

**ГЕОТЕХНОЛОГИЯ
(ПОДЗЕМНАЯ, ОТКРЫТАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ)
GEOTECHNOLOGY
(UNDERGROUND, OPEN AND CONSTRUCTION)**

Научная статья

УДК 624.1 : 699.865

DOI: 10.26730/1999-4125-2022-2-64-74

**УТЕПЛЕНИЕ ОБДЕЛКИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННО-КОНСТРУКЦИОННЫМ
ГЕОПОЛИСТИРОЛБЕТОНОМ**

Угляница Андрей Владимирович,
Дуваров Владимир Борисович

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

*для корреспонденции: uav@Kuzstu.ru

Аннотация.

Для утепления обделки подземных сооружений, возводимых открытым способом, предложено производить теплоизоляцию их обделки монолитным, блочным или плитным теплоизоляционно-конструкционным полистиролбетоном. Учитывая, что при эксплуатации теплоизоляционная оболочка обделки подземного сооружения подвергается давлению от расположенных выше грунтов и поверхностных сооружений, а также то, что укладку полистиролбетонной смеси в РФ часто приходится производить в зимних условиях, выполнены лабораторные экспериментальные исследования по разработке состава и технологии приготовления специального теплоизоляционно-конструкционного геополистиролбетона с повышенным пределом прочности на сжатие и возможностью его укладки при отрицательной температуре. Разработанный теплоизоляционно-конструкционный геополистиролбетон с маркой по средней плотности D300 и классом по прочности на сжатие B 1,0 по сравнению с часто применяемым для утепления подземных сооружений экструзионным пенополистиролом ПЕНОПЛЭКС ГЕО имеет ряд преимуществ: он в 5 раз прочнее, в два раза дешевле и выдерживает в три раза больше циклов замораживания и оттаивания. При этом повышенная прочность геополистиролбетона, в сравнении с пенополистиролом ПЕНОПЛЭКС ГЕО позволяет утеплять им обделку подземных сооружений в условиях повышенного давления на нее расположенных выше грунтов и поверхностных сооружений, а увеличенная морозостойкость – продлить срок службы утеплителя при расположении его на глубине промерзания грунтов. Кроме этого, прочная теплоизоляционная оболочка из геополистиролбетона, являясь несущей конструкцией, позволяет уменьшить несущую способность и толщину обделки подземного сооружения и, как следствие, сократить совокупную стоимость обделки с теплоизоляционной оболочкой.



Информация о статье

Поступила:

03 марта 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

30 марта 2022 г.

Принята к публикации:

29 апреля 2022 г.

Ключевые слова:

подземное сооружение,
теплоизоляция, обделка,
полистиролбетон, прочность,
морозостойкость.

Для цитирования: Угляница А.В., Дуваров В.Б. Утепление обделки подземных сооружений теплоизоляционно-конструкционным геополистиролбетоном // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 2 (150). С. 64-74. doi: 10.26730/1999-4125-2022-2-64-74

Введение.

В настоящее время в РФ активно наращивается освоение подземного пространства, под землей возводятся сооружения транспортного, гражданского, промышленного, сельскохозяйственного, оборонного и других назначений, а в мегаполисах строятся целые подземные города. При этом около 70% подземных сооружений сооружаются открытым способом, который является значительно более дешевым по сравнению с подземным способом их возведения.

Учитывая, что среднегодовая температура воздуха в РФ составляет $-5,5^{\circ}\text{C}$, Минстроем России с 15 июня 2019 г. в связи с промерзанием грунтов и увеличением их теплопроводности введено обязательное утепление подземных сооружений, заглубленных под землю на глубину более 1 м [1]. При этом для расчета приведенного сопротивления теплопередачи подземных сооружений применяется та же нормируемая величина, что и для сооружений, расположенных выше уровня земной поверхности. В этой связи применение качественных теплоизоляционных материалов, адаптированных к условиям строительства подземных сооружений, в том числе при отрицательных температурах, становится весьма актуальным.

Для теплоизоляции строительных конструкций в настоящее время широко применяют монолитный, блочный или плитный полистиролбетон, а также плиты из экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС. При этом для теплоизоляции обделки подземных сооружений разработан специальный ПЕНОПЛЭКС ГЕО, обладающий повышенными прочностными характеристиками [2].

Полистиролбетон является неорганическим композиционным материалом, близким по своему функциональному значению к ячеистым бетонам [3-7]. Матрицей в данном материале является цементный камень, а заполнителем – гранулы сверхлегкого пенополистирола [8-11]. Снижение средней плотности матрицы достигается обязательным введением в полистиролбетон пенообразующей добавки SDO-L, которая при перемешивании с водой затвердения образует устойчивую пену.

