

УДК 691.33

Фаррахова Евгения Олеговна

инженер

E-mail: evgeniya.f11@mail.ru

Ибрагимов Руслан Абдирашитович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: rusmag007@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Разработка эффективных энергосберегающих стеновых блоков из пенополистиролбетона

Аннотация

Постановка задачи. Целью исследования является разработка состава пенополистиролбетонной смеси с применением дробленного пенополистирола и местных сырьевых материалов производственного предприятия «Казанский Домостроительный Комбинат» («КДСК») для создания эффективных энергосберегающих стеновых блоков.

Результаты. Проведены испытания опытных образцов четырех экспериментальных составов. Анализ полученных результатов позволил выявить оптимальный состав пенополистиролбетонной смеси для изготовления теплосберегающих стеновых блоков маркой по плотности D600 и прочности на сжатие B2,5.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в повышении эффективности тепловой защиты зданий за счет применения энергосберегающих стеновых блоков из пенополистиролбетона. Кроме того, предложенный вариант решения проблемы утилизации отходов пенополистирола на предприятии «КДСК» способствует повышению экономической и технологической эффективности самого предприятия.

Ключевые слова: отходы пенополистирола, пенополистиролбетон, технология производства пенополистиролбетона, стеновые блоки, энергосбережение.

Введение

Еще не так давно вопросу энергоресурсосбережения в нашей стране не уделялось должного внимания, поскольку приоритетным являлось решение острой жилищной проблемы. Государственная политика была направлена на массовое строительство недорогого, экономичного жилья, но при этом с максимальным привлечением денежных средств и ресурсов. Стоит отметить, что стоимость топливно-энергетических ресурсов в то время была отнюдь не высока, отсюда и отсутствие стремления к экономному их потреблению. Повышение же спроса и стоимости в корне изменило отношение к такому расточительному использованию энергоресурсов. Государство взяло курс на политику энергоресурсосбережения. Одним из направлений данной политики является повышение теплоэффективности зданий, потому как значительная доля энергозатрат в России приходится именно на отопление зданий. Основные же потери тепловой энергии зданий осуществляются через ограждающие конструкции. В связи с этим особую актуальность приобретает поиск новых решений в области производства и применения технологичных стеновых материалов, которые обеспечивали бы высокий уровень теплозащиты и, как следствие, минимизацию энергозатрат.

На сегодняшний день в качестве эффективного теплосберегающего материала может выступать пенополистиролбетон, достойно отвечающий современным требованиям действующей документации в строительстве и условиям экономической целесообразности. Среди основных преимуществ, выгодно отличающих пенополистиролбетон на фоне других кладочных материалов, можно выделить небольшой удельный вес, высокие тепло- и звукоизоляционные свойства, низкую степень водопоглощения и высокий коэффициент морозостойкости.

Тема производства и применения пенополистиролбетона в ограждающих конструкциях зданий вызывает интерес не только с точки зрения энергоресурсосбережения, но и с точки зрения утилизации отходов пенополистирола, ежемесячно скапливающихся в размере до 1 т на производственном предприятии «Казанский Домостроительный Комбинат» («КДСК»). Пенополистирол на предприятии применяется в виде временных вкладышей и проемообразователей, которые извлекаются после распалубки железобетонных изделий. Отработанные вкладыши не находят дальнейшего применения и подлежат утилизации. Скопление большого количества отходов пенополистирола создает серьезную финансовую нагрузку на предприятие, поскольку в соответствии со статьей 8.2 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях превышение лимитов на размещение отходов влечет наложение денежного взыскания. В качестве одного из наиболее рациональных вариантов решения данной проблемы может быть предложено применение дробленого пенополистирола в технологии производства стеновых пенополистиролбетонных блоков.

