР. – М. – 1980. – С. 73–75.
13. Деллос, К. П. Несущие специальные конструкции из легких бетонов / К. П. Деллос // Всесоюзный семинар «Эффективные конструкции из легких бетонов»: тезисы докладов. – М. : Госстрой СССР, 1980. – С. 100–103.