

**ПОДБОР СОСТАВОВ ЛЕГКИХ ЖАРОСТОЙКИХ БЕТОНОВ
ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕПЛОВЫХ УСТРОЙСТВ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ
ЖИЛЫХ ДОМОВ**

А. Ю. Конопляник, к. т. н., доц., Р. И. Романовский, студ.

Ключевые слова: *жилые дома, тепловые устройства, температура, пожар, легкий жаростойкий бетон, компоненты бетона, составы бетона*

Постановка проблемы. В настоящее время в связи с модернизацией жилого строительства и, в частности, индивидуального, на первый план выдвигаются вопросы подбора эффективных материалов, которые могут быть одновременно применены в несущих и теплоизоляционных конструкциях, а также в тепловых устройствах жилых домов. Эти материалы и изделия из них, по нашему мнению, должны выполнять одновременно несколько функций, а именно:

- использоваться в качестве несущих и ограждающих конструкций;
- использоваться для тепло- и звукоизоляции внутренних и наружных конструкций;
- обеспечить устройство футеровки тепловых устройств;
- обеспечить стойкость конструкций к действию пожара;
- обеспечить в эпоху экономического кризиса долговечность и эксплуатационную способность конструкций и тепловых устройств.

При строительстве индивидуальных жилых домов для устройства несущих и ограждающих конструкций используют, в основном, железобетон, кирпич и блоки, а для тепло- и звукоизоляции конструкций – легкие рулонные и штучные изделия. Широкое распространение получили тепловые устройства, работа которых связана с воздействием огня и высоких температур. Примером таких устройств могут служить печи, камины, плиты, отопительные системы бань и саун и др., которые являются источником очага. К тепловым устройствам относятся также трубы и дымоходы, по которым отводятся образующиеся в процессе сгорания топлива газы и пар. Температура пламени в источниках очага в зависимости от вида топлива составляет 600 – 1 200 °С, а температура отводящих газов – 300 – 500 °С.

Отличительной особенностью всех применяемых для индивидуального строительства материалов является то, что они не могут одновременно обеспечить теплоизоляционные, термические и огнезащитные характеристики конструкций и устройств. Так, основные несущие элементы домов, такие как плиты перекрытия, лестничные площадки и марши, балконы, монолитные пояса, перемычки и др. обычно выполняются из тяжелого бетона на портландцементе. Наружные несущие стены выполняются из кирпича (силикатного или глиняного обыкновенного) или из различных блоков. Эти конструктивные элементы домов обладают высокой несущей способностью, однако недостаточной теплоизолирующей и огнезащитной способностью. Попытка уменьшения объемного веса несущих элементов путем введения в состав бетона легкого заполнителя (обычно керамзитового) или использования конструктивно-теплоизоляционных блоков (газо-, пенобетонных и др.) приводит к улучшению теплоизолирующей способности конструкций, однако при этом уменьшается несущая способность конструкций и стойкость к действию пожара, который распространяется в жилых помещениях с температурой равной 1 000 – 1 100 °С при продолжительности 1– 2 часа [1, с. 5].

Анализ публикаций. Для футеровки тепловых устройств в настоящее время в основном применяется шамотный и dinasовый кирпич, используемый в металлургии для футеровки тепловых агрегатов и конструкций. Этот кирпич хотя и имеет высокую стойкость к действию температур [2], однако не отвечает эстетическим требованиям из-за неудовлетворительного качества поверхности. Кроме того, возникает проблема подбора состава огнеупорного раствора, вызванная различным химическим составом каждого из видов кирпича. Кладка отдельных несущих и ограждающих конструкций из огнеупорного кирпича способна выдерживать действие высоких температур и огня, однако не рациональна из-за высокой стоимости кирпича и огнеупорного раствора и недостаточной теплоизолирующей способности конструкций.

Ранее для футеровки тепловых устройств жилых помещений были применены составы тяжелых жаростойких бетонов, включающие в себя крупный и мелкий шамотные заполнители, тонкомолотую добавку, жидкое стекло и отвердитель [3]. Такие составы являются

пятикомпонентными и имеют температуру применения до 1600°C, что значительно выше температуры в этих тепловых устройствах.