История возникновения и применения пенополистиролбетона

Впервые упоминания о пенополистиролбетоне появились в середине прошлого столетия, а именно в 1952 году, когда западногерманской фирмой «BASF» был запатентован способ производства легкого бетона с использованием гранул полистирола. Материал, получивший название «стиропорбетон» или EPS beton, стал активно покорять зарубежные страны [1]. В настоящее же время ускоренно возрастают объемы производства и применения пенополистиролбетона в странах Скандинавии, Италии, Франции, Испании, Японии, Индии, Китае и Тайване [2].

В Германии этот материал успешно заменяет минераловатные плиты и прочие менее эффективные утеплители. В странах Западной Европы пенополистиролбетон низкой плотности применяется в качестве морозостойкого основания для железных дорог, теплового основания для полов животноводческих зданий, а также для изготовления стеновых панелей и утепления кровель. Швейцарская компания «RASTRA» с 1972 года выпускает теплоизоляционные плиты из пенополистиролбетона для малоэтажного строительства. В Нидерландах пенополистиролбетон используется в качестве утеплителя в фундаментных плитах, а в Болгарии – в качестве среднего слоя в трехслойных железобетонных стеновых конструкциях [2].

В 70-х годах технология производства пенополистиролбетона перекочевала и в СССР, где разработку составов и технических условий осуществляли ученые московского института «ВНИИЖелезобетон». Тогда впервые данный материал был применен в качестве ограждающих конструкций при изготовлении неармированных стеновых блоков в г. Анадыре. В 1974 году пенополистиролбетон был использован для изготовления несущих однослойных стеновых панелей для сельского строительства на Чукотке. В опытном порядке пенополистиролбетон применялся ЛенЗНИЭП в качестве утеплителя на армоцементных покрытиях. В дальнейшем исследования по использованию теплоизоляционного пенополистиролбетона для изготовления объемных блоков для жилых зданий на Севере были проведены Гипроспецгазом [3, 4].

Несмотря на удачные попытки применения пенополистиролбетона в строительстве, на начальном этапе материал не получил должного признания специалистов, так как был непригоден для масштабных построек, которым в то время отдавалось предпочтение. Широкое применение в России материал получил после введения в действие ГОСТ Р 51263-99 (ныне действующий ГОСТ Р 51263-2012), в соответствии с требованиями которого должен был производиться материал. В то же время в стране активно стало развиваться частное малоэтажное строительство, для которого были необходимы недорогие и удобные в работе строительные материалы, имеющие при этом низкую теплопроводность.

Пенополистиролбетон представляет собой композиционный материал поризованной структуры на цементном вяжущем и заполнителе из вспененного гранулированного полистирола с использованием различных модифицирующих и других добавок. Применение пенообразующих добавок способствует созданию в бетонной смеси равномерно распределенных воздушных пузырьков в цементной оболочке, благодаря чему после застывания бетон получает пористую структуру и становится еще более легким [5].

Одной из основных особенностей данного материала является возможность варьирования его плотности от 150 до 600 кг/м³, благодаря чему можно получить как теплоизоляционный материал, так и конструкционный. В соответствии с данными показателями пенополистиролбетону присваиваются следующие марки по плотности:

- D150-D225 – теплоизоляционный;

- D250-D350 – теплоизоляционно-конструкционный;

- D400-D600 – конструкционно-теплоизоляционный, при классах прочности на сжатие не ниже M2, B0,5 и B1,5 соответственно [6].

Небольшой удельный вес ограждающих конструкций из пенополистиролбетона позволяет уменьшить нагрузку на фундамент, а значит, облегчить его конструкцию и снизить затраты на его возведение.

Необходимо также подчеркнуть, что прочность пенополистиролбетона на сжатие выше прочности пено- и газобетона той же марки по плотности, а благодаря высокой прочности на растяжение пенополистиролбетон обладает повышенной стойкостью к образованию трещин. При проведении испытаний на сжатие было замечено, что образцы из газобетона после достижения предела прочности разрушаются, раскалываясь на отдельные кусочки, а образцы из пенополистиролбетона лишь деформируются.

