



ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИСТИРОЛБЕТОНА

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15493878>

Дубовицкая Наталья Сергеевна, PhD, старший преподаватель
Ташкентский химико-технологический институт, г.Ташкент, Узбекистан
Мухамедбаева Замира Абдужапарона, к.т.н., профессор,
Янгиерский филиал Ташкентского химико-технологического института,
г.Янгиер, Узбекистан

Аннотация. В статье приведены данные по разработке технологии получения энергоэффективных легких бетонов на основе цемента и вторичного полистирольных гранул, полученных путем дробления тарного пенополистирола и получение на его основе теплоизоляционного и конструкционно-теплоизоляционного полистиролбетона и исследование его физико-механических и технологических свойств.

Введение Изучению разработке технологии получения легких теплоизоляционных бетонов в области низкой плотности D250-600 и конструкционно-теплоизоляционных материалов по плотности D700-1000 посвящены научно-исследовательские работы как зарубежных, так и отечественных ученых. Ими [1,2] разработаны физико-химические и технологические основы составов щелочных вяжущих и легких бетонных изделий при использовании техногенных материалов, изучены процессы формирования структуры и прочности легких полистирольных бетонов при

снижении материальных и энергетических затрат, даны рекомендации по усовершенствованию технологии производства.

Методика исследования. Для определения теплопроводности полистиролбетона [3] с использованием вторичных полистирольных гранул были изготовлены образцы-пластины размером 150x150x25 мм, путем выпиливания из средней части блока размером 600x300x200 мм, согласно рекомендациям стандартных методик испытаний полистиролбетона. Образцы блоков изготовлены на технологическом оборудовании производства пено- и газобетона ООО “Близар”. В состав цементной композиции входит портландцемент бездобавочный ЦЕМ 0 по ГОСТ 31108-2020, пористый наполнитель – вторичный дробленый полистирол и ускоритель твердения – сульфат натрия. Нами были выбраны составы полистиролбетона, в которых использовали полистирольные гранулы, полученные путем дробления отходов упаковки из пенопласта. Плотность вторичного пенополистирола составляет 15-35 кг/м³, размер гранул 2-5 мм. В качестве наполнителя использован песок по ГОСТ 8735-88. Ускорителем твердения выбран сульфат натрия – Na₂SO₄ по ГОСТ 21458-75. В качестве вяжущего применяли бездобавочный портландцемент ЦЕМ 0 класса прочности 32,5Н по ГОСТ 31108-2020. Количественное содержание портландцемента в полистиролбетонной смеси было принято в пределах 295-315 кг/м³. Водоцементное отношение для всех составов полистиролбетонных смесей в исследуемом диапазоне плотностей не было постоянным, и изменялось от 0,59 до 0,61.

Расход материалов приводится для 1м³ полистиролбетона различных плотностей. Составы полистиролбетона подбирали с учетом требований ГОСТ 27006-86. Полистиролбетон на цементно-песчаном вяжущем представляет собой сложную систему, содержащую гидрофобные и гидрофильные частицы и полярную жидкость. Прочность полистиролбетона может рассматриваться как прочность цементной матрицы с включением в ее объем шарообразных гранул пенополистирола различного размера, плотности

и прочности. С увеличением содержания пенополистирола в составе полистиролбетона, увеличивается роль его влияния на свойства композита. При использовании полистирольных гранул с низкими характеристиками получение требуемой прочности полистиролбетона достигается увеличением плотности пенополистирола и увеличением прочности цементной матрицы за счет повышения расхода цемента. Во избежание увеличения расхода цемента, прочность цементной матрицы можно повысить путем введения добавок-ускорителей твердения. Для достижения наиболее высокой прочности полистиролбетон необходимо использовать высокоактивные цементы или технологические приемы, повышающие активность вяжущего [4].

Обсуждение результатов В результате проведенных исследований по физико-механическим свойствам полистиролбетона на вторичном полистироле показали, что класс прочности может составить от М5 до В0,5 в зависимости от состава смеси. По показателям ударопрочности полистиролбетон на вторичном полистироле можно отнести к вязким материалам, способным гасить большие энергии ударных нагрузок, образцы показали поглощение энергии удара более чем на 178,5 Дж., Коэффициент теплопроводности образцов составил от 0,05 до 0,13Вт/м·К. Полученные данные дают возможность получения теплоизоляционного и конструктивно-теплоизоляционного полистиролбетона, предназначенного для применения в энергоэффективных наружных несущих стенах зданий.

Для экспериментов по выявлению кинетики процесса ускорения схватывания цементных растворов для производства легких бетонов с применением вторичного пенополистирольных гранул использована добавка сульфата натрия (СН) в дозировке 0,25; 0,50; 0,75; 1,0 и 1,25 % от массы цемента. Добавка вводилась в смесь в растворенном виде вместе с водой затворения. Изменение сроков схватывания изучали в цементных растворах приготовленном из цементного теста нормальной густоты (табл.1). Кинетика изменения сроков схватывания показана на рис.1. Полученные результаты

показали, что при добавлении сульфата натрия от 0,25 до 1,0 процесс схватывания ускоряется на 25-30 %.