Таким образом, налицо техническое противоречие, когда оптимальные с точки зрения несущей способности конструкции обладают низкой теплоизолирующей способностью и устойчивостью к действию пожара, в конструкциях с улучшенной теплоизолирующей способностью снижается несущая способность и устойчивость к действию пожара, а огнеупорный кирпич, применяемый для футеровки тепловых устройств, хотя и обладает хорошей устойчивостью к действию высоких температур и огня, однако имеет низкую теплоизолирующую способность.

Цель работы состояла в подборе таких составов легких жаростойких бетонов, которые могут быть использованы для изготовления отдельных несущих конструкций, теплоизоляции стен и перекрытий и футеровки тепловых устройств жилых домов. При этом необходимо обеспечить сохранение несущей способности и целостности конструкций при действии высоких температур и пожара. Кроме того, была поставлена задача изготовить состав бетона из минимального количества компонентов смеси.

Изложение материала. Подбор составов и испытания легких жаростойких бетонов проводили в Испытательной лаборатории кафедры Железобетонных и каменных конструкций в два этапа. На I этапе ставилась задача подобрать оптимальные с точки зрения прочностных, деформативных и теплофизических характеристик составы легких жаростойких бетонов. На II этапе ставилась задача исследовать основные термические и огнезащитные характеристики оптимальных составов бетонов, отобранных после I этапа испытаний.

Для изготовления легких жаростойких бетонов были использованы различные вяжущие, отличающиеся по своим огневым характеристикам.

Было использовано три различных типа вяжущих:

- а) глиноземистый цемент;
- б) высокоглиноземистый цемент;
- в) жидкое стекло.

Такое разнообразие составов вызвано различной огнеупорностью каждого вяжущего, а, следовательно, и температурой применения бетонов на их основе.

В качестве компонентов жаростойких бетонов использовали следующие материалы:

- Керамзитовый щебень фракции 1,25 – 5 мм производства завода керамического гравия г. Новолукомль республики Беларусь по ТУ ВУ 190565431.001 – 2011. Требования к керамзиту определяются государственным стандартом республики Беларусь СТБ ЕН 14063 – 1 – 2007.

- Высокоглиноземистый цемент GORKAL 70 производства цементного завода г. Горка, Польша по EN 14647: 2005/AC: 2006. Calcium aluminate cement. Composition specifications and conformity criteria.

- Глиноземистый цемент GORKAL 40 производства цементного завода г. Горка, Польша по EN 14647: 2005/AC: 2006. Calcium aluminate cement. Composition specifications and conformity criteria.

- Стекло натриевое жидкое по ГОСТ 13078 – 81 плотностью 1,4 г/см³.

Вода для изготовления бетонов и растворов по ГОСТ 23732 – 79.

Такое сочетание компонентов в составах бетонов выбрано исходя из высокой огнеупорности заполнителя и вяжущих. Так, огнеупорность керамзитового заполнителя составляет порядка 1 200°C, глиноземистого цемента – 1480°C, высокоглиноземистого цемента – 1700°C.

Фракционный и химический состав компонентов жаростойких бетонов приведен в таблицах 1 и 2 соответственно.

Все составы легких жаростойких бетонов изготавливали в следующем порядке. Вначале тщательно перемешивали в течение 2 мин сыпучие компоненты, затем добавляли воду или жидкое стекло и всю смесь перемешивали 2 – 3 мин до получения однородной массы. Перед добавкой жидкого стекла его разводили до необходимой плотности.

Образцы жаростойких бетонов изготавливали методом виброуплотнения смесей на лабораторной виброплощадке. При изготовлении и выдержке образцов температура воздуха составляла 18 – 20°C, а его влажность – 45 – 50 %.

Таблица 1

Фракционный состав компонентов легких жаростойких бетонов

Наименование компонентов	Объемная насыпная масса, кг/м ³	Максим. крупность заполнителя, мм	Полный остаток в % на сите с размером ячеек в свету, мм									Удельная поверхность, см ² /г
			12,5	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	<0,14	
Керамзит	470	12,5	1,2	6,9	68,0	22,6	1,0	0,3	–	–	–	–
Глиноземистый цемент	1200	–	–	–	–	–	–	–	3,2	13,8	83,0	3100 – 3800
Высокоглиноземистый цемент	1150	–	–	–	–	–	–	–	3,3	8,7	88,0	4200 – 4500

