

Часть III ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И НОВЕЙШИХ ТЕХНОЛОГИЙ

3.1 Физико-механические и теплофизические свойства новых видов пористых легких бетонов для железобетонных изделий

В настоящее время особенную важность приобрела необходимость поиска новых подходов к решению проблем по теплозащите зданий и сооружений в соответствии с современными требованиями действующей нормативной документации в строительстве. В связи с этим возникла потребность в применении новых видов конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов и изделий из них, отвечающих требованиям данных норм, технологичных в производстве и отвечающих условиям экономической целесообразности. Новым требованиям сегодня может соответствовать строительный материал, использующийся под названиями «полистиролбетон» или «EPS beton» (за рубежом).

Полистиролбетоном называется бетон, заполнителем которого являются гранулы вспененного полистирола. По своим свойствам полистиролбетон (ПСБ) относится к легким бетонам, однако имеет ряд существенных отличий. К его достоинствам относят возможность варьирования в широких пределах его плотности, в результате чего полистиролбетон может быть как теплоизоляционным, так и конструкционным материалом.

Неуклонный рост интереса к нему на рынках строительных материалов в России и за рубежом, обуславливается высокой эффективностью применения изделий из ПСБ.

Сегодня используется только ПСБ низкой плотности (150-600 кг/м³), как теплоизоляционный материал, хотя уже для стеновых камней учитывается и возможность восприятия стеновой нагрузки. В принципе, полистиролбетон может воспринимать нагрузки от конструктивных элементов, он может использоваться в любых изделиях, в том числе армированных, являющихся одновременно теплоизоляци-

онными и несущими. Применение конструкционного ПСБ в строительстве востребовано и перспективно.

Использование полистиролбетона в изделиях, выполняющих функцию несущих, требует изучения целого ряда вопросов. В первую очередь необходимо изучить свойства ПСБ как конструкционного материала. Свойства полистиролбетона зависят как от состава материала, так и от способа его изготовления. Для того, чтобы говорить о свойствах материала, необходимо определиться с его сырьевым составом и рациональной технологией изготовления.

Представляется целесообразным изготавливать из конструкционного полистиролбетона, например, стеновые блоки и надоконные перемычки [1–4]. Он является перспективным и для изготовления крупноразмерных стеновых панелей.

Конструкционный полистиролбетон в диапазоне плотностей 1200–1500 кг/м³ и класса В7,5–В15 востребован для проектирования конструкций в районах России с сейсмическими зонами 8–9 баллов (например, Улан-Удэ и Иркутск), так как удовлетворяет требованиям СНиП II-7-81 «Сеймика» (раздел: здания с несущими стенами из кирпича или каменной кладки).

Исследования различных свойств полистиролбетона низкой плотности в более или менее широких объемах ведутся более 40 лет.

Во ВНИИЖБ с конца 80-х годов и по настоящее время исследования свойств теплоизоляционного ПСБ проводятся под руководством проф. В. А. Рахманова и В. Г. Довжика [5; 6; 14; 15]. Накопленные экспериментальные данные по физико-механическим свойствам ПСБ и полученный опыт эксплуатации различных конструкций из него в России позволили ввести в действие с 01.09.1999 г. государственный стандарт «Полистиролбетон. Технические условия» (ГОСТ Р 51263-99). Настоящий стандарт устанавливает требования к полистиролбетону и полистиролбетонным смесям класса по прочности на сжатие до В2,5 и марки по плотности до D600.

Исследования поведения бетона с применением полистирольного заполнителя во взаимодействии с керамзитобетоном проводились в начале 80-х годов к. т. н. А. А. Евдокимовым совместно с Л. Н. Брусковой (ЦНИИСК им. Кучеренко) [7].

В НИИЖБ А. А. Евдокимовым совместно с О. С. Дайнеко была доказана возможность изготовления однослойных стеновых панелей из полистиролбетона размером 3×6×0,2 м для зданий сельскохозяйственного назначения [8].

О. В. Журба исследовала легкие бетоны пониженной плотности на основе регенерированного пенополистирольного сырья [9].

Ф. Л. Капустин, Е. Б. Владимирова и сотрудники проблемной лаборатории кафедры «Материаловедение в строительстве» УГТУ-УПИ исследовали влияние гранулометрического состава пенополистирола на прочность теплоизоляционного бетона в диапазоне плотностей от 200 до 600 кг/м³ [10].

В конце 80-х годов в НИИЖБ изучением свойств ПСБ занималась к. т. н. Т. И. Милых. В 1990-х годах исследованием оптимальных режимов ТВО для полистиролбетона в НИИЖБ занимался В. А. Кириченко [11; 12].

На территории республики Беларусь теплоизоляционный полистиролбетон был включен в нормативные документы с 1993 года. Институтом строительства и архитектуры Госстроя Белоруссии был разработан способ изготовления теплоизоляционных полистиролбетонных плит. В настоящий момент в республике Беларусь действует аналог СНиП П-3-79* нормативный документ СНБ 2.04.01-97 «Строительная теплотехника», в котором содержатся характеристики для трех марок ПСБ по плотности D300, D500 и D600.

В лаборатории научной части Уралпромстройинипроекта (ныне ОАО институт «УралНИИАС») исследования полистиролбетона проводились с середины 80-х годов прошлого века. Основными направлениями данных работ было использование гранул вспененного полистирола взамен воздухововлекающих добавок в конструкционно-теплоизоляционном керамзитобетоне, использование полистиролбетона на зольном заполнителе для замоноличивания вертикальных межпанельных стыков в зданиях 97 и 137 серий, а также как теплоизоляционного слоя в трехслойных панелях промышленных зданий. Проводились исследования физико-механических свойств полистиролбетонных смесей и отработка технологических параметров. Было получено эмпирическое уравнение прочности полистиролбетона для цементно-зольных растворов различного состава.

В. Г. Парфенов исследовал составы конструктивного стиропорбетона плотностью 800-1200 кг/м³ для нефтегазового строительства в условиях севера Тюмени и ХМАО на местном заполнителе из строительного песка, однако физико-механические и эксплуатационные свойства материала были изучены в очень малом объеме ввиду иной, более широкой постановки цели исследования [13].

Ремонт стен из ячеистого бетона полистиролбетоном и изменение прочности на отрыв теплоизоляционного ПСБ от ячеистого бетона под действием циклического замораживания и оттаивания изучал И. Л. Тонков [16].

В. Н. Ярмаковский, И. С. Хаймов и В. Г. Петров разработали составы модифицированного химическими добавками полистиролбетона

пониженной плотности (250-300 кг/м³) для использования в качестве утеплителя в кровлях жилых и промышленных зданий [17].

В 1991 году на основании проведенных исследований югославские ученые М. Муравлев и Дж. Драгика предложили использование полистиролбетона (EPS beton), армированного полипропиленовыми волокнами, как материала для монтажных элементов [18; 19]. Для ПСБ в диапазоне плотностей 1122-1452 кг/м³ ими были получены значения прочности от 7,73 до 14,62 МПа. За счет дополнительного армирования полипропиленовыми волокнами было достигнуто увеличение прочности на растяжение при изгибе и снижение трещинообразования.

