

666  
ПЗ2

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С.М.КИРОВА

На правах рукописи

ПИМЕНОВ ГЕОРГИЙ НИКОЛАЕВИЧ

УДК 666.189.3-492.8-553.535(043.3)

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА  
ГРАНУЛИРОВАННОГО ПЕНОСТЕКЛА НА ОСНОВЕ  
ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПЕЩЛОВ

Специальность 05.17.11 - Технология силикатных  
и тугоплавких неметаллических материалов

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Минск, 1985 г.



Работа выполнена в Магаданском комплексном научно-исследовательском отделе института "Забайкалпромстройинипроект"

- Научный руководитель - доктор технических наук,  
профессор ДЕМИДОВИЧ Б.К.
- Официальные оппоненты - доктор технических наук,  
профессор ЕРМОЛЕНКО Н.Н.  
кандидат технических наук,  
доцент КАЧАН И.С.
- Ведущее предприятие - Всесоюзный научно-исследовательский институт "ВНИИ Теплоизоляция", г. Вильнюс

Защита состоится " " мая 1985 г. на заседании специализированного Совета К.056.01.04 по присуждению ученой степени кандидата наук Белорусского ордена Трудового Красного Знамени технологического института им.С.М.Кирова по адресу: 220630, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, БТИ им.С.М.Кирова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке БТИ им.С.М.Кирова.

Автореферат разослан " " апреля 1985 г.

Ученый секретарь  
специализированного Совета,  
кандидат технических наук,  
доцент

 ДЯТЛОВА Е.М.

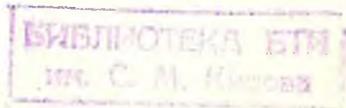
### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Директивы XXVI съезда КПСС предусматривают дальнейшую индустриализацию строительного производства, повышение степени заводской готовности конструктивных элементов зданий и сооружений, сокращение объемов строительно-монтажных работ на строящихся объектах. При этом основное внимание должно быть сосредоточено на применении легких экономичных конструкций на основе пористых заполнителей. Для решения этой проблемы в СССР в больших масштабах налажено производство искусственных пористых заполнителей: керамзита, аглопорита, шунгизита, вспученных перлита и вермикулита, зольного гравия, шлаковой пемзы, гранулированных металлургических шлаков и др.

Применение искусственных пористых заполнителей в бетонах строительных конструкций значительно уменьшает массу зданий и сооружений, улучшает теплотехнические характеристики ограждающих конструкций, снижает стоимость и сокращает сроки строительства.

Однако достигнутый уровень их производства в СССР далеко еще не удовлетворяет требованиям строительной индустрии даже в наиболее развитых экономических районах страны. Отставание объемов производства пористых заполнителей от потребления можно объяснить недостаточной изученностью региональных сырьевых ресурсов, пригодных для их получения, сложностью технологии добычи и кондиционирования природного сырья и отходов производства, а также неравномерностью их распространения. Особенно это относится к районам Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока.

В Магаданской области имеются значительные запасы вулканических пеплов, отличающиеся способностью вспучиваться при нагревании. Однако практическое использование их для производства пористых заполнителей до настоящего времени не налажено. Одним из основных факторов, сдерживающих организацию промышленного применения вулканического пепла, является недостаточная изученность процессов грануляции, вспенивания пенообразующих смесей и, как следствие, отсутствие технологии и оборудования.



В этой связи разработка рациональной и научно обоснованной технологии производства гранулированного пеностекла на основе местного сырья Магаданской области определяет актуальность темы диссертации.

Целью работы является разработка технологии производства легкого пористого заполнителя (гранулированного пеностекла) на основе вулканических пеплов месторождений Магаданской области.