Таблица 2

Химический состав компонентов легких жаростойких бетонов

Наименование компонентов	Химический состав, %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O + K ₂ O	Δm _{нрк}
Керамзит	50 – 55	13 – 19	3,5 – 10	2 – 3	3 – 4	3,5 – 5	2,0
Глиноземистый цемент	2 – 4	40 – 45	12 – 14	36 – 40	–	–	0,5
Высокоглиноземистый цемент	0,4 – 0,5	69 – 71	0,4 – 0,5	28 – 29	–	–	0,5
Жидкое стекло	31,5	–	–	–	–	11,3	–

Образцы из бетонных смесей выдерживали сутки до распалубки. После распалубки составы бетонов на глиноземистом и высокоглиноземистом цементах выдерживали 4 и 7 суток, а затем сушили при температуре 105 – 110°С до постоянного веса. Такое количество суток выдержки образцов до сушки вызвано тем, чтобы установить оптимальное время выдержки образцов на керамзитовом заполнителе, так как Майзель и Сухарев в работе [4] установили, что оптимальное время выдержки образцов на перлитовом заполнителе составляет 3 – 4 суток, а авторы [5] установили, что оптимальное время выдержки образцов на вермикулитовом заполнителе составляет 7 суток.

Составы бетонов на жидком стекле подавали на сушку после распалубки образцов, так как опыт разработки и эксплуатации в условиях производства составов жаростойких бетонов, накопленный в лаборатории жаростойких бетонов Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры, показывает, что наиболее рационально производить сушку таких составов сразу же после распалубки бетона [6].

Нормальную плотность и сроки схватывания цементного теста определяли на приборе Вика путем погружения в раствор пестика и иглы в соответствии с нормативным документом [7]. Методика проведения испытаний приведена на рисунке 1, а образцы из цементного теста после проведения испытаний – на рисунке 2.

В процессе уплотнения бетонных смесей визуально оценивали их технологичность, а после суток выдержки и распалубки образцов оценивали качество поверхности боковых граней кубиков.

Объемный вес в кг/м³ образцов определяли путем их контрольного взвешивания гравиметрическим методом.

Линейную усадку образцов из цементного теста в % определяли следующим образом. После распалубки на четырех противоположных гранях (по высоте образца) наносили четыре линии параллельно центральной оси. Длину линий принимали за исходный размер. Измерения проводили штангенциркулем. Через определенное количество суток хранения образцов, а также после сушки их измеряли вновь, а усадку огнестойкого бетона вычисляли по формуле:

$$\varepsilon = \frac{l_2 - l_1}{l_1} \times 100, \quad (1)$$

где: l_1 – начальный размер образца после распалубки;

l_2 – размер образца после сушки.

Объемную усадку в % определяли путем фиксации изменения объема образцов по формуле:

$$\varepsilon_v = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100, \quad (2)$$

где: V_1 – начальный объем образца после распалубки;

V_2 – объем образца после сушки.

Результаты определения нормальной плотности и сроков схватывания цементного теста, а также объемного веса и усадки образцов приведены в таблице 3.

Таблица 3

Основные характеристики цементного теста

Показатели	Вяжущее		
	Глиноземистый цемент	Высокоглиноземистый цемент	Глиноземистый + жидкое стекло
Нормальная плотность, В/Ц	0,275	0,3	0,39*
Сроки схватывания, мин:			
- начало	380	465	75
- конец	590	535	83
Объемный вес после сушки, кг/м ³	1 935	1 865	2 070
Усадка после сушки, %			
- линейная	0,16	0,61	4,28
- объемная	0	0,3	10,7

*Примечание: Указано соотношение жидкое стекло – цемент



Рис. 1. Определение сроков схватывания цементного теста



Рис. 2. Общий вид образцов после испытаний по определению сроков схватывания цементного теста: 1 – на вяжущем из глиноземистого цемента; 2 – на вяжущем из высокоглиноземистого цемента; 3 – на комплексном вяжущем из глиноземистого цемента и жидкого стекла

Как видно из таблицы 3, наиболее быстрым сроком схватывания характеризуется цементное тесто с комбинированным вяжущим из глиноземистого цемента и жидкого стекла. При этом начало и конец схватывания составляют 75 и 83 мин соответственно. Использование в качестве вяжущего глиноземистого и высокоглиноземистого цементов значительно увеличивает сроки схватывания. При этом, хотя начало схватывания теста на глиноземистом цементе (380 мин) происходит быстрее, чем теста на высокоглиноземистом цементе (465 мин), конец схватывания теста на глиноземистом цементе наступает позже (через 590 мин).