Немецкие исследователи В. Бэтж и В. Ниёмэйер утверждают, что по своим эксплуатационным характеристикам данный материал не уступает другим видам легких бетонов и может быть использован в качестве морозостойкого основания под дорожное покрытие [20]. Ш. Эйк исследовал составы полистиролбетона в диапазоне плотностей от 120 до 980 кг/м³. Данные о прочности на сжатие, растяжение при изгибе, водопоглощению и теплопроводности десяти исследованных составов приводятся в статье «Стиропор-бетон», опубликованной в шестом номере журнала «Цемент – Известь – Гипс» за 1959 год [21].

Позже, в 1970 году, чешский ученый М. Гвузд [22] опубликовал результаты своих исследований в статье «Полистирольный бетон» журнала «Pozemni stavbu», в которой говорится об исследованиях полистиролбетона для применения в стеновых панелях. Исследовался ПСБ в диапазоне плотностей от 400 до 1200 кг/м³, прочностью на сжатие от 1 до 8 МПа и прочностью на растяжение от 0,2 до 1,5 МПа.

К. Кохлинг в 1970 году в своих исследованиях получил ПСБ с наивысшей плотностью 1150 кг/м³, с прочностью на сжатие, равной 130 кг/см². Прочность полистиролбетона на сжатие, соответствующая марке М100 (классу В 7,5), была получена на плотности материала 1100 кг/м³ [23; 24].

По данным В. Суссмана, в 1975 году при средней плотности полистиролбетона, равной 1000 кг/м³, была получена прочность на сжатие, равная 70 кг/см² [25; 26].

В 1998 году австрийский ученый Йоханн Литзка изложил результаты исследований конструкций из ПСБ для дорожного строительства [27]. Установлено, что ПСБ может использоваться в качестве утепляющего среднего слоя в дорожном полотне.

В том же 1998 году в Восточной Европе (в частности, в Польше и Чехии) вступили в действие строительные нормы PN 63 01-01-98 и PN 63 02-01-98, относящиеся к теплоизоляционному полистиролбетону и изделиям из него. В республике Словения в 2003 году магистр

А. Систерчик представил исследования полистиролбетона как теплоизоляционного материала, перспективного для утепления фасадов стен зданий [28].

В Японии изучением теплофизических свойств бетонов низкой плотности на полистирольных заполнителях для применения их в конструкциях сейсмостойких зданий и производственных зданий с агрессивными средами занимались ученые К. Окада и И. Охама [29].

Анализ состояния вопроса показывал, что большая часть ранее проведенных исследований посвящена теплоизоляционным характеристикам ПСБ в диапазоне плотностей от 200 до 600 кг/м³ с целью применения данного материала в качестве утеплителя. Исследования ПСБ в диапазоне плотностей от 800 до 1500 кг/м³ в качестве материала для несущих строительных конструкций почти не проводились.

Несмотря на достаточно большой период времени, в течение которого ведутся исследования полистиролбетона, какой-либо расчетной методики, учитывающей фактические свойства данного материала, отличной от методик расчета и проектирования конструкций из легких бетонов на пористых заполнителях и ячеистых бетонов, обобщающей полученные различными исследователями результаты, для него не было создано.

Отмечено, что сложность и многофакторность данной проблемы, недостаток экспериментальных данных и отсутствие обоснованных рекомендаций по расчету и проектированию изделий из конструкционного полистиролбетона, имеющих хорошие теплотехнические характеристики, при растущей в них потребности, обуславливают необходимость проведения дальнейших исследований.

Целями проведенного исследования явились разработка рациональных составов, выбор технологии изготовления изделий и изучение прочностных, деформационных и эксплуатационных характеристик полистиролбетона как материала для несущих строительных конструкций и изделий под кратковременным и длительным воздействием нагрузки.

Выполненная работа является составной частью научного направления по исследованию свойств новых видов легких бетонов, развиваемого на строительном факультете ФГАОУ ВПО «УрФУ» с 2003 года [1-4]. Проводимые исследования посвящены изучению работы полистиролбетона при различных случаях загрузки, выявлению картины деформирования и разрушения материала и, на базе этого, описанию его свойств, определяющих возможность прогнозирования его поведения под действием нагрузки.

В настоящее время на основе экспериментальных данных по подбору оптимальных составов и исследованию прочностных и де-

формационных характеристик конструкционного полистиролбетона по разработанным авторами чертежам изготовлена опытная серия перемычек, армированных сварными каркасами. Проведены исследования работы данных изделий под действием нагрузки в условиях изгиба.

На начальном этапе работы, на основании предварительных исследований было проведено изучение и аргументирован выбор необходимых сырьевых материалов: вяжущего, фракции основного заполнителя, заполнителя из местных техногенных отходов предприятий Уральского региона, воды, химической добавки.

Сравнение химических добавок по критерию наивысшей прочности показано на рис. 1.

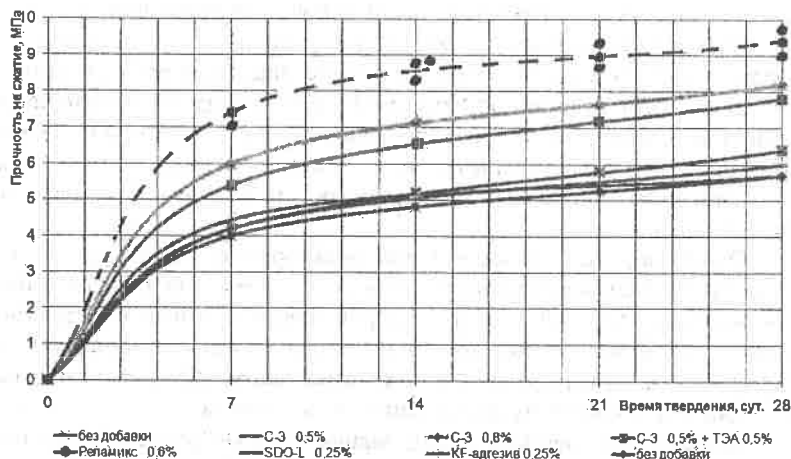


Рис. 1. Зависимость прочности на сжатие образцов полистиролбетона плотностью 1000 кг/м^3 с применением различных химических добавок от времени твердения

Выбрана оптимальная химическая добавка – пластификатор «Реламикс-2» в количестве 0,6-1,0 % от массы цемента для проектирования составов полистиролбетона, позволяющая на 30 % улучшить технологические свойства бетонной смеси.

Были опробованы несколько вариантов технологий термической обработки строительных изделий из теплоизоляционного полистиролбетона, предложенные НИИЖБ, ВЗИСИ, МГСУ и УралпромстройНИИпроектом. Для конструкционного полистиролбетона выбран наиболее рациональный вариант НИИЖБ с учетом достижения наилучшей прочности изделия при необходимой теплопроводности и наименьших экономических затратах. Авторами установлено, что для

достижения наиболее высокой прочности конструкционного полистиролбетона необходимо использовать высокоактивные цементы или технологические приемы, повышающие активность вяжущего.

Предлагается использование следующих технологических приемов:

1 Использование фракции основного заполнителя гранул пенополистирола размером 2,5-5,0 мм. Увеличению прочности полистиролбетона заданной плотности способствует повышение насыпной плотности пенополистирольного заполнителя, связанное с уменьшением его межзерновой пустотности, размеров зерен, а также с увеличением плотности (деформативности) самих полистирольных зерен;

2 Активация вяжущих способностей заполнителя из доменного гранулированного шлака и повышение гидрофильности поверхности гранул пенополистирола при предварительной обработке их известковым молоком перед введением в состав бетонной смеси;

3 Термическая обработка образцов полистиролбетона форсированным электропрогревом током переменной частоты при напряжении 36-42 В в жестких формах со следующим режимом:

- предварительная выдержка – 0,5-1,5 ч;
- подъем температуры до $+75^{\circ}\text{C}$ – 3-3,5 ч;
- термическое остывание – 19-20 ч.

Помимо этого при производстве изделий рекомендуется использование бетономешалки с горизонтально расположенным валом.

В процессе исследования были подобраны рациональные составы полистиролбетона для основного эксперимента на инертном заполнителе из кварцевого песка ЗАО «Карьер Гора Хрустальная» и заполнителе из доменного гранулированного шлака ОАО «Металлургический завод им. А. К. Серова», на основе которых изготавливались несущие конструкции из ПСБ. Далее по ходу работы исследовались образцы ПСБ данных составов как естественного, так и тепловлажностного режимов твердения.

В процессе основного эксперимента было испытано более 40 серий призм и кубов, изготовленных одновременно с несущими надоконными перемычками из ПСБ. Обработку экспериментальных данных и получение уравнения регрессии выполняли методами математической статистики.

Установлены зависимости прочностных характеристик от технологических факторов и сырьевых материалов полистиролбетонной смеси. Систематизированы результаты измерений и проведено их сравнение с результатами, полученными в ходе других исследований, и их анализ.

Уровни и интервалы варьирования исходных компонентов в кодированных значениях показаны в таблице 1.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования

Исходные компоненты	Уровень			Интервал варьирования
	Верхний +1	Основной 0	Нижний -1	
x_1 , кг	820	700	450	10
x_2 , кг	450	370	280	10
x_3 , л	720	800	900	10

Зависимость для изменения кубиковой прочности на сжатие при различном сочетании исходных компонентов (расход цемента обозначен x_1 , инертного заполнителя — x_2 , гранул полистирола — x_3), МПа в кодированных значениях:

$$R_m = 10,82x_1 + 3,63x_2 - 1,9x_1x_2 - 2,1x_1x_3 - 6,53x_2x_3 + 11,67x_1x_2x_3 \quad (1)$$

Результаты исследований зависимости предела прочности на сжатие R_m конструкционного полистиролбетона от его плотности γ_{cp} описываются в первом приближении уравнением регрессии:

$$R_m = 0,4 + 0,0086\gamma_{cp}. \quad (2)$$

Ниже приведена зависимость между призмочной R_b и кубиковой R_m прочностями на сжатие, полученная экспериментально теоретическим путем:

$$R_b = R_m (0,9317 - 0,0304R_m). \quad (3)$$

Зависимость для изменения прочности на растяжение при изгибе $R_{28изг}$ при различных сочетаниях исходных компонентов, МПа, в кодированных значениях:

$$R_{28изг} = 3,03x_1 + 1,38x_2 - 1,09x_1x_2 - 3,78x_1x_3 - 0,233x_2x_3 - 8,30x_1x_2x_3 \quad (4)$$

При визуальном осмотре поверхности испытанных образцов в месте разрушения материала авторами отмечается, что разрушение полистиролбетона происходит исключительно по контактному слою цементный камень — заполнитель, обнажая поверхность полистирольного зерна и плотной растворной части межзернового пространства.

Это говорит о том, что адгезионное сцепление цементного камня с поверхностью полистирольного зерна незначительное, в данном случае вклад в прочность материала вносит повышенная прочность поверхности контактного слоя цементного камня, образованная в результате обволакивания бетонной смесью гранул полистирола.

Для полистиролбетона соотношение между прочностью бетона R_b и его растворной составляющей зависит от относительного объемного

содержания зерен крупного заполнителя (ϕ), характеристик пенополистирола и мало зависит от прочности цементной матрицы ($R_{ц.м.}$).

Опыты со штампами, установленными в центре кубов при испытании на местное сжатие, показали превышение теоретических значений прочности, определенных по Справочнику по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из ячеистых бетонов, более чем в 1,2 раза.

Прочность ПСБ на осевое растяжение исследовалась на контрольных образцах – призмах размером 100×100×400 мм в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-90 «Бетоны. Методы определения прочности на сжатие и растяжение» на разрывной машине Р-5.

На основании анализа результатов проведенных авторами экспериментов и анализа ранее проведенных в НИИЖБ исследований легких бетонов можно сделать вывод о том, что для полистиролбетона плотности 800-1450 кг/м³ выявлена повышенная прочность на осевое растяжение по сравнению с ячеистым бетоном и керамзитобетоном в том же диапазоне плотностей.

Зависимости прочности на сжатие ячеистого бетона и ПСБ приведены на рис. 2.

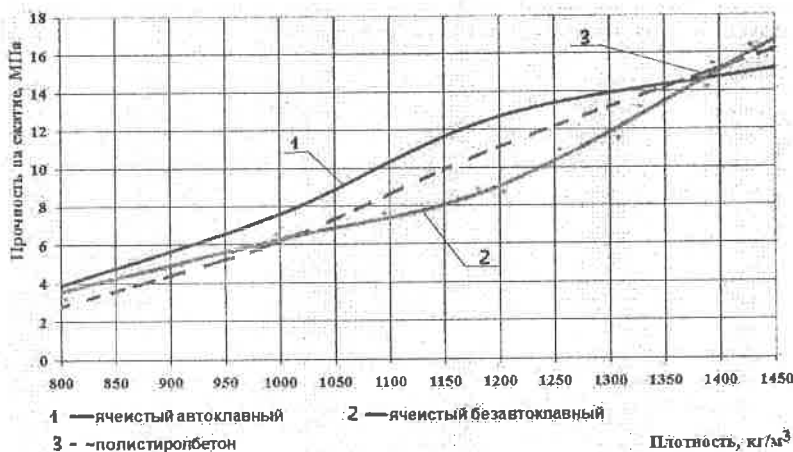


Рис. 2. Зависимость прочности на сжатие ячеистого бетона и конструкционного полистиролбетона от плотности

Полученные экспериментальные значения выше на 20-40 % аналогичных показателей, установленных СНиП 2.03.01-84* для легких бетонов. Данное свойство конструкционного ПСБ объясняется тем, что гранулы полистирольного заполнителя также вносят свой вклад в восприятие действующих на образец растягивающих напряжений. Прочность на растяжение при изгибе полистиролбетона растет с по-

вышением его прочности на сжатие, но с увеличением прочности соотношение $R_{из}/R_{сж}$ уменьшается. Однако в целом этот показатель у полистиролбетона выше, чем у обычных легких, а также ячеистых бетонов. На основе экспериментальных данных получены рациональные составы ПСБ по прочностным характеристикам и средней плотности, разработаны математические зависимости прочностных характеристик от технологических факторов. Прочностные показатели данных рациональных составов рекомендуются для учета при проектировании изделий из конструкционного полистиролбетона.

В результате натурных экспериментов по определению деформативных свойств конструкционного ПСБ рациональных составов были получены новые экспериментальные данные о трещиностойкости, начальном модуле упругости, предельных деформациях сжатия и растяжения, усадке, ползучести и температурных деформациях. Начальный модуль упругости ПСБ и коэффициент Пуассона определялись по методике, принятой в ГОСТ 24452-80.

В задачу исследования входило уточнение расчетных формул для определения начального модуля упругости ПСБ в исследуемом диапазоне плотностей.

На рис. 3 показана зависимость между плотностью и модулем упругости для конструкционного полистиролбетона и ячеистого бетона.

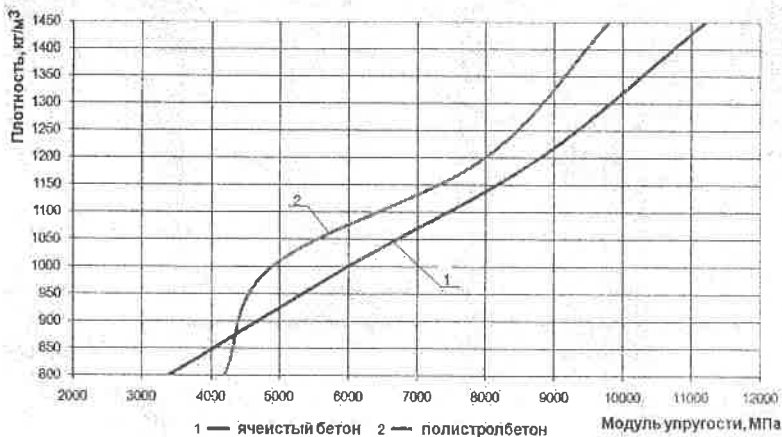


Рис. 3. Зависимость модуля упругости от его плотности для конструкционного полистиролбетона и ячеистого бетона

Измерения деформаций призм производились согласно ГОСТ 24544-81*. Значение модуля упругости при растяжении ПСБ плотности

700-800 кг/м³ на 30 % ниже, чем для керамзито- и керамзитоперлитобетона той же прочности на сжатие, но более высоких плотностей.

Статистическая обработка экспериментальных данных свидетельствует о том, что для ПСБ в диапазоне плотностей 800-1450 кг/м³ нормировать E_b по единой с керамзитобетоном зависимости невозможно.

Полистиролбетон начиная с плотности 875 кг/м³ и до плотности 1250 кг/м³ имеет модуль упругости на 20 % ниже, чем у ячеистого бетона. Хотя зависимость для ячеистого бетона строилась по средним значениям, взятым из СНиП 2.03.01-84*, а отклонение от среднего значения для модуля упругости ячеистого бетона до 20 % нормами допускается.

По результатам проведенных экспериментов для конструкционного полистиролбетона в диапазоне плотностей от 900 до 1500 кг/м³ формула зависимости начального модуля упругости E_b от плотности ρ_b и кубиковой прочности на сжатие R_m может быть скорректирована и примет такой вид:

$$E_b = 1235 \rho_b \sqrt[3]{10 R_m} \quad (5)$$

Коэффициент вариации величины статического модуля упругости серий из 3 образцов-призм одного состава полистиролбетона составил $8 \div 10$ %.

Условная предельная деформативность авторами данной работы определялась индикаторами часового типа МИГ и МИГП с ценой деления 0,001 мм в процессе испытаний прочности на осевое сжатие образцов-призм из полистиролбетона.

В результате экспериментов, проведенных в ходе работы, значения предельных деформаций сжатия для конструкционного ПСБ в диапазоне плотностей от 1000 до 1500 кг/м³ составили 1,8-1,4 мм/м, а значения предельных деформаций растяжения — 0,18-0,12 мм/м.

Необходимо отметить, что, по данным проведенных нами экспериментальных исследований, предельная сжимаемость и предельная растяжимость полистиролбетона в диапазоне исследуемых плотностей от 800 до 1000 кг/м³ явно не зависят от его прочности на осевое сжатие. В диапазоне исследуемых плотностей от 1000 до 1500 кг/м³ определение предельной сжимаемости и предельной растяжимости конструкционного ПСБ возможно по обобщенной формуле для легких бетонов, предлагаемой в Европейских нормах СЕВ и ЕНР.

Начальный коэффициент поперечной деформации конструкционного полистиролбетона μ (коэффициент Пуассона) на заполнителе из доменного гранулированного шлака составил для класса В7,5 0,23, а на заполнителе из кварцевого песка 0,21 и незначительно превысил коэффициент Пуассона тяжелого бетона. На основании данных экс-

периментальных значений коэффициента Пуассона и исходя из предпосылок теории упругости можно сделать следующие выводы:

- чем однородней гранулометрический состав оптимальной фракции (2-5 мм) гранул вспененного полистирола, используемого в качестве основного заполнителя, при их равномерном распределении по объему растворной матрицы, тем меньше деформативность и выше прочность конструкционного полистиролбетона под действием длительной нагрузки;

- характер работы полистиролбетона при действии постоянной длительной нагрузки отличается от хорошо изученного характера работы тяжелого бетона и керамзитобетона. Дополнительным фактором, повышающим деформативность материала, являются особенности его трехфазной композитной структуры.

Коэффициент линейной температурной деформации полистиролбетона на доменном гранулированном шлаке в диапазоне плотностей от 1000 до 1450 кг/м³ составил от 5,5 до $10,2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Коэффициент линейной температурной деформации полистиролбетона на кварцевом песке в диапазоне плотностей от 1000 до 1500 кг/м³ составил от 6,5 до $11,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Исследование температурных деформаций конструкционного полистиролбетона, проведенное по методике НИИСФ, разработанной Г. И. Вейденбаумом для ячеистых бетонов, привело к разработке эмпирических формул для вычисления коэффициента температурной деформации (в первом приближении) в интервале температур от -40 до +80 °C в зависимости от влажности по объему ω (%) и температуры (t):

$$\begin{aligned}\alpha_{bt-} &= 8,04 + 0,366\omega + 0,004\omega^2 + (0,064 - 0,004\omega + 0,0002\omega^2) t, \\ \alpha_{bt+} &= 8,04 - 0,189\omega + 0,005\omega^2 + (0,064 - 0,005\omega + 0,0007\omega^2) t.\end{aligned}\quad (6)$$

Нижний температурный предел, который выдерживают гранулы пенополистирола без особых изменений, составляет -180 °C. Учитывая, что температурное расширение гранул ПСБ в структуре растворной матрицы весьма незначительно, следует отметить, что на практике он выдерживает все температуры, которые имеют место в типовом строительстве.

Исследования усадки и ползучести проводились в период с декабря 2003 по июль 2010 гг. на серии образцов-призм. Деформации усадки полистиролбетона, измерявшиеся в течение 200 суток, в заданный момент времени t вычислялись по формуле

$$\varepsilon_S(t, t_W) = \varepsilon_S(\infty, t_W) [1 - e^{-\alpha_S(t - t_W)}], \quad (7)$$

где $\varepsilon_S(\infty, t_W)$ – предельное значение относительной деформации усадки с момента начала высыхания полистиролбетонного образца.

Ползучесть испытывалась в установках пружинного типа, по методике, принятой для испытания образцов призм из ячеистого бетона в лабораторном помещении с контролируемыми показателями по влажности и температуре. Более значительно деформации ползучести способствуют крупные поры, образующиеся в цементном камне вокруг гранул полистирола различного фракционного состава.

Результаты измерений значений ползучести полистиролбетона на заполнителях кварцевом песке и доменном гранулированном шлаке и ячеистого бетона автоклавного твердения с плотностью 1000 кг/м^3 для сравнения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты испытаний по определению ползучести полистиролбетона плотностью 1000 кг/м^3

№ п/п	Показатель	ПСБ на кварцевом песке	ПСБ на доменном граншлаке	Ячеистый бетон
1	Кубиковая прочность, МПа	9,8	10,7	8,2
2	Призменная прочность, МПа	7,2	8,4	6,8
3	Степень обжатия образцов	$0,6R_{\text{разр}}$	$0,6R_{\text{разр}}$	$0,6R_{\text{разр}}$
4	Напряжение, действующее в образцах-призмах σ , МПа	9,6	8,1	7,6
5	Упругие деформации при загрузке образцов ϵ_y	0,210	0,240	0,280
6	Деформации ползучести при загрузке образцов, мм/м	0,024	0,028	0,036
7	Деформации ползучести от длительного нагружения призм на все время испытания, мм/м	0,265	0,321	0,41
8	Полные деформации ползучести $\epsilon_{\text{полз}}$, мм/м	0,289	0,349	0,440
9	Полные деформации образцов $\epsilon_y + \epsilon_{\text{полз}} = \epsilon_{\delta}$, мм/м	0,499	0,589	0,720
10	Отношение полных деформаций ползучести к упругим	2,38	1,45	1,57
11	Отношение полных деформаций ползучести к полным	0,579	0,592	0,610
12	Отношение упругих деформаций к полным деформациям образца $\nu = \frac{\epsilon_y}{\epsilon_{\delta}}$	0,42	0,41	0,39
13	Наибольшая мера ползучести $C = \frac{\sigma_{\text{полз}}}{\sigma} 10^5 \frac{\text{мм/м}}{\text{кг/см}^2}$	2,86	3,05	3,2

Уравнение регрессии для значения ползучести имеет вид:

$$\frac{\Delta t}{\varepsilon_{\text{п}}(t)} = (0,359 + 0,00426 \cdot \Delta t) \cdot 10^5 \text{ сут.} \quad (8)$$

Учитывая, что деформации ползучести полистиролбетона превышают аналогичные деформации поризованных легких бетонов на пористом мелком заполнителе, значение коэффициента кратковременной ползучести φ_{b1} , нормируемого п. 4.24 СНиП, рекомендуется принимать равным 0,65 на доменном гранулированном шлаке и 0,68 – на плотном кварцевом песке.

Для ползучести полистиролбетона характерна высокая доля упругой составляющей сжатия и быстрое нарастание ее в начальный период времени испытаний. ПСБ отчетливо выявил присущую композитным материалам на основе полимеров «запаздывающую» упругость, чем еще раз подтверждается существенное влияние полистирольной составляющей на деформационные свойства исследуемого бетона.

Статистический анализ данных по ползучести, полученных при использовании методики, принятой в данной работе, показал, что она позволяет получать хорошо воспроизводимые результаты и может быть рекомендована для испытания конструкционных полистиролбетонов на ползучесть.

В результате натурных экспериментов по определению эксплуатационных свойств конструкционного ПСБ были получены новые данные по морозостойкости, теплопроводности и паропроницаемости бетона, а также исследована их связь между собой и их зависимость от средней плотности и влажности.

Теплопроводность полистиробетона исследовалась на образцах – пластинах размером 250×250×50 мм по 5 штук в серии по методике, аналогичной методике, принятой в ГОСТ 7076-99 (по методу Бокка), стационарным тепловым потоком. По результатам проведенных исследований зависимость коэффициента теплопроводности в Вт/м·К от плотности, прочности на сжатие и влажности ПСБ предлагается выразить формулами

$$\lambda = (23 + W_s) \cdot \gamma_c \cdot 10^{-5} \quad (9)$$

и

$$\lambda = (23 + W_s) \cdot (116,3 R_m - 46,5) 10^{-5}, \quad (10)$$

где W_s – весовая влажность материала, %;

γ_c – плотность материала в сухом состоянии, кг/м³;

R_m – кубиковая прочность на сжатие, МПа.

Зависимость для коэффициента теплопроводности при различных сочетаниях исходных компонентов (количество цемента обозначено x_1 , инертного заполнителя – x_2 , гранул полистирола – x_3), Вт/(м·К), в кодированных значениях:

$$\lambda = 1,23x_1 + 0,51x_2 + 0,07x_3 - 0,93x_1x_2 - 2,17x_1x_3 - 0,65x_2x_3 - 2,74x_1x_2x_3. \quad (11)$$

Коэффициент теплопроводности полистиролбетона в диапазоне плотностей 800-1500 кг/м³ для условий эксплуатации групп «А» и «Б» составляет от 0,2 до 0,34 Вт/м·К, что ниже, чем λ ячеистого бетона, в 1,2-1,4 раза.

Метод определения морозостойкости был принят в соответствии с требованиями ГОСТ 10060.1-95 «Базовый метод определения морозостойкости». Для полистиролбетона в диапазоне плотностей 800-1500 кг/м³ получена корреляционная зависимость морозостойкости от водопоглощения, которая имеет вид:

$$M(F) = 415 - 8,35W + 0,45W_a^2. \quad (12)$$

Образцы на различных заполнителях после 150 циклов переменного замораживания и оттаивания показали незначительное снижение прочности – всего на 4,2-4,7 % от первоначальной.

Морозостойкость образцов полистиролбетона на доменном гранулированном шлаке не уступает морозостойкости образцов конструкционного ПСБ на кварцевом песке. Результаты проведенных испытаний ставят конструкционный ПСБ в ряд морозостойких материалов, который можно использовать в ограждающих стеновых конструкциях.

Паропроницаемость полистиролбетона исследовалась по методике ГОСТ 25898-83 на 6 сериях по три образца из ПСБ цилиндрической формы. На основании анализа результатов проведенных автором работы исследований установлено, что паропроницаемость конструкционного полистиролбетона значительно меньше керамзитобетона и ячеистого бетона на заполнителях из кварцевого песка при сопоставимых значениях средних плотностей (в сравнении со значениями коэффициентов из приложения 3 СНиП II-3-79*)

Результаты испытаний показаны в таблице 3.

Для определения фактической работы материала в составе конструкций были изготовлены и испытаны 16 серий несущих перемычек для изучения их работы в качестве изгибаемых элементов. Геометрические размеры балок из полистиролбетона – 200×300×1500 мм. Общее количество изготовленных и испытанных перемычек – 52 штуки. Рабочее армирование перемычек представлено арматурными каркасами из четырех стальных стержней марки А-III диаметром 10 и 16 мм (в нижней растягиваемой зоне), а в поперечном направлении – хомутами из проволоки Вр-I.

Таблица 3

Расчетные коэффициенты паропроницаемости полистиролбетона
в диапазоне плотностей 800-1500 кг/м³

№ п/п	Плот- ность, кг/м ³	Средняя прочность на сжатие R_m , МПа		Коэффициент паропроницаемости μ , г/м·ч·тор. (мг/м·ч·МПа)	
		на кварцевом песке	на доменном граншлаке	на кварцевом песке	на доменном граншлаке
1	800	5,6	6,4	0,036	0,038
2	900	6,5	7,2	0,034	0,034
3	1000	7,4	7,8	0,028	0,030
4	1150	9,0	9,8	0,025	0,026
5	1250	9,8	10,2	0,022	0,023
6	1350	12,5	12,8	0,019	0,019
7	1500	14,5	15,0	0,015	0,017

Авторами установлено, что под действием нагрузки конструкционный полистиролбетон более однороден, в нем трещины развиваются более равномерно за счет влияния основного заполнителя – гранул пенополистирола. Много трещин одного уровня, особенно микро-трещин. Далее, когда микротрещины перестают сдерживать друг друга, возникают, через стадию хрупкого разрушения, мезотрещины. Их количество в 2,5-4 раза меньше. Далее при достаточном количестве мезотрещин появляются макротрещины.

Расположение трещин на поверхности образцов свидетельствует о том, что разрушение балок происходит по наклонным сечениям на околоопорных участках от воздействия двух грузов, приложенных в средней части пролета. Трещиностойкость нормальных сечений испытанных балочных образцов из полистиролбетона превышала теоретически рассчитанную по Пособию по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из ячеистого бетона величину на 40 %.

На основании анализа полученных экспериментальных результатов были предложены дополнения к существующей методике расчета ячеистобетонных конструкций, взятой за основу при построении инженерной методики расчета полистиролбетонных конструкций.

При проектировании изделий из ПСБ рекомендуется применять повышенные значения расчетного сопротивления на растяжение R_{bt} относительно величины, принятой для ячеистого бетона класса В10 в табл. 13 СНиП 2.03.01-84*, приблизительно на 20 %. Это следует из полученных в результате экспериментов повышенных значений прочности на осевое растяжение.

На основании полученных данных по повышенной деформативности и трещиностойкости балок из полистиролбетона при испытании их на изгиб автором предлагается при определении момента сопротивления приведенного сечения увеличить значение коэффициента, характеризующего соотношение модуля упругопластичности крайнего растянутого волокна полистиролбетона и модуля упругости при сжатии ($E_s = AE_{sp}$).

На жесткость балок из полистиролбетона в стадии после образования трещин оказывает влияние относительно высокое сцепление полистиролбетона с арматурой, поэтому авторами предлагается для расчета коэффициента ψ_s , учитывающего работу растянутого бетона на участке с трещинами, использовать формулу для легких бетонов:

$$\psi_s = 1,25 - \varphi_{ls} \varphi_m - \frac{1 - \varphi_m^2}{(3,5 - 1,8\varphi_m) \times e_{s, tot} / h_0}, \quad (13)$$

где $e_{s, tot}$ — эксцентриситет силы N_{tot} относительно центра тяжести площади сечения арматуры, соответствует моменту M ;

h_0 — высота сечения балки до нижней рабочей арматуры, м;

φ_m — коэффициент, принимаемый по СНиП от 0,45 до 1,0 в зависимости от значений M_r и M_{rp} .

Предлагается в расчете принимать значение коэффициента φ_{ls} для полистиролбетона с классом В 7,5-В 12,5 в формуле равным 1,0 для стержневой арматуры периодического профиля при непродолжительной нагрузке вместо 0,8, как для ячеистых бетонов более низкой прочности.

Авторами предлагается при определении значения коэффициента η , учитывающего влияние прогиба несущего полистиролбетонного элемента на величину эксцентриситета продольного усилия e_0 (п. 3.6 Пособия по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из ячеистых бетонов) в формуле по определению коэффициента φ_l

$$\varphi_l = 1 + \beta \frac{M_l}{M}, \quad (14)$$

где M_l — момент относительно растянутой или наименее сжатой грани сечения от действия постоянных и длительных нагрузок, а M — тоже от действия постоянных, длительных и кратковременных нагрузок, принимать значение β равным 1,5 (по табл. 30), как для легкого бетона на мелком пористом заполнителе или ячеистого неавтоклавного бетона.

Теоретический расчет прогибов балок из конструкционного полистиролбетона с учетом предлагаемого значения коэффициента дает достоверные результаты.

При испытании образцов балок из ПСБ их перемещения при контрольной по жесткости нагрузке составляли (1/310-1/480) l , что меньше

допускаемой величины. Перемещения элементов из полистиролбетона ($\mu = 0,09-0,25 \%$) в стадии их работы до образования трещин превышали на 18-31 % теоретические перемещения, рассчитанные по формулам п. 4.6 «Определение кривизны железобетонных элементов на участках без трещин в растянутой зоне» Пособия по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из ячеистых бетонов.

Использование в жилищном строительстве трехслойных панелей с наружными слоями из конструкционного полистиролбетона и средним слоем из полистирола взамен применяющихся в настоящее время трехслойных панелей с наружными слоями из керамзитобетона и средним слоем из полистирола более эффективно по эксплуатационным показателям.

При заводском изготовлении таких панелей экономия составляет до 24 % по сравнению с изготовлением панелей тех же габаритов со средним слоем из плитного полистирола. Относительная простота вспенивания сырья – суспензионного (бисерного) полистирола – позволяет организовывать производство легкого заполнителя как в заводских условиях, так и на строительной площадке.

Полистиролбетон легко поддается механической обработке, что способствует ускорению работ по установке технологического оборудования, так как предварительная закладка в панели всех крепежных элементов не всегда возможна.

Проведено технико-экономическое сравнение вариантов несущих стеновых блоков и перемычек. За базовый вариант выбраны стеновые блоки из керамзитобетона М50. Второй вариант – аналогичные блоки из ПСБ плотностью 850 кг/м^3 . При сравнении перемычек брались перемычки из ячеистого бетона и перемычки из конструкционного ПСБ одинаковой плотности.

По данным журнала «Стройка» за август 2008 года, компания «Комплекс С» предлагала к продаже перемычки из ячеистого бетона марки ЗПП 17-2 Я геометрическими размерами $1720 \times 380 \times 220 \text{ мм}$ по оптовой цене 1022,71 руб. за штуку. ООО Корпорация «Маяк» в г. Екатеринбурге для нужд собственного строительства производит полистиролбетонные перемычки аналогичных размеров и армирования по себестоимости 560 рублей за штуку. Компания «ЖБИ-информ» производит и предлагает к реализации перемычки керамзитовые (аналог ячеистобетонных) ПК12я-ПК30я по оптовой цене от 1040 руб.

Экономический эффект применения полистиролбетонных блоков с точки зрения энергосбережения за заданный период времени при строительстве монолитных железобетонных зданий согласно СН 509-78 рассчитан по формуле

$$\begin{aligned}\Theta &= [(3_1 + 3_{c1})\varphi + \Theta_3 - (3_2 + 3_{c2})] \cdot A_2 = \\ &= [(2480 + 1414) - 2400] \cdot 10000 = 14940000 \text{ (руб.)}\end{aligned}\quad (15)$$

В процессе исследовательской работы были решены следующие задачи:

1. Разработка конструкционно-теплоизоляционного и конструкционного полистиролбетона на основе техногенных заполнителей Уральского региона и рациональной технологии изготовления несущих конструкций и изделий из данного вида легкого бетона;

2. Исследование закономерностей изменения прочностных, деформационных и эксплуатационных свойств конструкционно-теплоизоляционного и конструкционного полистиролбетона в диапазоне плотностей от 800 до 1500 кг/м³, не рассматриваемых действующим ГОСТ Р 51263-99;

3. Разработка уточняющих коэффициентов к существующей методике расчета конструкций из ячеистого бетона применительно к расчету и проектированию новых эффективных полистиролбетонных изделий.

При проведении экспериментальных исследований с привлечением аккредитованной лаборатории Испытательного центра ОАО институт «УралНИИАС» использовались современные средства измерений, прошедшие метрологическую поверку. В основу теоретических решений положены общепринятые модели, принятые для расчета свойств материала конструкций из легких бетонов. Выводы и рекомендации работы подтверждены положительным опытом испытания разработанных составов и предложенной технологии для изготовления изделий.

По итогам выполненной работы были получены следующие научные результаты:

1. Подобраны необходимые сырьевые материалы из местных техногенных отходов предприятий Уральского региона и выбрана оптимальная химическая добавка — пластификатор «Реламикс-2» в количестве 0,6-1,0 % от массы цемента для проектирования составов полистиролбетона, позволяющая на 30 % улучшить технологические свойства бетонной смеси.

Разработаны 20 рациональных составов конструкционно-теплоизоляционного и конструкционного полистиролбетона в диапазоне плотностей от 800 до 1500 кг/м³ на основе заполнителей из металлургических доменных и феррохромных шлаков и кварцевого песка. Выбраны технологические параметры и рациональная технология термической обработки строительных изделий.

2. На основании полученных результатов испытаний прочности на сжатие и растяжение полистиролбетона в диапазоне плотностей от 800

до 1500 кг/м^3 , не регламентирующихся ГОСТ Р 51263-99, разработаны математические модели зависимости предела прочности полистиролбетона от состава смеси. Установлено, что по прочности на сжатие ПСБ соответствует классам В 5,0 – В 12,5, как автоклавный ячеистый бетон, превышает на 10-15 % прочность ячеистого бетона естественного режима твердения и на 20-25 % прочность керамзитобетона. Прочность на осевое растяжение и растяжение при изгибе на 10-30 % выше аналогичных показателей, установленных нормативными документами для данных видов легких бетонов.

3. Значение коэффициента линейной температурной деформации полистиролбетона на 15-20 % меньше аналогичных характеристик керамзитобетона и близко к характеристикам ячеистого бетона. Характеристики предельной деформативности, усадки и ползучести не превышают показателей для легких бетонов в диапазонах плотностей от 800 до 1500 кг/м^3 , принятых согласно Пособию по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из ячеистого бетона.

4. Определены характеристики морозостойкости, теплопроводности и паропроницаемости полистиролбетона в диапазоне плотностей от 800 до 1500 кг/м^3 , позволяющие отнести его к долговечным материалам.

Разработана математическая модель зависимости коэффициента теплопроводности полистиролбетона от состава смеси. Морозостойкость полистиролбетона классов прочности В 5,0 – В 12,5 составляет не менее 150 циклов, что соответствует требованиям СНиП II-3-79*, а коэффициент теплопроводности для условий эксплуатации групп «А» и «Б» $0,2-0,34 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, что ниже, чем λ ячеистого бетона, в 1,1-1,2 раза.

5. С учетом изученных прочностных, деформационных и эксплуатационных свойств полистиролбетона в диапазоне плотностей от 800 до 1500 кг/м^3 его рекомендуется использовать в природно-климатических условиях Урало-Сибирского региона для изготовления таких сборных несущих конструкций 2-5 этажных зданий, как стеновые блоки, перемычки и панели, которые раньше изготавливались из ячеистого, крупнопористого шлакового бетона и керамзитобетона.

6. Разработанные нормативные рекомендации по применению полистиролбетона в составе конструкций и изделий ТУ 5745-001-20875427-10 «Смеси полистиролбетонные», ТУ 5767-002-20875427-10 «Блоки полистиролбетонные» и ТУ 5828-003-25057366-06 «Перемычки из полистиролбетона» подтверждены опытно-промышленными испытаниями, проведенными на базе заводов ЖБИ в г. Екатеринбурге и в г. Иркутске.

7. Возможный годовой экономический эффект от применения стеновых блоков из ПСБ плотностью 850 кг/м^3 в ограждающих конструкциях жилого 9-этажного одноподъездного здания из монолитного железобетона взамен керамзитобетона М50 составит около 14,94 млн. руб. (в ценах 2009 г.) для завода ЖБИ с годовым выпуском изделий 10000 м^3 .

Литература

1. Носков А. С., Беляков В. А. Перспективы развития исследований конструкционных и теплотехнических свойств полистиролбетона // Наука. Технологии. Инновации: мат-лы докладов Всерос. науч. конф. молодых ученых. – Новосибирск, 2003 – Ч. 2. – С. 74-75.
2. Носков А. С., Беляков В. А. Исследование ползучести конструкционного полистиролбетона при длительном действии нагрузки // Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения: Сб. тр. VI международной конференции. – СПб.: СПбГПУ, 2005. – С. 92-93.
3. Носков А. С., Беляков В. А. Конструкции из полистиролбетона для строительства жилых зданий // Жилищное строительство. – 2008. – № 5. – С. 24-25.
4. Беляков В. А., Носков А. С., Филиппов В. П. Проектирование составов конструкционного полистиролбетона с использованием современных химических добавок // Бетон и железобетон в Украине. – 2005. – № 4 (26). – С. 8-13.
5. Довжик В. Г., Россовский В. Н., Савельева Г. С. и др. Факторы, влияющие на прочность и плотность полистиролбетона // Бетон и железобетон. – 2004. – № 3. – С. 5-11.
6. Довжик В. Г. и др. Технология и свойства полистиролбетона для стеновых конструкций // Бетон и железобетон. – 1997. – № 2. – С. 5-9.
7. Евдокимов А. А., Брускова Л. Н. Физико-механические свойства теплоизоляционного полистиролбетона и прочность его сцепления с конструкционным керамзитобетоном // Новое в технологии и свойствах легких бетонов. – М.: НИИЖБ, 1980. – С. 99-109.
8. Евдокимов А. А., Дайнеко О. С., Приезжев В. А. Укрупненные панели из полистиролбетона для сельскохозяйственных зданий // Бетон и железобетон. – 1985. – № 10. – С. 4-5.
9. Журба О. В. Легкие бетоны на основе регенерированного пенополистирольного сырья: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Улан-Удэ, 2007. – 22 с.
10. Капустин Ф. Л., Владимирова Е. Б., Прибытков Е. А., Хакимов Р. Т. Влияние гранулометрического состава пенополистирола на проч-

ность бетона // Студент и научно-технический прогресс: сб. мат-лов науч.-практич. конф. – УГТУ-УПИ, 2002.

11. Кириченко В. А. Оценка влияния режимов электропрогрева на физико-механические свойства полистиролбетонов // Бетон и железобетон. – 1995. – № 3. – С. 13-14.

12. Милых Т. И. Конструкционно-теплоизоляционный полистиролбетон // Бетон и железобетон. – 1988. – № 10. – С. 11-13.

13. Парфенов В. Г. Исследование и разработка ресурсо- и энергосберегающих композиционных теплоизоляционных материалов на основе пенополистирола: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Тюмень, 2000. – 22 с.

14. Рахманов В. А., Довжик В. Г., Амханский Г. Я. Улучшение свойств и оптимизация составов полистиролбетона // Бетон и железобетон – пути развития. II Всерос. конференция по бетону и железобетону. – М., 2005. – С. 35-47.

15. Рахманов В. А., Козловский А. И., Варламова А. В. Об экологической безопасности применения полистиролбетона в строительстве // Бетон и железобетон. – 1997. – № 2. – С. 18-20.

16. Тонков И. Л. Исследование физико-механических свойств полистиролбетона как материала для ремонта стен из ячеистых бетонов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 2000. – 20 с.

17. Ярмаковский В. Н., Хаймов И. С., Петров В. Г. Модифицированный полистиролбетон // Наука и технология в промышленности. – 2001. – № 2.

18. Muravljev M., Dragica J. Primena EPS betona armiranog polipropilenskim vlaknima kao materijala za proizvodnju montažnih elemenata // IX Kongres Saveza Društava građevinskih konstruktora Jugoslavije / Istraživača Institutu za materijale i konstrukcije Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu. – 1991. – Cavtat 09. – 12. – Т. 64.

19. Свойства цементной композиции, содержащей гранулы пенополистирола и полипропиленовое волокно. Properties of cement based composite made with expanded polystyrene grains and polypropylene fibers / Mihailo A. Muravljev, Dragica Lj. Jevtic, Dimitrije M. Zakic // Hem, ind. – 2000. – № 11. – С. 501-504.

20. Batge W., Niemeyer W. Styroporbeton aus Transportbetonwerken // Beton. – 1974. – № 1. – S. 15-18.

21. Eick H. Styropor-beton // Zement-Kalk-Gips. – 1959. – Vol. 6. – P. 253-257.

22. Gvuzd M. Polystyrenovy beton // Pozemni stavby. – 1970. – Vol. 12. – P. 350-353.

23. Köhling K. Die Herstellung von Leichtbeton unter Verwendung von vorexpandierten Stiropor-Partikeln als Zuschlagstoff // Betonstein – Zeitung Heft. – 1960. – № 5. – S. 212.

24. Kohling K., Hohweller D. Styropor Concrete, A New Building Material // The BASF Review, Munich. – Sept. 1970. – Vol. 20. – P. 69-76.
25. Sussman V. Lightweight Plastic-Aggregate Concrete // ACI Journal, Proceedinge. – 1975. – Vol. 72. – № 7. – P. 321-323.
26. Sussman V., Baumann G. H. Expanded Polystyrene Beads Lighten the Load // SPE Journal. – 1972. – Vol. 28. – № 3. – P. 18-21.
27. Litzka I. Hinterschlager Bezirksstraße KM 0.300 – Versuchsabschnitt Styroporbeton // Viennen Technologic University. – 1998. – № 8. – 12 s.
28. Mag. Andrej Šušteršič FRAGMAT IZOLIRKA TRGOVINA // Komisija za uveljavljanje pravice do pokojnine pod ugodnejšimi pogoji. – 2003. – № 7. – T. 22-32.
29. Okada K., Ohama Y. Improvements in performance of concrete by use of polymers in Japan // The International Journal of Cement Composites. – 1979. – Vol. 3. – P. 181-190.

3.2 Контроль экологической опасности продуктов термической деструкции современных отделочных полимерных строительных материалов

Экологичность строительного материала представляется одним из важнейших его качеств наряду с прочностью, теплопроводностью и другими физико-техническими и механическими характеристиками, а отделочные материалы на основе полимеров являются потенциально опасными для живых организмов, так как в процессе эксплуатации, подвергаясь внешним физическим и химическим воздействиям, выделяют в окружающую среду токсичные органические вещества, существенно влияющие на продолжительность жизни человека, которая находится в прямой зависимости от эколого-гигиенических характеристик обитаемых помещений. В соответствии с вышеизложенным представляются актуальными исследования, направленные на разработку и совершенствование средств контроля, оценки и прогнозирования экологических качеств полимерных материалов, применяемых в строительстве.

Поскольку до сих пор отсутствуют исчерпывающие, четкие данные и представления о деталях механизма процесса термического разложения высокомолекулярных соединений, входящих в состав отделочных полимерных строительных материалов (ПСМ), о различной химической природе и строении веществ, образующихся в условиях чрезвычайных ситуаций, а точный качественный и количественный состав продуктов пиролиза ПСМ не всегда известен, – то эту