Для достижения данной цели необходимо было решить ряд задач:

- исследовать физико-химические свойства вулканических пеплов;
- определить рациональный гранулометрический состав вулканических пеплов, наиболее целесообразный для гранулирования сырьевых смесей;
- изучить кинетику гранулирования пенообразующих смесей с целью получения сырьевых гранул требуемых параметров;
- исследовать кинетику вспенивания пенообразующих смесей на основе вулканических пеплов, формирование и развитие структуры образующихся пеноматериалов;
- исследовать влияние режимов термообработки на характер структуры и свойства гранулированного пеностекла;
- исследовать влияние опудривающих добавок на процесс вспенивания гранул;
- изучить свойства гранулированного пеностекла и выявить наиболее характерную взаимосвязь между ними применительно к использованию пеностекла для получения легких конструкционно-теплоизоляционных бетонов, пригодных для устройства наружных ограждений в условиях климата Северо-Востока;
- разработать составы легких бетонов, исследовать их физико-технические свойства;
- провести опытно-промышленную проверку разработанной технологии получения гранулированного пеностекла;
- разработать технологическую линию для производства гранулированного пеностекла и определить технико-экономическую эффективность применения гранулированного пеностекла и бетонов на его основе в условиях климата Северо-Востока.

Научная новизна. Выполнено комплексное исследование вулканических пеплов Уптарского и Хасынского месторождений Магаданской области. Исследованы процессы гранулообразования смесей на основе пеплов с добавкой водного раствора гидроксида натрия. Показана возможность устойчивой грануляции смесей с удельной поверхностью 160–170 м<sup>2</sup>/кг при диаметре гранул 2,5–10 мм и прочности 280–320 г/гранулу.

Изучена кинетика вспенивания пенообразующих смесей в различных газовых средах в присутствии инертных и активных минеральных добавок, разработаны оптимальные температурно-временные режимы получения гранулированного пеностекла фракций 5–10 и 10–20 мм во вращающейся печи. Получены зависимости свойств пеностекла от состава и условий его получения.

Выполнено комплексное исследование свойств гранулированного пеностекла, установлена возможность получения на его основе легких бетонов  $T = 300 \text{ кг/м}^3$ ,  $R_{сж} = 7,5 \text{ МПа}$ .

Практическое значение работы. Экспериментально подтверждена возможность применения вулканических пеплов для производства гранулированного пеностекла плотностью 300–450 кг/м<sup>3</sup>. Разработана технологическая схема получения гранулированного пеностекла, впервые в СССР построена и введена в эксплуатацию промышленная установка по производству гранулированного пеностекла мощностью 6000 м<sup>3</sup> в год. Разработаны технические условия на пеностекло (ТУ 479-127-80) и сырье для производства гранулированного пеностекла (ТУ 479-947-83). Разработаны составы легких бетонов, получены легкие и армированные конструкции из них для наружных ограждений жилых и общественных зданий. Организован их промышленный выпуск на Магаданском заводе строительных материалов.

По решению главного технического управления Минвостокстроя технологический регламент передан организациям системы для проектирования установки мощностью 50000 м<sup>3</sup>/год. Расчетный экономический эффект от внедрения гранулированного пеностекла на строительных объектах г.Магадана составляет 680 тыс. руб. в год.

Апробация работы. Основные положения работы доложены на научно-техническом совете объединения "Северовостокстрой" (Ма-

гадан, 1975 г.); на заседаниях ученого совета Красноярского Промстройиниипроекта (Красноярск, 1975-1979 г.г.); на заседаниях технико-экономического совета Главдальстроя (Хабаровск, 1976 г.); на заседании секции строительных материалов ученого совета Дальневосточного Промстройиниипроекта (Владивосток, 1979г.); на IX конференции молодых ученых Прибалтики и Белоруссии (Брест, 1977 г.); на научно-практической конференции "Комплексное экономическое и социальное развитие Магаданской области в ближайшей и долгосрочной перспективе" (Магадан, 1980г.); на ВДНХ СССР, общеминистерская школа-семинар Минвостокстроя (Москва, 1983 г.); на техническом совещании в Главтехуправлении Минвостокстроя (Москва, 1983г.); на научно-практической конференции "Комплексное развитие производительных сил Магаданской области до 2005 года" (Магадан, 1984г.); на научно-техническом совете Минского НИИ строительных материалов (Минск, 1985 г.).

По результатам выполненных исследований опубликовано 12 работ.

Объем диссертации. Работа состоит из введения, семи глав, основных выводов. Она содержит - 147 страниц, в том числе 20 таблиц, 30 рисунков, список литературы из 132 наименований и 4 приложения.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертации приведен критический анализ обзора литературы в области современного состояния производства легких заполнителей в СССР и за рубежом. Отмечен значительный вклад, внесенный в разработку теоретических основ вспучивания вулканических стекол и в развитие производства пористых заполнителей на их основе, трудами П. П. Будникова, Л. М. Бутта, К. Э. Горяинова, Б. К. Демидовича, А. В. Жукова, С. М. Ицковича, И. И. Китайгородского, М. А. Кашкай, С. П. Каменецкого, Н. С. Мануйловой, С. П. Онацкого, В. Л. Пржевальского, А. И. Полинковской, М. И. Рогового, Н. М. Тимофеевой, М. П. Элинзона и др.