Кроме того, уникальная внутренняя структура пенополистиролбетона обеспечивает низкую степень водопоглощения, что напрямую обуславливает высокую морозостойкость материала (F35-F300). Это объясняется тем, что поры в пенополистиролбетоне изолированы друг от друга и вода впитывается только поверхностью, к тому же цементная матрица материала заполнена полистирольными гранулами, обладающими ничтожно малой гигроскопичностью. За счет низкого содержания влаги во внутренней структуре пенополистиролбетона не происходит образования грибков, бактерий и плесени в период эксплуатации здания [6-8].

Пенополистиролбетон пожаробезопасен, его фактический предел огнестойкости составляет не менее 184 минут, что является довольно хорошим результатом. А при оштукатуривании или облицовке кирпичом данный материал может применяться и при строительстве зданий I категории огнестойкости [9].

И, наконец, главным достоинством пенополистиролбетона является его низкий коэффициент теплопроводности, находящийся в пределах от 0,052 до 0,145 Вт/(м·°С). В связи с этим применение данного материала в качестве стенового позволяет уменьшить теплопотери через ограждающие конструкции зданий и снизить энергозатраты в эксплуатационный период [10, 11].

Технология производства пенополистиролбетона

Экспериментальное производство пенополистиролбетонной смеси осуществлялось на базе предприятия «КДСК» с применением местных сырьевых материалов и турбулентного пенобетоносмесителя СПБУ-150 Люкс.

Пенобетоносмеситель СПБУ-150 Люкс – это машина циклического действия, представляющая собой резервуар цилиндрической формы с коническим днищем, который установлен на трех опорах. В верхней части резервуара расположен загрузочный люк с крышкой и герметически фиксирующимся винтовым замком. Материалы, входящие в смесь, перемешиваются с помощью быстровращающегося ротора в неподвижном сосуде смесителя. При вращении ротор своими лопастями отбрасывает смесь к конусной части сосуда смесителя. Три лопасти, установленные на стенках сосуда, тормозят движение смеси по окружности и направляют ее спиралью вверх, откуда смесь, падая на ротор, вновь вовлекается в движение. Вал пенобетоносмесителя оборудован системой суфлерного уплотнения, с подачей в корпус камеры суфлерного уплотнения избыточного давления и высокотемпературной смазки. На резервуаре смонтирована трубопроводная система, состоящая из кранов управления и манометра. Выгрузка смеси осуществляется в резервуаре смесителя избыточного давления при выключенном роторе через патрубок.

Технологическая последовательность приготовления пенополистиролбетонной смеси следующая. В резервуар смесителя при выключенном роторе подается вода с

отдозированным количеством полистирольных гранул и добавок – суперпластификатора «Глениум 51» и пенообразователя «Пеностром». Далее при включенном роторе осуществляется перемешивание добавок и гранул в воде в течение 1 минуты. После этого в смеситель подается отдозированное количество портландцемента, песка и продолжается перемешивание. По истечении 1 минуты осуществляется подача сжатого воздуха в смесительную установку до требуемого значения давления. Давление в смесителе контролируется по манометру и поддерживается на уровне 0,09-0,1 МПа, а в случае его падения своевременно восстанавливается до необходимой величины периодической подачей сжатого воздуха. Дальнейшее перемешивание смеси производится при постоянном давлении на протяжении 3-4 минут. Полученная пенополистиролбетонная смесь при выключенном роторе за счет избыточного давления в смесителе подается в опалубку через выгрузочный патрубок и выдерживается 24 часа до набора прочности.

По вышеописанной технологии были проведены эксперименты по подбору оптимального состава пенополистиролбетонной смеси с учетом соответствия полученного материала требованиям ГОСТ Р 51263-2012.