Для повышения теплозащитных свойств наружных несущих конструкций широкое распространение получил теплоизоляционно-конструкционный полистиролбетон с маркой по средней плотности D300, который имеет класс бетона на одноосное сжатие B0,75 и марку по морозостойкости F150. Полистиролбетон с такими характеристиками применяют в энергоэффективных конструктивных элементах зданий, а именно в монолитных трехслойных наружных стенах малоэтажных и многоэтажных зданий, в трехслойных стеновых панелях, плитах перекрытия, стеновых блоках и др. [12, 13]. Основные характеристики теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона с маркой по средней плотности D300 и

Таблица 1. Основные характеристики теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона с маркой по средней плотности D300 и пенополистирола ПЕНОПЛЭКС ГЕО

Table 1. The main characteristics of heat-insulating and structural polystyrene concrete of medium density grade D300 and PenoplexGEO expanded polystyrene

Средняя плотность, кг/м^3	Средняя прочность на сжатие, МПа	Средний предел прочности на растяжение при изгибе, МПа	Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии, $\text{Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$.	Марка по морозостойкости	Стоимость, руб/м ³
Теплоизоляционно-конструкционный полистиролбетон D300					
300	1,13	0,53	0,070	F150	4200
Пенополистирол ПЕНОПЛЭКС ГЕО					
32	0,30	0,55	0,032	F50	7140

пенополистирола ПЕНОПЛЭКС ГЕО приведены в табл. 1.

Анализ приведенных в табл. 1 данных показывает, что теплоизоляционно-конструкционный полистиролбетон D300 по сравнению с пенополистиролом ПЕНОПЛЭКС ГЕО для утепления обделок подземных сооружений, возводимых открытым способом, имеет ряд преимуществ: он в 3,7 раза прочнее, почти в два раза дешевле и выдерживает в три раза больше циклов замораживания и оттаивания. При этом повышенная прочность полистиролбетона в сравнении с пенополистиролом ПЕНОПЛЭКС ГЕО на практике позволит утеплять им обделку подземных сооружений в условиях повышенного давления на нее расположенного выше грунта и поверхностных сооружений, а увеличенная морозостойкость продлит срок службы утеплителя при расположении его на глубине промерзания грунтов. Кроме этого, теплоизоляционная оболочка из полистиролбетона, обладающая повышенной прочностью на сжатие, сама является несущей конструкцией по сравнению с оболочкой из ПЕНОПЛЭКС ГЕО, поэтому применение ее для теплоизоляции позволит уменьшить толщину и несущую способность обделки подземного сооружения и, как следствие, сократить совокупную стоимость обделки с теплоизоляционной оболочкой.

Недостаток теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона D300 по сравнению с пенополистиролом ПЕНОПЛЭКС ГЕО заключается в более высоком значении коэффициента теплопроводности в сухом состоянии, что требует увеличения толщины слоя утеплителя обделки. Однако, учитывая, что полистиролбетон D300 почти в два раза дешевле пенополистирола ПЕНОПЛЭКС ГЕО, то даже с учетом увеличения толщины теплоизоляции из полистиролбетона применение его для утепления обделки подземного сооружения окажется более дешевым по сравнению с ее утеплением пенополистиролом ПЕНОПЛЭКС ГЕО.

Следует отметить, что подземные сооружения, возводимые открытым способом, часто приходится сооружать в обводненных грунтах. Полистиролбетон является водопроницаемым теплоизоляционным материалом, поэтому теплоизоляционная оболочка из полистиролбетона требует ее гидроизоляции от обводненного грунта водонепроницаемой мембранной. Пенополистирол ПЕНОПЛЭКС ГЕО по данным разработчиков при погружении в воду впитывает 0,5% влаги по объему, поэтому при отсутствии на него гидростатического давления подземных вод его можно применять без гидроизоляции [2]. Однако на практике почти все подземные сооружения в процессе эксплуатации подвергаются гидростатическому давлению подземных вод, которое возрастает с увеличением глубины заложения подземного сооружения и давления на него поверхностных сооружений. В этих условиях пенополистирол ПЕНОПЛЭКС ГЕО будет впитывать в себя более значительное количество влаги и терять свои теплоизоляционные свойства. Поэтому при теплоизоляции подземного сооружения пенополистиролом ПЕНОПЛЭКС ГЕО в обводненных грунтах также потребуются его гидроизоляция водонепроницаемой мембранной.

Из вышесказанного следует, что теплоизоляционно-конструкционный полистиролбетон D300 можно применять для утепления обделок подземных сооружений, возводимых открытым способом, в качестве альтернативы пенополистиролу ПЕНОПЛЭКС ГЕО. Учитывая, что при эксплуатации теплоизоляционная оболочка из полистиролбетона подвергается давлению от расположенных выше грунтов и поверхностных сооружений, а также, то что укладку полистиролбетонной смеси в РФ часто приходится производить в зимних условиях, становится актуальной задача по разработке состава и технологии приготовления специального теплоизоляционно-конструкционного геополстиролбетона D300 с повышенным пределом прочности на сжатие и возможностью его укладки в зимних условиях при отрицательной температуре.