Рассмотрены вопросы теории и практики гранулирования и вспенивания пенообразующих смесей во вращающихся печах, формирования спеков и структуры пеностекла. Дано обоснование выбора составов пенообразующих смесей для получения гранулированного пеностекла. Определены цель и задачи экспериментального исследования.

Во второй главе описаны методы исследования исходных материалов, пенообразующих смесей, спеков и пеностекла. Химическую устойчивость, плотность, прочность, dilatометрические характеристики, кристаллизационную способность определяли по стандартным методикам.

Процессы, протекающие при нагревании пенообразующих смесей, изучали комплексным методом с помощью дифференциально-термического анализа и оптической микроскопии; кристаллизацию спеков и пеностекла – рентгенографическим методом с привлечением электронной микроскопии.

Физико-механические свойства пеностекла и бетона на его основе определяли по общепринятым стандартным методикам.

Натурные испытания технологии получения гранулированного пеностекла проводили на специально построенной установке мощностью 6 тыс. м<sup>3</sup> в год.

В третьей главе приведены результаты исследования исходных продуктов – вулканического пепла двух месторождений Магаданской области (Уптарского и Хасинского).

Согласно классификации вулканогенных обломочных горных пород изученные вулканические пеплы относятся к рыхлым породам и представлены двумя разновидностями, различающимися по цвету (белая и серая) и химическому составу. Преобладающей является белая разновидность, практически не содержащая посторонних примесей (< 1%).

Насыпная плотность пепла до 970 кг/м<sup>3</sup>, удельная поверхность 126–153 м<sup>2</sup>/кг. Содержание отдельных фракций (средние значения): 0,15–0,05 мм – 28,3%; 0,05–0,01 мм – 59%; 0,01–0,005 мм – 9%; менее 0,005 мм – 3,6%. Содержание глинистых частиц в сырье незначительное (0,5–1,5%), водопоглощение колеблется в пределах 35–44%, хотя гигроскопичность его невелика (0,1–0,2%).

Химический состав (% по массе): SiO<sub>2</sub> – 68,9–72,2; TiO<sub>2</sub> – 0,1–0,2; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 13,1–13,8; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·FeO – 1,2–2,7; CaO – 0,8–1,7; MgO – 0,1–1,2; K<sub>2</sub>O – 3,9–4,2; Na<sub>2</sub>O – 3,6–4,1; п.п.п. – 3,6–4,4.

В минералогическом отношении основную часть вулканического пепла составляет легкая фракция – обломки вулканического стекла (98,99%). Тяжелая фракция в породе представлена магнизи-

том, амфиболом, эпидотом, масса которых в пепле 0,04–0,18% от общей массы пробы. Другие минералы представлены единичными зернами. В легкой фракции помимо обломков вулканического стекла присутствуют полевой шпат, кварц и др. Рентгеноструктурный анализ подтвердил, что в вулканическом пепле присутствуют: группа кварца ( $d/n = 0,426; 0,408; 0,390; 0,334; 0,323; 0,294; 0,280; 0,275$  н.м.); группа полевых шпатов ( $d/n = 0,377; 0,355; 0,319; 0,285; 0,265; 0,255$  н.м.); группа каолинита ( $d/n = 0,415; 0,282$  н.м.); группа амфибола ( $d/n = 0,253$  н.м.) и др. Характерной особенностью стекловидных обломков является насыщенность их газовыми включениями. Пузырьки различной величины (1–20 мкм) равномерно распределены в объеме зерен, что характерно для стекол, пораженных мошкой.

Термографическое исследование пепла показало, что начало потерь связанной воды происходит при температуре 420°C. Выше 390°C удаление связанной воды протекает относительно равномерно (по 0,2% на каждые 50°C). Температура начала деформации вулканического пепла находится в интервале 1060–1095°C, а конец – при 1194–1208°C. По этим показателям вулканический пепел Магаданских месторождений относится (согласно ГОСТ 4069–69) к легкоплавким материалам.