Таблица 1.

Изменение сроков схватывания полистирольных растворных смесей в зависимости от количества сульфата натрия

№	Состав, масс. %	Начало схватывания		Конец схватывания	
		минут	%	минут	%
1	Без добавок	265	100,0	440	100
2	0,25 Na ₂ SO ₄	210	79,2	385	87,50
3	0,50 Na ₂ SO ₄	175	66,04	365	82,95
4	0,75 Na ₂ SO ₄	170	64,15	320	72,73
5	1,0 Na ₂ SO ₄	165	62,26	290	65,91
6	1,25 Na ₂ SO ₄	160	60,37	280	63,34



Рис.1. Влияние Na₂SO₄ на сроки схватывания растворных смесей

На основании проведенных исследований установлено, что при гидратации С₃S образуется гидроксид кальция. В присутствии сульфата натрия в растворе на начальной стадии образуется гипс, а затем – гидросульфат алюмината кальция (этtringит). Поскольку безводный Na₂SO₄ устойчив только при температуре выше 32,3°С, ниже этой температуры в присутствии воды образуется кристаллогидрат Na₂SO₄·10H₂O [5,6].

Выделяющийся при этом мелкодисперсный дигидрат сульфата кальция (гипс) реагирует в дальнейшем с алюминатными компонентами цементного клинкера:



В водной среде ускоритель твердения- $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ образует истинные растворы, распадаясь на составляющие ионы (например, $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{Na}^{++} + \text{SO}^{4-}$). Обладая значительным энергетическим и, соответственно, адсорбционным потенциалом ионы вещества добавки способны энергично проникать с молекулами воды в адсорбционные слои жидкости, в зону ее контакта с поверхностью вяжущего [7,8].

Результаты исследование реологических свойств бетонных растворов [8] показали, что добавка сульфата натрия несколько пластифицирует бетонную смесь на стадии формирования в виде повышенного водоотделения, что следует учитывать примерно 5–6 %-м снижением расчетного водосодержания бетона.

Количественное содержание портландцемента в полистиролбетонной смеси было принято в пределах 295-315 кг/м³. Водоцементное отношение для всех составов полистиролбетонных смесей в исследуемом диапазоне плотностей не было постоянным, и изменялось от 0,59 до 0,61.

Для подбора оптимального состава были выбраны 3 рациональных состава, результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Составы полистиролбетона на вторичном полистироле

№ п/п	Состав полистиролбетона				
	цемент, кг	песок, кг	ускоритель твердения Na_2SO_4 , кг	вода, литр	полистирол вторичный, м ³
Н-1	295	35	3,5-4,5	175	1,5
Н-2	305	35	3,5-4,5	186	1,5
Н-3	315	35	3,5-4,5	192	1,5
Н-4	350	-	СДО - 0,35-0,4	200	5,5 кг

Полистиролбетонные смеси обладают повышенной подвижностью ОК=11-15 см. Эффективно использование гранул вторичного пенополистирола с основной фракцией 2,5-5,0 мм.

Из эксплуатационных и теплофизических характеристик полистиролбетона наибольшее прикладное значение имеет его коэффициент теплопроводности [9,10]. Теплопроводность полистиролбетона зависит как от технологических факторов, так и вида используемого заполнителя или его отсутствия и количественного содержания пенополистирольного заполнителя на 1 м³ бетона. Косвенное значение имеет фракция пенополистирольных гранул. Большинство исследований проводилось с использованием фракции гранул от 0,5 до 10 мм с преобладанием в составе ПСБ крупной фракции диаметром 5-10 мм. При этом отмечается ухудшение прочностных и деформационных характеристик полистиролбетона.

Применение фракции пенополистирольных гранул 2-5 мм позволяет получить каркас мелкопористого бетона и является наиболее оптимальным для получения теплоизоляционно-конструкционного и конструкционно-теплоизоляционного полистиролбетона. Использование пенополистирола из измельченного материала, по сравнению со вспененным пенополистиролом не влияет на его теплопроводность, так как она в первую очередь зависит от объемной массы полистиролбетона. При этом, расход измельченного материала всегда больше на 20-25%, чем вспененного.