Материал и методы исследования.

В КузГТУ ранее выполнены лабораторные экспериментальные исследования по повышению комплекса физико-механических свойств цементного камня модифицирующей добавкой из дисперсного железосодержащего шлама, являющегося отходом химической промышленности [14, 15]. При этом установлено, что добавка железосодержащего шлама в цементное вяжущее в количестве 5,0% от массы цемента повышает прочность цементного камня при сжатии на 10 %.

Поскольку прочность полистиролбетона зависит от прочности его цементной матрицы, для решения поставленной задачи были выполнены лабораторные экспериментальные исследования

по определению прочности при сжатии теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона D300 с модифицирующей добавкой железосодержащего шлама, том числе и с противоморозной добавкой Бенотех ПМП-1.

Для изготовления образцов теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона в качестве вяжущего использовали портландцемент, произведенный ООО «Топкинский цемент» марки ЦЕМ I 42,5Н, выпускаемый по ГОСТ 31108-2016. Для затворения портландцемента использовали воду, удовлетворяющую требованиям ГОСТ 23732-2011. В качестве заполнителя применяли пенополистирол, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 33929-2016. Гранулометрический состав пенополистирола определяли по ГОСТ 9758-2012. В качестве добавки-модификатора использовали железосодержащий шлак с оксидом переходного металла железа из отработанных катализаторов при производстве анилина на КАО «Азот» в г. Кемерово. Перед использованием в качестве добавки предварительно обезвоженный шлак досушивали до минимальной остаточной влажности при температуре 105°C и домальвали до остатка на сите №008 15%. При приготовлении теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона применяли также воздухововлекающую добавку – смолу древесную омыленную SDO-L, отвечающую требованиям ТУ-2453-013-10644738-00.

Для исследования прочности теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона с маркой по средней плотности D300 в качестве базового состава полистиролбетонной смеси был принят следующий расход материалов на приготовление 1 м³ смеси: цемент – 240 кг, вода – 120 кг (В:Ц = 0,5), пенополистирол – 1 м³, воздухововлекающая добавка SDO-L – 0,5 кг.

Прочность теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона с добавкой железосодержащего шлама определяли на образцах кубах размерами 10×10×10 см согласно ГОСТ 10180-2012. Все образцы твердели в нормальных условиях. Добавку шлама вводили в количестве 0-8% от массы цемента с шагом 1 %. Количество образцов в серии принимали равным трем с коэффициентом вариации не более 18% в соответствии с ГОСТ 18105-2010. Предел прочности определяли на прессе ПСУ-10 как среднее арифметическое значение результатов испытаний серии образцов.

Исследования прочности теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона с добавкой железосодержащего шлама и противоморозной добавкой Бенотех ПМП-1 при твердении полистиролбетона в зимних условиях при температуре до -10⁰ С выполняли в два этапа.

На первом этапе проводили эксперименты по определению оптимального количества противоморозной добавки Бенотех ПМП-1 к цементному вяжущему для получения максимальной прочности теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона с добавками железосодержащего шлама в нормальных условиях твердения (при положительной температуре). При этом образцы полистиролбетона изготавливали только с соотношениями компонентов бетонной смеси, при которых были получены максимальные значения предела прочности на сжатие в экспериментах без противоморозной добавки. Противоморозную добавку Бенотех ПМП-1 совместно с добавкой железосодержащего шлама вводили в количестве 0,0-2,0% от массы цемента с шагом 0,25%.

На втором этапе исследований выполняли эксперименты по оценке эффективности добавки к цементному вяжущему железосодержащего шлама совместно с противоморозной добавкой Бенотех ПМП-1 при твердении теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона с добавкой железосодержащего шлама в зимних условиях при отрицательной температуре до -10⁰ С. При этом противоморозную добавку Бенотех ПМП-1 добавляли к цементному вяжущему в оптимальном количестве, определенном на первом этапе исследований. Оценка эффективности противоморозной добавки Бенотех ПМП-1 проводили в соответствии с ГОСТ 30459-2008 по набору полистиролбетоном с противоморозной добавкой Бенотех ПМП-1 при отрицательной температуре до -10⁰ С в возрасте 28 сут прочности 30 % и более от прочности полистиролбетона без противоморозной добавки Бенотех ПМП-1 в нормальных условиях твердения.

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты испытаний на прочность при сжатии образцов теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона с добавкой железосодержащего шлама приведены на рис. 1.

Анализ результатов проведенных экспериментов показал, что добавка железосодержащего шлама к цементному вяжущему приводит к возрастанию предела прочности теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона при сжатии. Для определения количества добавки железосодержащего шлама к цементному вяжущему, соответствующего наибольшему приросту прочности теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона, на основе полученных результатов построена зависимость влияния количества добавки шлама X , на предел прочности при сжатии теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона Y методом наименьших квадратов.

Математическая обработка результатов исследования позволила получить уравнение с коэффициентами регрессионной модели для зависимости предела прочности при сжатии теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона с добавкой железосодержащего шлама

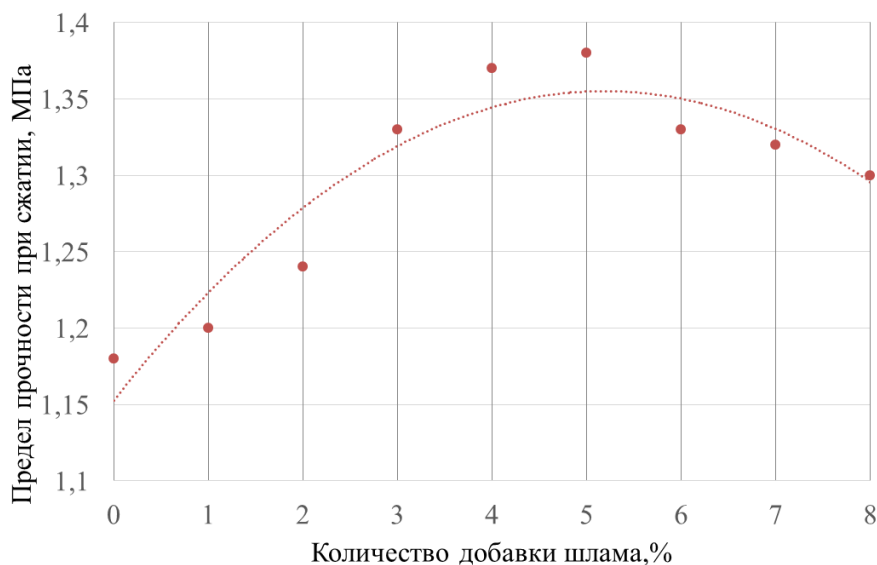


Рис. 1. Влияние количества добавки железосодержащего шлама на предел прочности при сжатии теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона $R_{сж}$

Fig. 1. Influence of the amount of iron-containing sludge admixture on the compressive strength of heat-insulating structural polystyrene concrete $R_{compressive}$

$$Y = 1,153 + 0,078 \cdot X - 0,0075 \cdot X^2.$$

Для оценки значимости коэффициентов регрессии использовали критерий Стьюдента. Адекватность полученной модели оценивали по критерию Фишера. Числовая реализация полученного уравнения показала, что максимальное значение предела прочности на сжатие теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона составляет 1,36 МПа с добавкой железосодержащего шлама к цементному вяжущему в количестве 5,2 %. При этом прирост прочности теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона за счет добавки железосодержащего шлама составил 15,3 %.

Результаты испытаний на прочность при сжатии образцов теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона в нормальных условиях твердения с добавками железосодержащего шлама и противоморозной добавкой Бенотех ПМП-1 приведены на рис. 2.

Анализ результатов испытаний теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона показал, что противоморозная добавка Бенотех-ПМП-1 в количестве 0,75% от массы вяжущего в нормальных условиях твердения максимально повышает прочность теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона с добавкой железосодержащего шлама на 11%. При этом

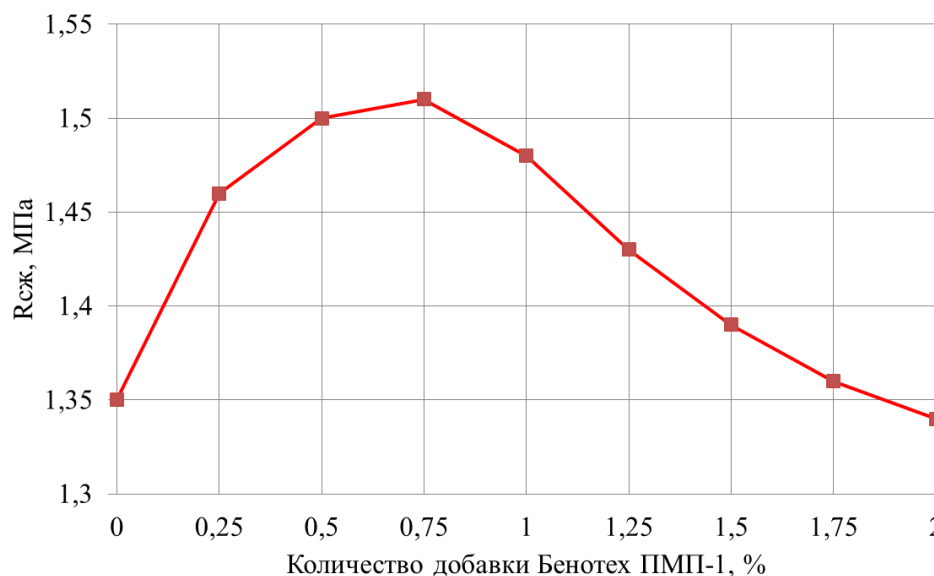


Рис. 2. Влияние противоморозной добавки Бенотех ПМП-1 на предел прочности при сжатии теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона $R_{сж}$ с добавкой железосодержащего шлама

Fig. 2. Influence of the antifreeze admixture Benotekh PMP-1 on the ultimate compressive strength of heat-insulating structural polystyrene concrete $R_{compressive}$ with iron-containing sludge additive

Таблица 2. Прочность теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона с добавкой железосодержащего шлама в нормальных условиях и дополнительно с противоморозной добавкой Бенотех ПМП-1 при отрицательной температуре

Table 2. The strength of heat-insulating and structural polystyrene concrete with the admixture of iron-containing sludge under normal conditions and additionally with the antifreeze admixture Benotekh PMP-1 under negative temperatures

Контрольные составы		Основные составы		Изменение прочности, %
Предел прочности при сжатии, МПа	Среднее значение предела прочности, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Среднее значение предела прочности, МПа	
1,35	1,36	0,50	0,46	33,7
1,37		0,42		
1,35		0,46		

Примечание: контрольные составы твердели в нормальных условиях без противоморозной добавки Бенотех ПМП-1; основные составы - твердели при отрицательной температуре с противоморозной добавкой Бенотех ПМП-1.

предел прочности на сжатие теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона составил 1,51 МПа.

Для оценки эффективности противоморозной добавки в условиях зимнего бетонирования принимали количество противоморозной добавки Бенотех ПМП-1 равным 0,75% от массы цемента. Результаты оценки эффективности противоморозной добавки при температуре -10°C приведены в табл. 2.

Анализ результатов показал, что набор прочности теплоизоляционно-конструкционным полистиролбетоном с добавкой железосодержащего шлама и противоморозной добавки Бенотех ПМП-1 в количестве 0,75% от массы цемента при отрицательной температуре -10°C в возрасте 28 сут превысил 30% от величины прочности полистиролбетона без противоморозной добавки Бенотех ПМП-1 в нормальных условиях твердения и составил 34,1%, что соответствует критерию эффективности применения противоморозных добавок согласно ГОСТ 24211.

Таблица 3. Составы теплоизоляционно-конструкционного геополистиролбетона

Table 3. Compositions of heat-insulating structural geopolystyrene concrete

Цемент, кг	Вода, кг	Пенополистирол, 1 м ³	Добавка SDO-L, кг	Железосодержащий шлам, кг	Добавка Бенотех ПМП-1
216	97,2	1,0	0,45	11,23	–
216	97,2	1,0	0,45	11,23	1,62

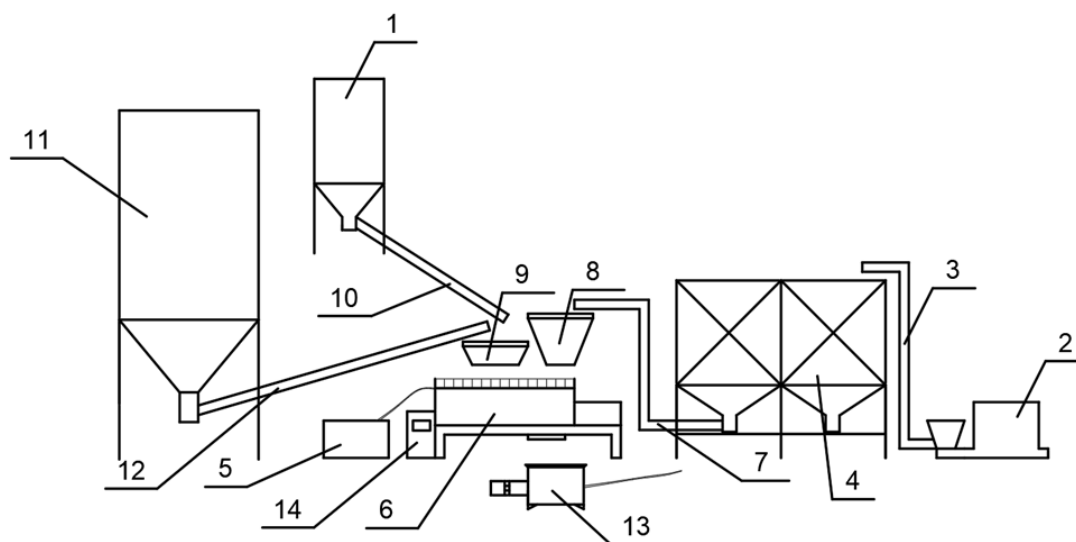


Рис. 3. Технологический комплекс для приготовления теплоизоляционно-конструкционного геополистиролбетона: 1 – силос для добавки шлама; 2 – вспениватель полистирола; 3 – пневмотранспортер; 4 – бункер вылеживания пенополистирола; 5 – дозатор воды и жидких добавок; 6 – бетономеситель; 7 – пневмопитатель; 8 – объемный дозатор пенополистирола; 9 – весовой дозатор сухих компонентов; 10 – шнековый питатель добавки шлама; 11 – силос для цемента; 12 – шнековый питатель цемента;

13 – героторный насос; 14 – пульт управления технологическим комплексом

Fig. 3. Technological complex for the preparation of heat-insulating structural geopolystyrene concrete: 1 – sludge addition silo; 2 – polystyrene foamer; 3 – airpad conveyor; 4 – polystyrene maturing bin; 5 – dispenser of water and liquid additives; 6 – concrete mixer; 7 – pneumatic feeder; 8 – volumetric batcher of polystyrene; 9 – weight batcher of dry ingredients; 10 – screw slurry admixture feeder; 11 – cement silo; 12 – screw cement feeder; 13 – gerotor type pump; 14 – technological complex control panel

В табл. 3 приведены составы разработанного геополистиролбетона для теплоизоляции подземных сооружений с маркой по средней плотности D300 с добавкой железосодержащего шлама, а также с добавками железосодержащего шлама и противоморозной добавки Бенотех ПМП-1.

Основными операциями по приготовлению полистиролбетонной смеси являются: подготовка исходных компонентов, их дозирование и перемешивание. На рис. 3 представлен технологический комплекс для приготовления теплоизоляционно-конструкционного геополистиролбетона.

Железосодержащий шлам, готовый для добавки к цементу, загружают в силос для шлама 1 (см. рис. 3). Пенополистирол получают во вспенивателе 2 в результате термической обработки полистирольных гранул паром, далее по пневмотранспортеру 3 его подают в бункер вылеживания 4, где происходит выравнивание давления внутри гранул пенополистирола и их сушка.

Воду и растворы добавок SDO-L и Бенотех ПМП-1 подают при помощи дозатора 5. Вначале в смеситель 6 подают 1/3 воды затворения с добавкой SDO-L, пенополистирол и добавку шлама. При бетонировании в зимних условиях на этом этапе также вводится добавка Бенотех ПМП-1. Пенополистирол из бункера вылеживания подают по пневмопитателю 7, дозирование пенополистирола осуществляют объемным дозатором 8. Шлам подают в дозатор сухих

компонентов 9 из бункера хранения шнековым питателем 10. Затем производят перемешивание в течение 30 с. При этом шлам равномерно распределяется по поверхности гранул пенополистирола.

На следующем этапе, из силоса для цемента 11 по шнековому питателю 12 через дозатор сухих компонентов в смеситель подают портландцемент и производят их перемешивание в течение 1 мин.

На последнем этапе в смеситель подают оставшееся количество воды затворения и производят окончательное перемешивание геополистиролбетонной смеси. Общее время перемешивания должно составлять не менее 5 мин.

После приготовления геополистиролбетонную смесь выгружают в приемный бункер героторного насоса 13 и подают к месту укладки или транспортное средство. Управление технологическим комплексом для приготовления геополистиролбетонной смеси производят с пульта управления 14.

Для теплоизоляции обделок подземных сооружений следует применять монолитный, блочный или плитный геополистиролбетон.

Выводы. По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Добавка к цементному вяжущему железосодержащего шлама в количестве 5,2% от массы цемента позволяет повысить предел прочности на сжатие теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона с маркой по средней плотности D300 и классом по прочности на сжатие В 0,75 от 1,13 до 1,36 МПа. Дополнительная добавка к цементному вяжущему противоморозной добавки Бенотех ПМП-1 в количестве 0,75 % от массы цемента повышает предел прочности на сжатие теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона до 1,51 МПа, что позволяет изготавливать теплоизоляционно-конструкционный геополистиролбетон с маркой по средней плотности D300 и классом по прочности на сжатие В 1,0.

2. Разработанный теплоизоляционно-конструкционный геополистиролбетон с маркой по средней плотности D300 и классом по прочности на сжатие В 1,0 по сравнению с пенополистиролом ПЕНОПЛЭКС ГЕО имеет ряд преимуществ: он в 5 раз прочнее, в два раза дешевле и выдерживает в три раза больше циклов замораживания и оттаивания. При этом повышенная прочность геополистиролбетона, в сравнении с пенополистиролом ПЕНОПЛЭКС ГЕО, позволяет утеплять им обделку подземных сооружений в условиях повышенного давления на нее выше расположенного грунта и поверхностных сооружений, а увеличенная морозостойкость – продлить срок службы утеплителя при расположении его на глубине промерзания грунтов. Кроме этого, прочная теплоизоляционная оболочка из геополистиролбетона, являясь несущей конструкцией, позволяет уменьшить несущую способность и толщину обделки подземного сооружения и, как следствие, сократить совокупную стоимость обделки с теплоизоляционной оболочкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н. П. Лукутцова [и др.] Изменение № 1 к СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Минстрой России, 15.06.2019.
2. ТУ 5767-006-54349294-2014. Пеноплекс ГЕО, технический лист №1 от 15.06.2015.
3. Структура и свойства полистиролбетона с силикатными пастами // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2017. № 11. С. 25-33. DOI 10.12737/article_5a001aadc0fe57.79195521.
4. Абдыраймов Ж. А. [и др.] Легкие железобетонные конструкции на основе полистиролбетона // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова. 2019. № 2(64). С. 295-298. DOI 10.35803/1694-5298.2019.2.295-298.
5. Chowdhury S., Mishra M., Suganya O.. The incorporation of wood waste ash as a partial cement replacement material for making structural grade concrete: An overview. Ain Shams Engineering Journal. Vol. 6, Iss. 2, 2015, P.429-437.
6. Cheah Chee Ban, Ramli Mahyuddin. Mechanical strength, durability and drying shrinkage of structural mortar containing HCWA as partial replacement of cement. Construction and Building Materials. Vol. 30, 2012, P.320-329.

7. C. Kulasuriya, V. Vimonsatit, W.P.S. Dias and P. De Silva/ Design and development of Alkali Pozzolan Cement (APC)/Construction and Building Materials 68, pp. 426-433 (2014).
8. Maria S. Konsta-Gdoutos, Zoi S. Metaxa, Surendra P. Shah. Highly dispersed carbon nanotube reinforced cement based materials. Cement and Concrete Research. Volume 40, Issue 7, July 2010, Pages 1052-1059.
9. Короткова А. А. Выбор цемента для производства легких бетонов и способы устранения возможных дефектов полистиролбетона // Технологии бетонов. 2019. № 11-12 (160-161). С. 12-14.
10. Поляков Т. А., Поварова О. А. Использование фибры из полиэтилентерефталата для улучшения свойств полистиролбетона // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. 2019. № 4(6). С. 83-85.
11. Акулова М. В., Слизнева Т. Е. Полистиролбетон на портландцементном вяжущем с добавлением жидкого стекла и шамота // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 3(68). С. 103-111. DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-3-103-111.
12. Рахманов В. А., Сафонов А. А. Свойства полистиролбетонов при различных видах статического и динамического сжатия // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 4. С. 65-71. DOI 10.22337/9785432302212-2017-302-316.
13. Рахманов В. А. Теплоэффективные ограждающие конструкции зданий с использованием полистиролбетонов, разработанных институтом ВНИИЖелезобетон // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 2. С. 9-18.
14. Угляница А. В., Дуваров В. Б. О возможности модификации цементных бетонов отработанным катализатором производства анилина // Вестник ВСГУТУ. Улан-УдЭ. №2 (73) 2019. С.43-52.
15. Патент № 2341496 C1 (RU). Хмеленко Т. В., Угляница А. В., Дуваров В. Б. Сырьевая смесь для изготовления легкого бетона. Заявл. 02.05.2007; опубли. 20.12.2008. Бюл. № 35.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Угляница Андрей Владимирович, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), доктор техн. наук, профессор, uav@Kuzstu.ru

Дуваров Владимир Борисович, ст. преподаватель, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), wowawowa@bk.ru

Заявленный вклад авторов:

Угляница А.В. - постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Дуваров В.Б. - постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

HEAT INSULATION OF THE LINING OF UNDERGROUND STRUCTURES WITH STRUCTURAL GEOPOLYSTEROL CONCRETE

Andrey V. Uglyanitsa,
Vladimir B. Duvarov

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

*for correspondence: uav@Kuzstu.ru



Article info

Submitted:

03 March 2022

Approved after reviewing:

30 March 2022

Accepted for publication:

29 April 2022

Keywords: underground structure, heat insulation, lining, polystyrene concrete, strength, frost resistance.

Abstract.