В четвертой главе приведены результаты исследований вспенивания гранулированного пеностекла. Дифференциально-термический анализ пенообразующей смеси, содержащей 10% гидроксида натрия показал, что образование жидкой фазы в спеках обнаруживается при 330°C, это совпадает с началом плавления гидроксида натрия. В дальнейшем происходит ее медленное накопление (630–750°C), что связано с растворением мелких частиц пепла. Для оптимального состава пенообразующей смеси (90% вулканического пепла и 10% гидроксида натрия) начало образования элементарных ячеек соответствует температуре 750°C. Процесс вспенивания гранул протекает плавно в интервале температуры 850–1000°C. Исследование кинетики процесса вспенивания пенообразующих смесей с различной удельной поверхностью пепла (126, 165 и 250 м<sup>2</sup>/кг) показало (рис. I), что коэффициент объемного вспенивания изменяется незначительно с увеличением дисперсности.

ности смеси (15-25%).

Для выяснения роли газообразователя в процессе вспенивания готовили смеси на основе вулканического пепла с удельной поверхностью  $126 \text{ м}^2/\text{кг}$  (природная разновидность) с добавкой водного раствора гидроксида натрия от 4 до 10%. Первый

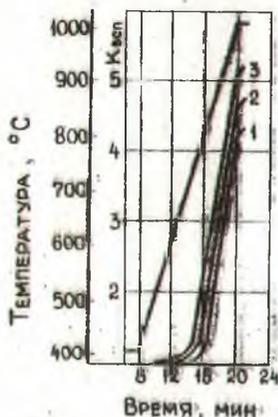


Рис. 1. Кинетика процесса вспенивания пенообразующих смесей при различной дисперсности вулканического пепла:

1, 2, 3 — при удельной поверхности пепла, равной 126, 165 и  $250 \text{ м}^2/\text{кг}$

этап исследований заключался в предварительной оценке реакционной способности смеси, для чего готовили образцы (диаметром 15 мм), которые помещали в металлические формы и затем вспенивали в лабораторной печи. Это позволило выявить наиболее перспективные составы, а также уточнить область оптимальной температуры, в которой необходимо вести поиск.

На рис. 2а показана динамика изменения коэффициента объемного вспенивания ( $K_{\text{всп}}$ ) пенообразующих смесей на основе вулканического пепла, содержащих от 4 до 10% гидроксида нат-

рия (кривые 1-4, рис. 2а). Установлено, что смеси, содержащие 4 и 6% гидроксида натрия (кривые 1 и 2) обладают недостаточной реакционной способностью. Коэффициент объемного вспенивания их находится в пределах 1,5-2,5 при температуре максимума вспенивания  $1000^{\circ}\text{C}$ . С увеличением содержания в смеси гидроксида натрия до 8-10% (кривые 3,4 рис. 2а)  $K_{\text{всп}}$  увеличивается до 3,5-4,5, что указывает на возможность получения

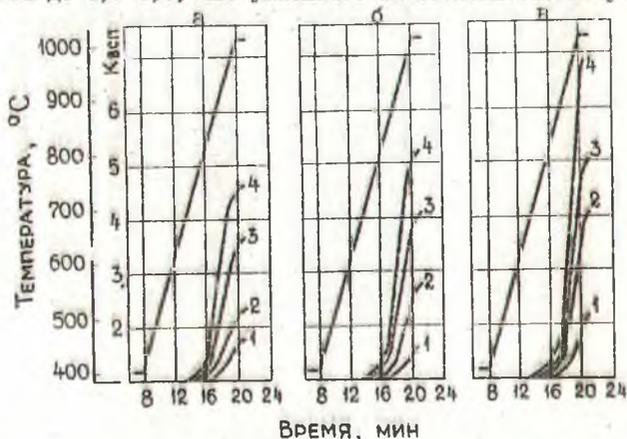


Рис. 2. Изменение коэффициента объемного вспенивания гранулированного пеностекла в зависимости от состава пенообразующей смеси при различном содержании газообразователя (нитрата натрия): 1-4 - смеси на основе вулканического пепла с удельной поверхностью  $126 \text{ м}^2/\text{кг}$  с добавкой гидроксида натрия 4, 6, 8 и 10% соответственно. а - без газообразователя, б - содержание нитрата натрия 0,25%, в - то же 0,5%

гранулированного пеностекла с насыпной плотностью  $300-400 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Установлено, что для снижения насыпной плотности пеностекла  $< 300 \text{ кг}/\text{м}^3$  требуется повышение температуры на  $100-150^{\circ}\text{C}$  или же введение газообразователя.