Наибольший объемный вес, равный $2\,070\text{ кг/м}^3$, имеют образцы из цементного теста с комбинированным вяжущим из глиноземистого цемента и жидкого стекла, что связано с повышенным количеством в смеси жидкого стекла. Объемный вес образцов из цементного теста на глиноземистом и высокоглиноземистом цементах отличается незначительно, что связано с различной насыпной массой цементов (табл. 3).

Наибольшую усадку после сушки имеют образцы из цементного теста на комбинированном вяжущем, при этом линейная усадка составляет 4,28, а объемная – 10,7 %. Такая большая усадка бетонов на жидком стекле может вызвать значительные начальные напряжения и привести к снижению прочности твердеющего бетона. Эту усадку нужно ограничить введением оптимального количества заполнителя. Наименьшую усадку имеют образцы на вяжущем из глиноземистого цемента. При этом линейная усадка составляет 0,16 %, а объемная равна 0 за счет расширения размеров образца в поперечном направлении.

Для отработки технологии изготовления и определения физико-механических характеристик было изготовлено 11 составов легких жаростойких бетонов. Составы жаростойких бетонов приведены в таблице 4, а образцы бетонов на различных вяжущих – на рисунках 3 – 5.

Составы жаростойких бетонов 1 и 2 в процессе изготовления имели неудовлетворительную технологичность из-за недостаточного количества в смеси цементного теста. На боковых гранях кубиков четко видны расслоения, вызванные всплытием зерен керамзита в верхнюю часть кубиков и опусканием цементного теста в их нижнюю часть. Также неудовлетворительной технологичностью, вызванной возрастанием вязкости смеси, обладают смеси состава 11 с комбинированным вяжущим из глиноземистого цемента и жидкого стекла. Из-за повышенной вязкости смеси затруднено формование отдельных частей образцов, что приводит к образованию на поверхности боковых ребер отдельных раковин и каверн. Остальные составы смесей обладают удовлетворительной и хорошей технологичностью, а их боковые грани имеют соответствующую структуру.



Рис. 3. Общий вид образцов на вяжущем из глиноземистого цемента



Рис. 4. Общий вид образцов на вяжущем из высокоглиноземистого цемента



Рис. 5. Общий вид образцов на комплексном вяжущем из глиноземистого цемента и жидкого стекла

Таблица 4

Составы легких жаростойких бетонов*

Наименование компонентов	№ составов /Содержание компонентов, мас %										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Керамзит	32,0 – 42,7				31,6 – 34,4				30,7 – 33,2		
Глиноземистый цемент	42,7 – 51,3				–				46,5 – 49,0		
Высокоглиноземистый цемент	–				48,1 – 50,6				–		
Жидкое стекло	–				–				20,3 – 20,5		
Вода	14,6 – 16,7				17,5 – 17,7				–		

*Примечание: Технические решения по составам легких жаростойких бетонов являются новыми, авторские и имущественные права интеллектуальной собственности на эти составы принадлежат авторам. Поэтому в таблице приведены не содержания компонентов по каждому составу, а общие пределы содержания компонентов по составам на каждом вяжущем.

Выводы. Подобраны составы легких жаростойких бетонов на керамзитовом заполнителе с вяжущими из глиноземистого, высокоглиноземистого цементов и комбинированным вяжущим из глиноземистого цемента и жидкого стекла, которые могут быть использованы в тепловых устройствах и конструкциях индивидуальных жилых домов. Эти составы являются трех компонентными, вместо пяти компонентных, используемых ранее. Для определения теплоизолирующей, несущей и огнезащитной способности составов подобранных бетонов в дальнейшем будут исследованы их основные физико-механические, теплотехнические и огневые свойства.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Милованов А. Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций. – М. : Стройиздат, 1986. – 224 с.
2. Завадский М. Я. Технология изготовления футеровки прибыльных надставок из жаростойкого бетона / Завадский М. Я., Прядко В. М., Конопляник А. Ю., Омесь Н. М., Башлий В. И., Кошелев В. А. // Черная металлургия. Бюлл. науч.-тех. информации. – 1991. – № 11. – С. 72 – 74.

3. Применение жаростойких бетонов в футеровке тепловых устройств жилых помещений / А. Ю. Конопляник, А. А. Бородин, А. А. Ромащенко, Р. М. Товпашко, Е. А. Заморенная // Сб. науч. тр: Строительство. Материаловедение. Машиностроение; вып. 16. – Д. : ПГАСА, 2002. – С. 107 – 109.

4. **Майзель И. Л.** Жароупорный теплоизоляционный перлитобетон / И. Л. Майзель, М. Ф. Сухарев. – М. : Стройиздат, 1965. – 128 с.

5. Разработка состава смеси для изготовления огнестойких конструкционных плит / Науч.-тех. отчет. – Д. : ПГАСА, 2011. – 46 с.

6. **Конопляник А. Ю.** Свойства и технология жаростойких бетонов повышенной шлакоустойчивости /Дисс. ... канд. техн. наук. – Д. : ПГАСА, 1997. – 226 с.

7. Цементи. Методи визначення нормальної густоти, строків тужавлення та рівномірності зміни об'єму. ДСТУ Б В.2.7. – 185:2009. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 10 с.

УДК 666. 974. 2: 666. 973. 3:728. 37

Подбор составов легких жаростойких бетонов для конструкций и тепловых устройств индивидуальных жилых домов / А. Ю. Конопляник, Р. И. Романовский // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д. : ПГАСА, 2013. – № 8. – С. 52 – 59. – рис. 5. – табл. 4. – Библиогр.: (7 назв.).

Подобраны составы легких жаростойких бетонов на керамзитовом заполнителе с вяжущими из глиноземистого, высокоглиноземистого цементов и комбинированным вяжущим из глиноземистого цемента и жидкого стекла, которые могут быть использованы в тепловых устройствах и конструкциях индивидуальных жилых домов.

Проведены испытания физико-механических характеристик цементного теста и отработан технологический процесс изготовления составов легких жаростойких бетонов.

Технологический процесс изготовления составов бетонов показал, что для изготовления легких жаростойких бетонов могут быть применены трех компонентные системы материалов, вместо пяти компонентных систем, используемых ранее для изготовления бетона.

Ключевые слова: *жилые дома, тепловые устройства, температура, пожар, легкий жаростойкий бетон, компоненты бетона, составы бетона*

Підбір складів легких жаростійких бетонів для конструкцій і теплових пристроїв індивідуальних житлових будинків / О. Ю. Конопляник, Р. І. Романовський // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д. : ПГАСА, 2013. – № 8. – С. 52 – 59. – рис. 5. – табл. 4. – Библиогр.: (7 назв.).

Підбрано склади легких жаростійких бетонів на керамзитовому заповнювачі з в'язучими із глиноземного, високоглиноземного цементів і комбінованим в'язучим із глиноземного цементу і рідкого скла, які можуть бути використані в теплових пристроях і конструкціях індивідуальних житлових будинків.

Проведено випробування фізико-механічних характеристик цементного тіста і відпрацьовано технологічний процес виготовлення складів легких жаростійких бетонів.

Технологічний процес виготовлення складів бетонів показав, що для виготовлення легких жаростійких бетонів можуть бути застосовані три компонентні системи матеріалів, замість п'яти компонентних систем, використовуваних раніше для виготовлення бетону.

Ключові слова: *житлові будинки, теплові пристрої, температура, пожежа, легкий жаростійкий бетон, компоненти бетону, склади бетону.*

Selection of compositions of light refractory concrete for structural and thermal devices of individual houses / A. Y. Konoplyanik, R. I. Romanovsky // Visnyk of Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture. – D. : PSACEA, 2013. – № 8. – P. 52 – 59. – pic. 5. – tabl. 4. – Bibliogr.: (7 names).

Selected compositions of light refractory concretes on expanded clay aggregate with binders of aluminous cements and high alumina combined binder of alumina cement and water glass, which can be used in heating systems and structures of individual houses.

The tests of physical and mechanical properties of the cement paste and extract process of manufacturing the compositions of light refractory concretes are done.

Manufacturing process of concrete showed that for producing refractory concretes light may be applied three-component system materials instead of 5-component systems previously used for the manufacture of concrete.

Key words: *residential buildings, thermal devices, temperature, fire, light heat-resistant concrete, concrete components, the composition of concrete.*