It is proposed to carry out heat insulation of the lining of open trench underground structures with monolithic, block or slab heat-insulating structural polystyrene concrete. Taking into account the fact that during operation the heat-insulating shell of the lining of an underground structure is subjected to pressure from higher soils and surface structures, as well as the fact that a polystyrene concrete mixture in the Russian Federation often has to be laid in winter, laboratory experimental studies were carried out to determine the composition and technology for preparing a special heat-insulating and structural geopolystyrene concrete with increased compressive strength and the possibility of its laying under negative temperatures. The developed heat-insulating and structural geopolystyrene concrete of medium density grade D300 and compressive strength grade B1.0 has a number of advantages compared to PenoplexGEO expanded polystyrene foam, which is often used for insulation of underground structures: it is 5 times stronger, twice cheaper and withstands three times more freeze and thaw cycles. In addition, the increased strength of geopolystyrene concrete in comparison with PenoplexGEO expanded polystyrene allows insulating the lining of underground structures under conditions of increased pressure from soil and surface structures, and increased frost resistance allows extending the life of the insulation when located at a depth of soil freezing. In addition, a strong heat-insulating shell made of geopolystyrene concrete, being a supporting structure, makes it possible to reduce the bearing capacity and thickness of the lining of an underground structure and, as a result, reduce the total cost of a lining with a heat-insulating shell.

For citation: Uglyanitsa A.V., Duvarov V.B. Heat insulation of the lining of underground structures with structural geopolyesterol concrete. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2022; 2(150):64-74. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2022-2-64-74

REFERENCES

1. Amendment No. 1 to Rule Book 50.13330.2012 "Thermal protection of buildings". Ministry of Construction of Russia, 06/15/2019.
2. Specifications 5767-006-54349294-2014. PenoplexGEO, data sheet No. 1 dated 06/15/2015.
3. Lukutsova N.P. et al. Structure and properties of polystyrene concrete with silicate pastes. *Bulletin of the V.G. Shukhov Belgorod State Technological University*. 2017; 11: 25-33. DOI 10.12737/article_5a001aadc0fe57.79195521.
4. Abdyraymov Zh.A. et al. Lightweight reinforced polystyrene concrete structures. *Bulletin of the N. Isanov Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture*. 2019; 2(64):295-298. DOI 10.35803/1694-5298.2019.2.295-298.
5. Chowdhury S, Mishra M, Suganya O. The incorporation of wood waste ash as a partial cement replacement material for making structural grade concrete: An overview. *Ain Shams Engineering Journal*. 2015; 6(2):429-437.
6. Cheah Chee Ban, Ramli Mahyuddin. Mechanical strength, durability and drying shrinkage of structural mortar containing HCWA as partial replacement of cement. *Construction and Building Materials*. 2012; 30: 320-329.
7. C. Kulasuriya, V. Vimonsatit W.P.S. Dias and P. De Silva/ Design and development of Alkali Pozzolan Cement (APC)/Construction and Building Materials. 2014; 68:426-433.

8. Maria S. Konsta-Gdoutos, Zoi S. Metaxa, Surendra P. Shah. Highly dispersed carbon nanotube reinforced cement based materials. *Cement and Concrete Research*. 2010; 40(7):1052-1059.
9. Korotkova A.A. The choice of cement for the lightweight concrete production and ways to eliminate possible polystyrene concrete defects. *Concrete technologies*. 2019; 11-12(160-161):12-14.
10. Polyakov T.A., Povarova O.A. The use of polyethylene terephthalate fiber to improve the properties of polystyrene concrete. *Bulletin of the Vologda State University. Series: Engineering sciences*. 2019; 4(6):83-85.
11. Akulova M.V., Slizneva T.E. Portland cement polystyrene concrete with the admixture of liquid glass and fireclay. *Bulletin of Civil Engineers*. 2018; 3(68):103-111. DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-3-103-111.
12. Rakhmanov V.A., Safonov A.A. Polystyrene concrete properties under various types of static and dynamic compression. *Industrial and civil construction*. 2017; 4:65-71. DOI 10.22337/9785432302212-2017-302-316.
13. Rakhmanov, V.A. Heat-efficient enclosing buildings using polystyrene concrete developed by the Institute of All-Russian Research Institute of Reinforced Concrete. *Industrial and civil construction*. 2017; 2:9-18.
14. Uglyanitsa A.V., Duvarov V.B. On the possibility of modifying cement concrete with a spent aniline production catalyst. *Bulletin of the East Siberian State University of Technology and Management*. 2019; 2(73):43-52.
15. Patent No. 2341496 C1 (RU). Khmelenko T.V., Uglyanitsa A.V., Duvarov V.B. Raw mix for the production of lightweight concrete. Appl. 02.05.2007; pubd. 20.12.2008. Bul. No. 35.

© 2022 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Andrey V. Uglyanitsa, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28, Vesennyya st., Kemerovo, 650000, Russian Federation), Dr. Sc. in Engineering, Professor, uav@kuzstu.ru

Vladimir B. Duvarov, Senior Lecturer, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28, Vesennyya st., Kemerovo, 650000, Russian Federation), wowawowa@bk.ru

Contribution of the authors:

Andrey V. Uglyanitsa - research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

Vladimir B. Duvarov - research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

All authors have read and approved the final manuscript.