При выборе газообразователя учитывали возможность максимального выхода газообразных продуктов в интервале температуры вспенивания, а также снижения температуры максимума вспе-

нивания.

На рис. 2б, в показано изменение коэффициента объемного вспенивания пеностекла на основе смесей тех же составов с добавкой 0,25 и 0,5% нитрата натрия.

Установлено, что смеси, содержащие 4 и 6% гидроксида натрия незначительно повысили свою реакционную способность. Коэффициент объемного вспенивания увеличился лишь на 10–15%, что, очевидно, связано с недостаточным накоплением жидкой фазы в пиропластическом спеке из-за недостатка щелочного компонента ( $R_{20} = 10\text{--}12\%$ ). Введение в смесь водного раствора нитрата натрия в количестве 0,25 и 0,5% (рис. 2б, в) активизирует все процессы, начиная от спекания и заканчивая вспениванием. Особенно эффективное действие газообразователя наблюдается при более высоком содержании в смеси гидроксида натрия (8–10%). При добавке 0,25% нитрата натрия, коэффициент объемного вспенивания повышается на 20–25%, а при 0,5% – на 70–80% (рис. 3в, кривые 3 и 4).

Значительное повышение  $K_{\text{всп}}$  можно объяснить не только суммарным увеличением в расплаве оксида натрия, но и более ранним разложением газообразователя (380°C для нитрата натрия против 600°C для гидроксида натрия), которое способствует повышению упругости газообразной фазы в пиропластическом спеке. Структура пеностекла также заметно улучшается, что связано с возможностью залечивания отдельных дефектов, возникающих при вспенивании недостаточно однородных пиропластических спеков. Идентификация структуры и сравнение прочностных характеристик образцов пеностекла, полученных из смесей с добавками и без них, позволили заключить, что температуру максимума вспенивания можно снизить на 40–50°C при введении в смесь 0,25% нитрата натрия и на 70–100°C при 0,5% нитрата натрия.

Исследование влияния добавок, предотвращающих слипание пиропластических гранул в печи (шамотного порошка, золы ТЭЦ и молотой гидратной извести), показало, что они не оказывают заметного влияния на коэффициент объемного вспенивания гранулированного пеностекла.

Установлено, что спекы, содержащие природный вулканический пепел и щелочи в пределах 12,5–13,6%, обладают низкой кристаллизационной способностью. В смесях, нагретых по уско-

ренному режиму (в течение 30 мин), не успевают раствориться в образующемся расплаве только наиболее устойчивые минералы (кварц, ортоклаз, анортит). С увеличением содержания щелочей, особенно в виде гидроксида натрия, происходит практически полное растворение всех минералов. Рентгенофазовый анализ указывает лишь на присутствие в незначительном количестве кварца ( $d/n = 0,334$  н.м.).

Однако, та же смесь, подвергнутая длительной термообработке (нагрев + выдержка в течение 2 и 3 ч), несмотря на значительное содержание щелочей ( $R_2O = 13,57\%$ ) легко кристаллизуется, образуя новые виды тугоплавких кристаллических структур (муллит -  $d/n = 0,189; 0,191$  н.м.).

Электронно-микроскопическое исследование образцов пено-стекла, полученного из смеси, содержащей 90% пепла и 10% гидроксида натрия, показало, что основная масса их имеет гладкую, без каких-либо неоднородностей и трещин, поверхность, характерную для стекол. Наблюдаются отдельные островки с четко выраженной ликвиционной структурой. Кристаллы в этих островках имеют, в основном, капельный характер.

В пятой главе приведены результаты исследования процессов получения гранул из смесей на основе вулканического пепла.

Установлено, что оптимальные составы изученных пенообразующих смесей являются недостаточно пластичными, что вызывает необходимость перед грануляцией в тарельчатом грануляторе предварительного их уплотнения. Это позволило определить граничные параметры работы гранулятора ( $\alpha = 47-50^\circ$ ;  $v = 0,9-1,0$  м/сек), при которых устойчиво протекает процесс грануляции; максимальный выход гранул фракции 6-10 мм составил около 70%.