Исследования по определению теплопроводности бетона проводились с использованием материала в сухом состоянии, как это рекомендуется нормативными документами. На основании результатов ранее проведенных испытаний [4,9] для конструкционно-теплоизоляционного полистиролбетона была предложена обобщенная зависимость $\lambda^{\text{сух}}_{\text{псб}} = f(\rho^{\text{сух}}_{\text{псб}})$, которая имеет вид линейной зависимости:

$\lambda^{\text{сух}}_{\text{псб}} = 0,035 + 0,002 \rho^{\text{сух}}_{\text{псб}}$, где: $\lambda^{\text{сух}}_{\text{псб}}$ - коэффициент теплопроводности ПСБ в сухом состоянии Вт/(м·К); $\rho^{\text{сух}}_{\text{псб}}$ - плотность материала в сухом состоянии в кг/м³.

Также установлены зависимости коэффициентов теплопроводности и его приращений на 1% влажности материала для ПСБ на портландцементе:

$$\lambda^{сух}_{псб} = 0,000196 \rho^{сух}_{псб} + 0,039; \Delta\lambda = 0,0000083 \rho^{сух}_{псб} + 0,00045;$$

$$\Delta\lambda = 0,0288\lambda^{сух} + 0,000498.$$

По результатам исследований зависимость коэффициента теплопроводности в Вт/м·К от плотности, прочности на сжатие и влажности материала нами предлагается выразить формулами:

$$\lambda = (23+Wв) \gammaс 10^{-5}, \lambda = (23+Wв) \cdot (116,3Rсж - 46,5)10^{-5}$$

где: Wв – весовая влажность материала в %; $\gammaс$ - плотность материала в сухом состоянии в кг/м³; Rсж – кубиковая прочность на сжатие, МПа.

Выполненные измерения и расчеты показали, что теплопроводность полистиролбетона из вторичного дробленого полистирольных гранул составляет 0,0578-0,130 Вт/м·К в зависимости от его плотности и прочности. Данные определения теплопроводности полистиролбетона приведены в таблице 3.

Таблица 3

Теплопроводность полистиролбетона на вторичном полистироле

№ п/п	Потребляемая мощность P,Вт	Термическое сопротивление R, м ² ·К/Вт	Плотность теплого потока q, Вт/ м ²	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м·К
Н-1	0,469	0,2184	96,03	0,1305
Н-2	0,211	0,2597	46,42	0,0578
Н-3	0,313	0,2104	65,98	0,0870
Н-4	0,460	0,2387	91,86	0,1278

Из данных таблицы 3 четко прослеживается зависимость коэффициента теплопроводности, а также термического сопротивления политсиролбетона от плотности и прочности образца (рис. 2).

Марка по плотности и прочность образца по-разному влияют на показатели теплопроводности и термического сопротивления [11]. При

сопоставимо близких значениях термического сопротивления, коэффициент теплопроводности образца отличается в несколько раз.

Так, образец марки по плотности D250 (образец Н-2) имеет коэффициента теплопроводности равным 0,0578 Вт/м·К, тогда как более плотные образцы марки D450 (образец Н-3) и D500 (образец Н-1) имеют коэффициенты теплопроводности 0,0870 и 0,1305 Вт/м·К соответственно. Коэффициент теплопроводности контрольного образца (образец Н-4) марки по плотности D450 равен 0,1278 Вт/м·К. Следовательно, при повышении марки полистиролбетона по плотности наблюдается увеличение коэффициента теплопроводности, что объясняется более быстрым проходом тепла по толщине образца при повышении его плотности.

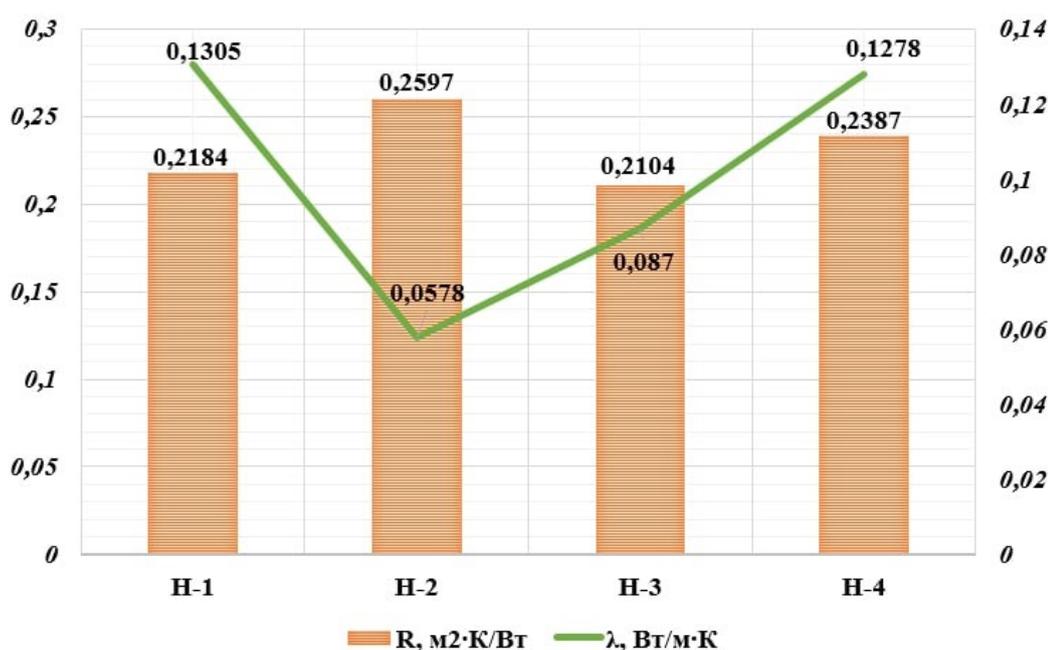


Рисунок 2. Зависимость коэффициента термического сопротивления теплопроводности полистиролбетона от плотности и прочности

Резкое отличие хорошо прослеживается и в соотношении этих двух параметров рассматриваемых образцов (рис.2). Так, соотношение коэффициента теплопроводности к показателю термического сопротивления образца Н-1 равно 0,5975. Соотношение этих параметров для Н-2 составляет 4,4931; для Н-3 – 2,4184 и для Н-4 – 0,5354. Марка по плотности

полистиролбетона для этих составов составляет D500; D250; D450 и D450 при прочности B0,35; M5; B0,5 и B1 соответственно. Прямой зависимости соотношения коэффициента теплопроводности к показателю термического сопротивления от плотности и прочности образцов не выявлено.

Резюме. Таким образом установлено, что данная технология более удобна для изготовления теплоизоляционного полистиролбетона с вторичными полистирольными гранулами, соотношение между вяжущим и заполнителем не влияет на равномерность распределения гранул вторичного полистирола в объеме полистиролбетона. Для обеспечения более однородной структуры полистиролбетона и исключения рыхлых образований, полистирольные смеси рекомендуется подвергать кратковременному вибрационному воздействию в течение 20-30 с. были определены коэффициенты теплопроводности для полистиролбетона на вторичном дробленом полистирольном заполнителе и установлено зависимость теплопроводности от плотности и прочности бетона.

Список литературы

1. Халиков, Д.А. Эволюция теплоизоляционных строительных материалов / Д.А.Халиков, Г.С.Халикова, Т.В.Гончарова, К.Ф.Исламов // Фундаментальные исследования. Технические науки. – 2015. – № 10. – С. 529-533.
2. Гущин, С.В. Мировые тенденции развития энергосберегающих технологий / С.В.Гущин, А.С.Семиненко, С.Шен //Вестник БГТУ, 2020, №5. – С. 31-43.
3. Дубовицкая, Н.С. Цементная композиция с использованием вторичного полистирола /Н.С.Дубовицкая, З.А.Мухамедбаева, Аг.А.Мухамедбаев // Сб.тр.междунар. научно-техн.конф. «Актуальные проблемы инновационных технологий в развитии химической, нефте-газовой и пищевой промышленности». Ташкент, 2021. –С.176-177.

4. Лобачев, Ф.С. Инновационная технология полистиролбетона с оптимальными свойствами / Ф.С.Лобачев, А.О.Нургазинова, Л.А.Варламова, П.В.Корниенко // Наука и техника Казахстана. – 2012. – № 3-4. – С. 46-56.
5. Копылов, И.А. Пенополистирол: новый виток популярности / И.А.Копылов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2012. – № 11. – С. 26-28.
6. Халиков, Д.А. Эволюция теплоизоляционных строительных материалов / Д.А.Халиков, Г.С.Халикова, Т.В.Гончарова, К.Ф.Исламов // Фундаментальные исследования. Технические науки. – 2015. – № 10. – С. 529-533.
7. Лобачев, Ф.С. Инновационная технология полистиролбетона с оптимальными свойствами / Ф.С.Лобачев, А.О.Нургазинова, Л.А.Варламова, П.В.Корниенко // Наука и техника Казахстана. – 2012. – № 3-4. – С. 46-56.
8. Dubovitskaya N., Mukhamedbaeva Z., Mukhamedbaev A. Durability of Expanded Polystyrene Concrete on Recycled Polystyrene // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Tecnology. Vol. 8, Issue 9, September 2021, pp. 18247-18250. www.ijarset.com.
9. Отарбаев, Ч.Т. Исследование использования полистеролбетона в качестве конструкционного строительного материала в Казахстане / Ч.Т.Отарбаев, Н.Н.Атчабаров // Вестник науки и образования. Архитектура. – 2019. – № 3. – С. 92-94.
10. Копылов, И.А. Пенополистирол: новый виток популярности / И.А.Копылов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2012. – № 11. – С. 26-28.
11. Рахманов, В.А. Инновационная технология полистиролбетона с оптимальными свойствами / В.А.Рахманов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2011. – № 9. – С. 37-41.