Для экспериментальных исследований были использованы составы, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Экспериментальные составы

Наименование сырьевых компонентов	Расход сырьевых компонентов на 1 м ³			
	Состав № 1	Состав № 2	Состав № 3	Состав № 4
Портландцемент, кг	450	400	400	400
Песок, кг	120	120	-	120
Вода, л	280	280	330	280
Суперпластификатор «Глениум 51», л	2,4	2,4	2,4	2,4
Пенообразующая добавка «Пеностром», л	0,7	1,35	1,5	2,05
Дробленый пенополистирол, кг	7,5	10	12,5	15
Микрокремнезем, кг	-	-	120	-

Испытания контрольных образцов

В соответствии с вышеприведенными составами были изготовлены серии образцов-кубов с ребром длиной 100 мм в калиброванных металлических формах ЗФК-10 (ГОСТ 22685-89), внутренние поверхности которых предварительно были покрыты тонким слоем смазки для исключения прилипания бетона к металлической форме. После изготовления на образцы была нанесена маркировка с номером образца и датой его изготовления.

Согласно п. 4.1.3 ГОСТ 10180-2012 было принято по три образца-куба в каждой серии. После распалубливания образцы находились в нормальных условиях твердения: с температурой (20 ± 2) °С и относительной влажности воздуха 95-98 %.

По истечении 28 суток полученные образцы испытывались на прочность. Перед испытанием на сжатие проводилось взвешивание образцов и вычисление значений средней плотности бетона в каждом образце.

Плотность бетона вычисляется по следующей формуле:

$$\rho_w = \frac{m}{V} \times 1000 (\text{г} / \text{см}^3),$$

где m – масса образца, г; V – объем образца, см³.

Средняя плотность бетона определяется по формуле:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_{w,i}}{n} (\text{кг} / \text{м}^3),$$

где $\rho_{w,i}$ – плотность образца в серии, кг/м³; n – количество образцов в серии, шт.

Определение плотности образцов всех составов представлено в табличной форме (табл. 2).

Таблица 2

Определение плотности бетона

№ состава	№ образца	Масса, г	Размер, см	Плотность, кг/м ³	Средняя плотность, кг/м ³	Марка бетона по плотности
1	1	1028	10×10×10	1028	1082	D1100
	2	1140		1140		
	3	1080		1080		
2	1	623	10×10×10	623	623	D600
	2	619		619		
	3	626		626		
3	1	823	10×10×10	823	824	D800
	2	828		828		
	3	830		830		
4	1	740	10×10×10	740	738	D750
	2	736		736		
	3	739		739		

Далее были проведены испытания образцов-кубов по прочности на сжатие в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-2012. Испытания проводились на гидравлическом прессе П-10, оснащённом торсионным силоизмерителем. Отображение создаваемой на образец нагрузки выводится на аналоговый циферблат.

Испытание начинается с осмотра и обмера образцов. При осмотре отмечают опорные грани, к которым будет приложена нагрузка. На нижнюю опорную плиту прессы поочередно устанавливаются образцы и строго центрируются при этом по нанесенным на нее рискам. Нагружение образцов осуществляется непрерывно с постоянной скоростью. Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принимается за величину разрушающей нагрузки. Средняя площадь рабочего сечения образца, определяется как среднее арифметическое значение площадей его противоположных граней, соприкасающихся с плитами прессы.

Прочность образцов на сжатие вычисляется по формуле:

$$R = \alpha \frac{F}{A} k_w (\text{МПа}),$$

где F – разрушающая нагрузка, Н;

A – площадь рабочего сечения образца, мм²;

k_w – поправочный коэффициент, учитывающий влажность образцов в момент испытания;

α – масштабный коэффициент для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базовых размера и формы.

В соответствии с табл. 4 ГОСТ 10180-2012 масштабный коэффициент α принимаем равным 0,95 для образцов-кубов с ребром длиной 100 мм из ячеистого бетона.

Поправочный коэффициент k_w принимаем равным 1 согласно табл. 5 ГОСТ 10180-2012.

Фактическая прочность бетона в партии рассчитывается по формуле:

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n},$$

где R_i – единичное значение прочности бетона образца, МПа;

n – общее число единичных значений прочности бетона в партии.