Показано, что для гранул, полученных из смесей без дополнительного измельчения пепла характерно наличие пустот различной величины (2-3 мм), что, очевидно, является причиной образования крупных полостей в гранулах при их вспенивании. Величина и количество этих полостей значительно уменьшается по мере повышения дисперсности пепла ( $165-250$  м<sup>2</sup>/кг). Показано, что вулканический пепел без добавок сравнительно легко и быстро измельчается в шаровых мельницах до удельной поверхности 300-350 м<sup>2</sup>/кг. По отношению к стеклу при равнозначных условиях в

области малых значений удельной поверхности пепла  $126 \text{ м}^2/\text{кг}$  скорость диспергирования повышается на 25–30% и на 20–25% при  $S = 300 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Установлено, что для получения прочных гранул с плотной структурой удельная поверхность вулканического пепла должна находиться в пределах  $160\text{--}170 \text{ м}^2/\text{кг}$ . При этом гранулы в сухом состоянии обладают прочностью при сжатии 5–8 МПа.

В шестой главе приведены результаты исследования технологии вспенивания гранулированного пеностекла. Для изучения были приняты оптимальные составы пенообразующих смесей, выявленные при исследовании кинетики вспенивания. Смеси готовили на основе вулканического пепла ( $S = 165 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) и водного раствора гидроксида натрия плотностью  $1,35 \text{ г}/\text{см}^3$ . Суммарное содержание  $\text{R}_2\text{O}$  в исследуемых смесях принято в пределах 14–15%. В качестве газообразователя применяли нитрат натрия от 0,25 до 0,5%. Исследования проводили в лабораторной вращающейся печи с электрическими нагревателями, а также в заводских условиях (Магаданский завод строительных материалов) во вращающейся печи диаметром 2,2 и длиной 14 м, отапливаемой жидким топливом.

Для предотвращения слипания пиропластических гранул в печи были исследованы опудривающие добавки: шамотный порошок, зола ТЭЦ, тонкомолотая известь и известняковая мука. В результате было установлено, что шамотный порошок при расходе  $30\text{--}40 \text{ кг}/\text{м}^3$  готовой продукции эффективно предотвращает слипание гранул. Поверхность опудренных гранул после вспенивания во вращающейся печи представляет собой остеклованное покрытие с небольшим количеством (до  $0,006 \text{ г}/\text{см}^2$ ) включений зерен шамотного порошка.

Показано, что помимо предотвращения слипания гранул пеностекла, опудривание их золой ТЭЦ позволяет повысить коэффициент вспенивания (на 8–10%) за счет создания на поверхности гранул восстановительной микросреды. Поверхность гранул шероховатая и пронизана пузырьками различных размеров.

Использование в технологии молотой извести позволяет устойчиво предотвращать конгломерацию гранул до  $1000^\circ\text{C}$ , при этом ее расход составляет 9–12 кг на  $\text{м}^3$  готовой продукции. Установлено, что при этих расходах извести в поверхностном слое

образуется ортосиликат кальция (белит), который увеличивает сцепление гранулированного пеностекла с растворной составляющей бетона. Содержание свободной  $\text{CaO}$  в поверхностном слое колеблется в пределах от 0,1% до 0,5% от массы гранул, что допустимо при использовании их в цементных бетонах.

В седьмой главе приведены результаты исследований физико-механических характеристик гранулированного пеностекла и бетона на его основе.

Основные физико-механические свойства  
гранулированного пеностекла

Показатели физико-механических характеристик	Гранулированное пеностекло марок по насыпной плотности		
	350	400	450
Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа	1,3	1,7	2,1
Водопоглощение, %	7,6	7,2	7,7
Коэффициент размягчения	0,89	0,95	0,93
Сорбционная влажность, %	0,2	0,4	0,5
Морозостойкость, циклов	35	50	50

Основную массу гранул составляет стеклофаза 95–98%. Потери при кипячении не превышают 1,4%, что свидетельствует о высокой гидrolитической стойкости заполнителя. В заполнителе не содержатся водорастворимые сернистые и сернокислые соединения, и он может применяться в бетонах для строительных конструкций с любым армированием. Гранулированное пеностекло обладает хорошей адгезией к цементно-песчаным растворам, что обеспечивает получение на его основе легкого бетона заданной марки по прочности при минимальных расходах цемента, соответствующих СН-386-78 "Типовые нормы расхода цемента для бетонов сборных бетонных и железобетонных изделий массового производства".

Полученное по разработанной технологии гранулированное пеностекло соответствует требованиям ГОСТ 9797-83 "Заполнители пористые неорганические для легких бетонов. Классификация и общие технические требования".

• Подбор составов легких бетонов на основе гранулированного

пеностекла вели по методу пробных затворений. Анализ полученных результатов показал, что легкие бетоны на основе гранулированного пеностекла соответствуют требованиям СНиП II 21-75 "Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования" и в зависимости от соотношения компонентов бетонной смеси имеют следующие свойства: плотность  $900 \text{ кг/м}^3$ , прочность при сжатии  $7,5 \text{ МПа}$ , теплопроводность  $0,2-0,25 \text{ Вт/(м.К)}$ , водопоглощение за 48 ч  $20-22\%$ , марка по морозостойкости - Мрз 50, Мрз 100.

Из проведенного комплексного исследования свойств бетона было установлено, что наиболее перспективной областью их применения являются наружные ограждающие конструкции гражданских, общественных и промышленных сооружений.

Расчетный экономический эффект от применения гранулированного пеностекла в бетоне наружных ограждающих конструкций на объектах г.Магадана составляет 680 тыс.рублей. Экономия достигается за счет уменьшения расхода материалов на  $10-20\%$  (цемент, сталь, заполнители, топливо).

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработана технология производства гранулированного пеностекла на основе вулканических пеплов Уптарского и Хасинского месторождений Магаданской области. Составлены и утверждены технические условия: ТУ 479-127-80 "Пеностекло гранулированное на основе вулканических пеплов Магаданских месторождений"; ТУ 479-947-83 "Сырье для производства гранулированного пеностекла". Впервые в СССР введена в эксплуатацию установка по производству гранулированного пеностекла мощностью  $6000 \text{ м}^3$  в год.

2. Изучен процесс грануляции пенообразующих смесей на основе вулканических пеплов ( $S = 126-250 \text{ м}^2/\text{кг}$ ), увлажненных водным раствором гидроксида натрия плотностью  $1,285-1,350 \text{ г/см}^3$ .

Определены оптимальные параметры работы тарельчатого гранулятора ( $\alpha = 47-50^\circ$ ,  $v = 0,9-1,0 \text{ м/сек}$ ). Показано, что из смесей с удельной поверхностью вулканического пепла  $160-170 \text{ м}^2/\text{кг}$  можно устойчиво получать гранулы требуемых параметров ( $d = 2,5-10 \text{ мм}$ ,  $P = 280-320 \text{ г/гранулу}$ , прочность

сухих гранул - 5-8 МПа).

3. Определены оптимальные условия вспенивания гранулированных шихт на основе вулканического пепла и гидроксида натрия, получены зависимости основных свойств гранулированного пеностекла от температурно-временных параметров вспенивания, при этом установлено:

- в смесях, содержащих 8-10% гидроксида натрия, процесс дегидратации протекает вплоть до температуры максимума вспенивания ( $1000^{\circ}\text{C}$ ), что позволяет получить гранулированное пеностекло без применения газообразователя;

- для получения гранулированного пеностекла насыпной плотностью 300-450 кг/м<sup>3</sup>, прочностью при сжатии в цилиндре 1,3-2,1 МПа, водопоглощением 7-8%, термообработку сырьевых гранул необходимо вести при температуре 920-80<sup>o</sup>C в течение 25-30 мин и скорости нагрева 40-50<sup>o</sup>C/мин;

- силикатные расплавы на основе вулканического пепла и гидроксида натрия не кристаллизуются при температуре максимума вспенивания, что способствует формированию упорядоченной структуры, характерной для "классического" пеностекла.

4. Изучено влияние инертных и активных опудривающих добавок: шамотного порошка, золы ТЭЦ, известняковой муки, гидратной извести на процесс вспенивания гранул во вращающейся печи.

Установлено, что инертные добавки (зола ТЭЦ, шамотный порошок), обеспечивая функции разведывающего агента, не оказывают заметного влияния на повышение коэффициента объемного вспенивания. Использование известняковой муки или гидратной извести более эффективно вследствие их химического взаимодействия с кремнеземом расплава, в результате которого на наружной поверхности гранул образуется ортосиликат кальция (белит), повышающий прочность сцепления заполнителя с растворной составляющей бетона.

5. В результате комплексного исследования физико-химических свойств установлено, что гранулированное пеностекло соответствует требованиям ГОСТ 9757-83, предъявляемым для искусственных пористых заполнителей.

6. Выполнены комплексные исследования свойств легких бетонов на основе гранулированного пеностекла. При этом установлено:

- физико-механические характеристики бетона соответствуют требованиям главы СНиП "Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования";

- теплопроводность полученных бетонов ( $\lambda = 0,219$  Вт/(м.К) на 10-15% ниже, чем для керамзитобетона аналогичной объемной массы;

- марка бетона по морозостойкости не менее Мрз 50.

7. Разработана, построена на Магаданском заводе строительных материалов и внедрена при непосредственном участии автора первая в стране промышленная установка производительностью 6000 м<sup>3</sup> гранулированного пеностекла в год. Опытно-промышленная апробация разработанной технологии показала хорошую воспроизводимость результатов исследований. По решению главного технического управления Минвостокстроя технологический регламент передан для проектирования установки мощностью 50 тыс.м<sup>3</sup>/год, предназначенной для строительства в г.Магадане.

8. Применение бетона на гранулированном пеностекле в наружных ограждающих конструкциях жилых, гражданских и промышленных зданий и сооружений увеличивает их долговечность, уменьшает массу конструкции, сокращает расход материалов (цемент, сталь, заполнители) и топлива, а также значительно снижает стоимость строительства в районах Северо-Востока.

Расчетный экономический эффект от внедрения гранулированного пеностекла на строительных объектах города Магадана составляет 680 тыс.руб. в год.

#### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

- Демидович Б.К., Пименов Г.Н. К возможности использования вулканического пепла Уитарского месторождения для производства гранулированного пеностекла. Труды /Красноярский Промстройиниипроект - Красноярск: КПСНИИП, 1977, сб. № 41, с.74-83.

- Пименов Г.Н., Демидович Б.К. Об использовании вулканического пепла в производстве легкого заполнителя для бетона стеновых панелей. Труды /Красноярский Промстройиниипроект. - Красноярск: КПСНИИП, 1977, сб. № 44, с. 115-119.

- Пименов Г.Н. Вращающаяся печь для исследования кинети-

ки вспучивания пористых заполнителей. – Реф.информ.: Промышленность керамических стеновых материалов и пористых заполнителей. – М.:ВНИИЭСМ, 1973, вып. 8, с. 19–20.

– Пименов Г.Н. Получение крупного заполнителя для легких бетонов на основе вулканического пепла. – Строительные материалы, 1978, № II, с. 20–22.

– Пименов Г.Н. Гранулированное пеностекло – перспективный заполнитель легких бетонов и эффективный теплоизоляционный материал. Тезисы научно-практической конференции “Комплексное развитие Магаданской области до 2005 года”. – Магадан, 1984, с. 39–40.

– Пименов Г.Н., Туманов В.П. О внедрении технологии получения гранулированного пеностекла в г.Магадане. Кр.тезисы научно-технической конференции. Перспективы развития и опыт внедрения новых строительных материалов и конструкций на Дальнем Востоке. – Владивосток, 1981, с. 167–169.

– Пименов Г.Н. Бетон на гранулированном пеностекле. – Бетон и железобетон, 1980, № 3, с. 15–16.

– Пименов Г.Н., Кухаренок Ф.А. Усадка бетона на гранулированном пеностекле. – Бетон и железобетон, 1983, № 9, с. 19–20.

– Пименов Г.Н. Перспективы применения бетона на гранулированном пеностекле в районах Северо-Востока. Тезисы научно-практической конференции “Комплексное экономическое и социальное развитие Магаданской области в ближайшей и долгосрочной перспективе”. – Магадан, 1980, с. 20–22.

**Георгий Николаевич Пименов**

**Разработка технологии производства гранулированного пеностекла на основе вулканических пеплов**

Подписано в печать 16.04.85. АТ 17168. Формат 60x84 1/16.

Печать офсетная. