

УДК 693

# АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИСТИРОЛБЕТОНОВ В КОНСТРУКЦИЯХ ЗДАНИЙ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ИХ В РАЙОНАХ С ПОВЫШЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТЬЮ

**А.С. НОСКОВ**, доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой, зам. директора;

**В.А. БЕЛЯКОВ**, канд. техн. наук, доцент; **В.Б. САЛЬНИКОВ**, канд. техн. наук, доцент,

Строительный институт Уральского федерального университета им. первого президента России Б.Н. Ельцина;

**В.В. ВЕСЕЛОВ**, канд. техн. наук, действительный член Российского общества по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению РААСН, главный специалист ООО «Институт проектирования, архитектуры и дизайна»

**В статье представлены результаты исследований свойств нового вида легкого бетона для применения в ограждающих конструкциях жилых и общественных зданий. Авторами проведены исследования физико-механических свойств бетонных смесей на основе торфа и пенополистирола. Испытания физико-механических свойств материала подтвердили, что применение торфополистиролбетона с заполнителем в виде модифицированного торфа в ограждающих строительных конструкциях позволит возводить жилые, общественные и производственные здания с достаточным уровнем надежности при восприятии сейсмических воздействий.**

В последние годы в связи с участвовавшими землетрясениями на Дальнем Востоке и в Западной Сибири получила большую актуальность разработка новых строительных материалов для строительства зданий, способных противостоять сейсмическим воздействиям, при этом сохраняя свои эксплуатационные качества. Нельзя забывать и о том, что на территории Среднего Урала также возможны землетрясения до 7 баллов по шкале Рихтера. На вышедшей в 1998 г. карте общего сейсмического районирования территории России Свердловская область выделена как район повышенной сейсмичности. Последствия землетрясений в регионе из-за его насыщенности промышленными и гражданскими объектами могут быть самыми разрушительными.

Кафедра «Материаловедение в строительстве» и Строительный институт Уральского федерального университета имени первого президента России Б.Н. Ельцина при поддержке ООО «Институт проектирования, архитектуры и дизайна» проводит исследования свойств полистиролбетона с использованием в качестве заполнителя модифицированного торфа [1, 2, 3]. Данный материал представляется перспективным для использования в ограждающих конструкциях жилых и промышленных зданий в сейсмических районах Урала и Западной Сибири.

Ранее проведенные исследования [2] показывают, что теплоизоляционно-конструкционный и конструкционно-

теплоизоляционный полистиролбетон в диапазоне плотностей 500-1000 кг/м<sup>3</sup> и классов В3,5-В10 востребован для проектирования ограждающих конструкций стен зданий в районах России с сейсмическими зонами 8-9 баллов, так как удовлетворяет требованиям СП 14.13330.2011 «Строительство в сейсмических районах» (раздел: «Здания со стенами из кирпича или каменной кладки», п. 6.14.4). К городам, расположенным в этих сейсмических зонах, относятся например, Улан-Удэ, Иркутск и города Камчатского края и Амурской области. Использование в составе данного материала торфа вместо природного песка и шлаков приведет к его удешевлению и улучшит теплоизоляционные характеристики.

Другие виды легких бетонов – керамзитобетон, газобетон и пенобетон – по своей природе являются хрупкими и не обладают таким деформационными свойствами, как пластичность или повышенное растяжение на изгиб. Данным свойством обладает полистиролбетон на заполнителе из торфа, поэтому его применение целесообразно для строительных конструкций зданий в сейсмически опасных зонах [4]. Сейсмостойкость зданий со стенами из полистиролбетона – до 9 баллов по шкале Рихтера.

Для улучшения физико-механических показателей материала в качестве добавок-модификаторов для торфа авторами были опробованы местные заполнители техногенного происхождения (зола-уноса Рефтинской ГРЭС, тонкодисперсный шлам доменных газоочисток ОАО «Металлургический завод им. А.К. Серова» и пенополистирол марки «Альфапор» производства компании «Сибур-Химпром»). Применение данных материалов значительно улучшит эксплуатационные свойства и снизит стоимость легкого бетона, является в настоящее время экологически и экономически эффективным.

В качестве заполнителя бетона в составе цементной матрицы использовался торф мелкой фракции, предварительно модифицированный агрегатами наночастиц на основе золы, шлама и поверхностно-активными веществами (лигносульфонатом и полинафталинметилсульфонатом). Использование новых видов ПАВ позволяет улучшить

Таблица 1. Химический состав шлама из газоочисток ОАО «Металлургический завод им. А.К. Серова»

TiO <sub>2</sub>	Cu	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	MnO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>общ</sub>	Zn
3,03	0,070	8,55	2,69	47,74	1,02	10,0	1,55	0,41	0,05	24,0	0,93

Таблица 2. Химический состав золы-уноса Рефтинской ГРЭС

	Содержание, масс. %						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+MgO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	ппп
Требования ГОСТ 25818	≥45			≤10	≤2	≤3	≤5
Фактическое	58-62	25-30	5-8	3-5	0,1-0,5	0,5-0,7	1-2

смачиваемость водой частиц торфа и гранул пенополистирола, что уменьшает водоцементное отношение и улучшает прочность материала. Модификация торфа производилась мокрым помолом в мельнице барабанного типа совместно с поверхностно-активными добавками в количестве 5-10% по массе.

Торфяной органический наполнитель является одним из наиболее эффективных теплоизоляционных материалов. Низкий коэффициент теплопроводности торфа  $\lambda_0=0,06$  Вт/(м·К) обусловлен его волокнистой структурой. Средняя насыпная плотность материала составляет 0,3 г/см<sup>3</sup>. Торф является сложной полидисперсной многокомпонентной системой; его физические свойства зависят от свойств отдельных частей, соотношений между ними, степени разложения или дисперсности твердой части, оцениваемой удельной поверхностью или содержанием фракций размером менее 250 мкм. Для данного материала характерны высокая пористость до 96-97% и высокий коэффициент сжимаемости при компрессионных испытаниях. Текстура торфа – однородная, иногда слоистая; структура обычно волокнистая или пластичная. Отмечается его плохая смачиваемость водой.

За базовую при подборе составов торфополистирольного бетона была принята композиция, приведенная в авторском свидетельстве СССР № 1244122 [5], содержащая в качестве связующего портландцемент, верховой торф и его производные, древесные отходы и воду в качестве жидкости затворения при следующих соотношениях ингредиентов, в % по массе: портландцемент – 33-38; древесные отходы торфяных месторождений – 20-25; верховой торф – 4-12; торфяная вытяжка – 1-3; вода – 22-42.

Максимальная прочность композиции составляет 6,41 МПа, коэффициент теплопроводности в сухом состоянии – 0,12 Вт/м·К.

Выбор наиболее рациональных составов методом абсолютных объемов проводился с применением современных статистических методов. При подборе составов использовался низинный торф, диспергированный в воде из месторождения Таборинского района Свердловской области, который имеет высокие адгезионные свойства.

Массовая доля портландцемента в процессе проведения эксперимента снижалась до 15%, а содержание торфяной составляющей, модифицированной наночастицами тонкодисперсного

шлама, золы растворов карбонатов, бикарбонатов, полифосфатов, увеличивалось до 55%.

Химический состав шлама с 40%-ным содержанием агрегатов наночастиц размером от 10 до 20 мкм из доменных газоочисток принимался по данным центральной аналитической лаборатории ОАО «Металлургический завод им. А.К. Серова» (см. табл. 1). Перед испытаниями шлам предварительно высушивался в сушильном шкафу при температуре около 100°С. Установлено, что шлам пригоден для использования в тяжелых бетонах на основе торфа. Для применения в составе полистиролбетона шлам нецелесообразен.

Свойства золы для использования в качестве наполнителя в составе торфополистиролбетона регламентированы ГОСТ 25818-91 «Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия». Химический состав золы приведен в табл. 2.

Зола Рефтинской ГРЭС представляет собой мелкодисперсный однородный продукт, который получается при сжигании экибастузских углей и улавливается специальными электрофильтрами. Аморфная (стекловидная) фаза золы Рефтинской ГРЭС составляет 70%, кристаллическая фаза представлена в основном кварцем, полевым шпатом и муллитом.

Эффективность золы как кремнеземистого компонента определяется ее фазовым составом и гидравлической активностью, благодаря чему улучшается структура изделий, в которых применяется добавка золы, их прочность и долговечность. Удельная поверхность золы Рефтинской ГРЭС

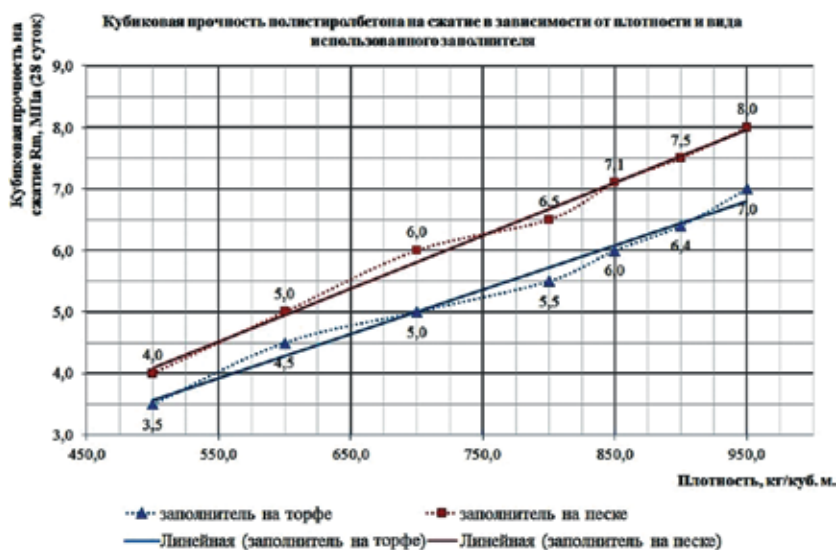


Рисунок 1. График зависимости прочности на сжатие от плотности полистиролбетона на модифицированном торфе и на наполнителе из кварцевого песка

составляет 280–350 м<sup>2</sup>/кг. Ее средняя плотность находится в пределах 1900–2000 кг/м<sup>3</sup>, насыпная – 700–720 кг/м<sup>3</sup>. В отличие от многих зол продукт сжигания экибастузских углей имеет пониженное значение удельной эффективной активности ЕРН – 66,58 Бк/кг, что дает основание говорить о достаточной степени экологичности продукта.

В качестве вяжущих материалов в составе торфополистиролбетонной смеси применялись цементы марок ЦЕМ II/A-Ш 32,5Б и ПЦ 500 Д0-Н производства ОАО «Сухоложскцемент» и ЗАО «Невьянский цементник».

В настоящее время в лаборатории кафедры «Материаловедение в строительстве» выполнены исследования физико-механических свойств бетонных смесей на основе торфа и пенополистирола и проводится отработка их технологических параметров. Испытаны серии образцов-кубов, балочек и плит из модифицированного торфоцементного бетона. Испытания прочности на сжатие проводились в соответствии с методикой ГОСТ 310.4–81 на сертифицированном испытательном прессе марки МС-1000.

Результаты испытаний приведены на графике на рис. 1.

По своим свойствам торф, модифицированный агрегатами наночастиц, в полной мере может отвечать требованиям, предъявляемым к заполнителям для легких бетонов, а по ряду специфических свойств даже превзойти их.

Установлено, что торфополистиролбетон в диапазоне плотностей от 600 до 1000 кг/м<sup>3</sup> имеет коэффициент теплопроводности  $\lambda$  от 0,16 до 0,22 Вт/м<sup>2</sup>\*К и прочность на сжатие от 3,0 до 8,0 МПа.

Испытания морозостойкости образцов из полистиролбетона на основе модифицированного торфа показали, что они без значительной потери массы и прочности (в пределах 5%) выдерживают не менее 50–100 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

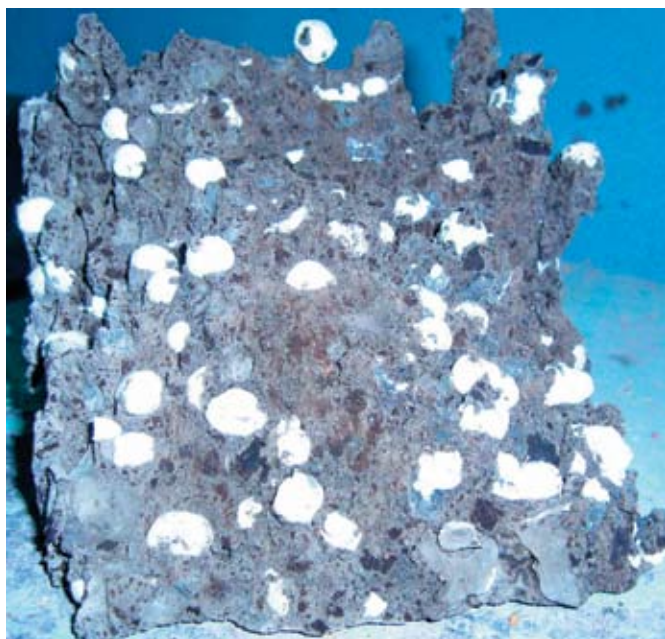


Рисунок 2. Макроструктура торфоцементного бетона с заполнителем из пенополистирола

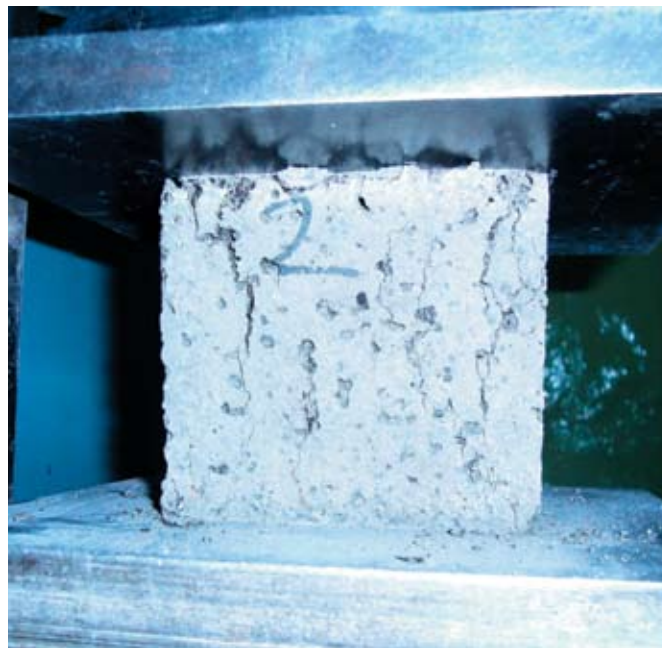


Рисунок 3. Испытание куба из торфополистиролбетона на прессе

Обработка результатов экспериментальных испытаний проводилась по логарифмическому методу с использованием программного комплекса Mathstatistica версии 6.2.2.

Макроструктура образца-куба торфоцементного бетона с добавлением пенополистирола после испытания на сжатие показана на рис. 2.

Влажностное состояние ограждающих конструкций зданий в значительной степени влияет на их теплозащитные качества и долговечность. Особенно это относится к утеплителям с ярко выраженной сорбционной способностью.

Для установления параметров, характеризующих скорость высыхания образцов торфополистиролбетона, были исследованы их десорбционные свойства. Наибольшее расхождение между изотермами сорбции и десорбции, равное 7,5%, зафиксировано при  $\phi=75\%$ . Эти свойства материала будут положительно сказываться на процессе удаления влаги из конструкции стены в летний период эксплуатации здания.

Испытания физико-механических свойств торфополистиролбетона, проведенные на базе лаборатории кафедры «Материаловедение в строительстве» при участии Строительного института УрФУ и ООО «ИнПАД», подтвердили, что для различных видов полистиролбетона при разрушении характерны пластические деформации. Данный характер разрушения обусловлен большой деформативностью гранул полистирола, релаксирующих напряжения, создаваемые в материале при его нагружении, так называемым демпфирующим эффектом. При нагружении образцов-призм до некоторой величины  $\sigma_e$  – предела упругости – материал находился в упругом состоянии, а зависимость напряжения  $\sigma$  от деформации является линейной, после этого предела материал переходит в пластическое состояние, а та же зависимость отображается пологой кривой.



Таким образом, в торфополистиролбетоне на начальном этапе нагружения работает растворная матрица совместно с зернами жесткого заполнителя – торфа, а по преодолении предела упругости, когда происходит всплеск роста остаточных деформаций, в работу материала включается основной заполнитель – гранулы полистирола. Затем напряжение вновь монотонно возрастает до некоторой величины  $\sigma_0$  – предела прочности, составляющего для материала около 0,55 от значения предела прочности, после чего происходит разрушение. Данная схема разрушения подтверждается теоретической моделью, предложенной А.А. Аракелян [6], согласно которой работа бетона под нагрузкой складывается из двух составляющих: работы растворной матрицы и работы зерен заполнителя, различных в зависимости от соотношения их объемов в материале.

Испытание прочности на сжатие образца торфополистиролбетона на прессе и характер трещинообразования материала под нагрузкой показаны на рис. 3.