Фактический класс бетона по прочности монолитных конструкций при контроле по схеме Г принимается равным 80 % средней прочности бетона конструкций: $V_\phi = 0,8R_m$.

Результаты испытаний и определения прочности образцов на сжатие представлены в табл. 3.

Таблица 3

Определение прочности бетона на сжатие

№ состава	№ образца	Разрушающая нагрузка F, Н	Площадь рабочего сечения A, см ²	Прочность образца, приведенная к базовому размеру R, МПа	Средняя прочность образцов, МПа	Фактический класс бетона B _ф	Марка бетона по прочности
1	1	62784	10 ⁴	5,96	6,46	5,17	B5
	2	73182	10 ⁴	6,95			
	3	68362	10 ⁴	6,49			
2	1	34421	10 ⁴	3,27	3,28	2,63	B2,5
	2	34158	10 ⁴	3,26			
	3	34842	10 ⁴	3,31			
3	1	29038	10 ⁴	2,76	2,60	2,08	B2
	2	25114	10 ⁴	2,39			
	3	27860	10 ⁴	2,65			
4	1	33943	10 ⁴	3,22	3,17	2,54	B2,5
	2	32338	10 ⁴	3,07			
	3	33846	10 ⁴	3,21			

ГОСТ Р 51263-2012 предлагает максимальный класс пенополистиролбетона по прочности на сжатие B2,5. Этому классу соответствуют 2 состава: № 2 и № 4. Однако состав № 4 имеет марку бетона по плотности D750, а состав № 2 – D600. Следовательно, состав № 2 обладает заданной прочностью при меньшей плотности.

Таким образом, в результате проведенных экспериментов был получен пенополистиролбетон маркой по плотности D600 и прочности на сжатие B2,5, что соответствует требованиям ГОСТ Р 51263-2012.

Заключение

1. На базе производственного предприятия «КДСК» были проведены эксперименты по подбору состава пенополистиролбетонной смеси на основе местных сырьевых материалов для изготовления энергоэффективных стеновых блоков.

2. В результате проведенных испытаний был получен наиболее оптимальный состав пенополистиролбетона, удовлетворяющий требованиям ГОСТ Р 51263-2012, а также предложена технология производства пенополистиролбетонной смеси с применением вторичного сырья и пенобетоносмесительной установки СПБУ-150 Люкс.

3. Предложенная технология производства пенополистиролбетона может послужить решением проблемы, связанной со скоплением большого количества отходов полистирола на предприятии «КДСК».

Список библиографических ссылок

1. Шугуан Х., Чжоу В. Ф. Легкие бетоны. М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2016. 304 с.
2. Свиридов М. С., Шевцова Т. И. Полистиролбетон как эффективный теплоизоляционный материал : сб. ст. Всероссийской научно-методической конференции / ОГУ. Оренбург, 2017. С. 954–957.
3. Соколов В. Н. Конструирование комплексных паро-, тепло- и гидроизоляционных полистиролбетонов. М. : МГСУ, 2015. 200 с.
4. Баженов Ю. М., Король Е. А., Ерофеев В. Т., Митина Е. А. Ограждающие конструкции с использованием бетонов низкой теплопроводности: основы теории, методы расчета и технологическое проектирование. М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. 305 с.

5. Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р. Строительство и минеральные вяжущие прошлого, настоящего и будущего // Архитектура. Строительство. Образование. 2013. № 2. С. 202–210.
6. Дворкин Л. И. Специальные бетоны. М. : Инфра-Инженерия, 2012. 368 с.
7. Садович М. А. Пенополистиролцементные композиции в строительных материалах: Результаты исследований и внедрений в строительство. Братск : БрГТУ, 2000. 147 с.
8. Пак А. А., Сухорукова Р. Н. Полистиролгазобетон: технология и свойства композиционных изделий. Апатиты : Издательство Кольского научного центра РАН, 2012. 101 с.
9. Sayadi A. A., Tapia J. V., Neitzert T. R., Clifton C. G. Effects of expanded polystyrene (EPS) particles on fire resistance, thermal conductivity and compressive strength of foamed concrete // Construction and Building Materials. 2016. № 112. P. 716–724.
10. Herki B. A., Khatib J. M., Negim E. M. Lightweight Concrete Made from Waste Polystyrene and Fly Ash // World Applied Sciences Journal. 2013. № 21 (9). P. 1356–1360.
11. Kaya B. A., Kar F. Thermal and Mechanical Properties of Concretes with Styropor // Journal of Applied Mathematics and Physics. 2014. № 2. P. 310–315.

Farrakhova Evgeniya Olegovna

engineer

E-mail: evgeniya.f11@mail.ru

Ibragimov Ruslan Abdirashitovich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: rusmag007@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The development of energy-efficient wall blocks made of expanded polystyrene concrete

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to develop an expanded polystyrene concrete mixture using crushed expanded polystyrene and local raw materials of the manufacturing enterprise «Kazanskii Domostroitel'nyi Kombinat» («KDSK») to create the energy-efficient wall blocks.

Results. The four experimental compositions were tested. The analysis of the results revealed the optimal composition of expanded polystyrene concrete for producing the heat-saving wall blocks class according to average density D600 and compressive strength B2,5.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is to increase the efficiency of buildings thermal protection through the use of energy-saving wall blocks made of expanded polystyrene concrete. In addition, the proposed solution to the problem of recycling the waste polystyrene at the enterprise «KDSK» contributes to increasing the economic and technological efficiency of the enterprise itself.

Keywords: waste polystyrene, expanded polystyrene concrete, technology of expanded polystyrene concrete production, wall blocks, energy saving.

References

1. Shuguan H., Chjou V. F. Lightweight concretes. M. : Izdatel'stvo Associacii stroitel'nykh vuzov, 2016. 304 p.
2. Sviridov M. S., Shevtsova T. I. Polystyrene concrete as an effective insulating material : dig. of art. All-Russian scientific-methodological conference / OGU. Orenburg, 2017. P. 954–957.
3. Sokolov V. N. Construction of complex steam, heat and waterproof polystyrene concrete. M. : MGSU, 2015. 200 p.

4. Bazhenov Yu. M., Korol E. A., Erofeev V. T., Mitina E. A. Enclosing structures using concretes of low thermal conductivity: theory bases, calculation methods and technological design. M. : Izdatelstvo Associacii stroitelnih vuzov, 2008. 305 p.
5. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R. Construction and mineral binding the past, present and future // *Arhitektura. Stroitelstvo. Obrazovanie*. 2013. № 2. P. 202–210.
6. Dvorkin L. I. Special Concretes. M. : Infra- Injeneriya, 2012. 368 p.
7. Sadovich M. A. Foam polystyrene cement compositions in building materials: Results of research and implementation in construction. Bratsk : BrGTU, 2000. 147 p.
8. Pak A. A., Sukhorukova R. N. Polystyrene gas-concrete: technology and properties of composite products. Apatity : Izdatelstvo Kolskogo nauchnogo centra RAN, 2012. 101 p.
9. Sayadi A. A., Tapia J. V., Neitzert T. R., Clifton C. G. Effects of expanded polystyrene (EPS) particles on fire resistance, thermal conductivity and compressive strength of foamed concrete // *Construction and Building Materials*. 2016. № 112. P. 716–724.
10. Herki B. A., Khatib J. M., Negim E. M. Lightweight Concrete Made from Waste Polystyrene and Fly Ash // *World Applied Sciences Journal*. 2013. № 21 (9). P. 1356–1360.
11. Kaya B. A., Kar F. Thermal and Mechanical Properties of Concretes with Styropor // *Journal of Applied Mathematics and Physics*. 2014. № 2. P. 310–315.