Характер трещинообразования при разрушении аналогичен характеру трещинообразования полистиролбетона на заполнителе из песка или доменного гранулированного шлака. Экспериментально установлено, что явление пластических деформаций более явно проявляется при испытаниях под действием нагрузки у образцов конструкционно-теплоизоляционного торфополистиролбетона в диапазоне значений плотности от 600 до 800 кг/м<sup>3</sup> и прочностей на сжатие до значений, соответствующих классам В3,5-В5. Что касается торфополистиролбетона более высоких плотностей, то данный эффект проявляется в меньшей мере, в связи с более низким содержанием гранул вспененного полистирола в объеме образца.

Разработанные рациональные составы торфополистиролбетона и полученная торфополимерная смесь для изготовления теплоизоляционных изделий с повышенной пожаростойкостью авторами описаны в заявке на изобретение № 2012147661/03(076572). По данной заявке ФИПС (Роспатент) выполнена экспертиза по существу и 02.12.2013 г. принято решение о выдаче патента на изобретение.

Применение торфополистиролбетона с заполнителем в виде модифицированного торфа в ограждающих строительных конструкциях позволит возводить жилые, общественные и производственные здания с достаточным уровнем надежности при восприятии сейсмических воздействий.

Полученные в настоящий момент данные предварительных испытаний торфополистиролбетона позволяют сделать следующие **выводы**:

1. Предложенный материал с использованием заполнителя в виде торфа, модифицированного золой Рефтинской ГРЭС, обладает свойствами, необходимыми для конструкционно-теплоизоляционных материалов с учетом особенностей применения строительных материалов в сейсмических районах.

2. Получены значения прочности, соответствующие классу В3 при плотности материала 450 кг/м<sup>3</sup>.

3. Теоретические исследования и данные других авторов позволяют предположить, что теплопроводность материала при плотности 450 кг/м<sup>3</sup> составит не более 0,09 Вт/(м·К), что позволит существенно увеличить область применения данных материалов.

4. Предварительные оценки стоимости производства торфополистиролбетона показали, что данный материал конкурентоспособен и будет востребован на рынке.

5. Свойство конструкционно-теплоизоляционного торфополистиролбетона проявлять пластические деформации под нагрузкой до момента окончательного разрушения в отличие от ячеистого бетона и керамзитобетона, которые имеют «хрупкий» характер разрушения, очень важно для использования материала в конструкциях, подверженных сейсмическим воздействиям.

6. Определен ряд задач, решение которых позволит принять решение о массовом производстве данного материала: исследование долговечности материала; исследование влияния климатических особенностей региона на теплопроводность материала в процессе его эксплуатации; исследование вариантов отделки наружной ограждающей конструкции в случае применения в качестве заполнения блоков из торфополистиролбетона; исследование экологической безопасности материала.

Необходимо дальнейшее продолжение исследований физико-механических свойств торфополистиролбетона с заполнителем в виде модифицированного торфа на предмет использования в ограждающих стеновых конструкциях, имеющих повышенную энергоэффективность, и разработка нормативной документации, регламентирующей особенности и области применения данного «нового» строительного материала.

#### Библиографический список

1. Беляков В.А., Веселов В.В. Торфополистиролбетон для сейсмостойких конструкций // *Новый уральский строитель*. – Екатеринбург, № 11 (115), 2011, 54-56.
2. Хорошавин Л.Б., Беляков В.А., Руднов В.С., Осипов А.В., Лазуткин А.В. Эксплуатационные характеристики легкого бетона на основе модифицированного торфа // *Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Перспективы развития строительного материаловедения: энерго- и ресурсосбережение в строительстве»*. – Челябинск: ЮУрГУ, 2011, с. 21-23.
3. Беляков В.А. Перспективы применения легкого бетона на основе торфа для строительных конструкций сейсмостойких зданий // *Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции, XIV семинара школы молодых ученых «Безопасность критических инфраструктур и территорий»*. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011, с. 95-96.
4. Носков А.С., Беляков В.А., Лазуткин А.В., Никитина А.В. Физико-механические и теплоизоляционные свойства легкого бетона на основе модифицированного торфа для стеновых конструкций // *Сборник научных трудов «Строительство и образование»*. – Екатеринбург: УрФУ, № 14, 2011, с. 52-56.
5. Авторское свидетельство СССР № 1244122. Бюлл. № 26 от 16.07.86.
6. Аракелян А.А. Прочностные и деформативные свойства легких бетонов в зависимости от свойств заполнителей / *Автореферат ... дисс. канд. техн. наук*. – М.: 1986, с. 24.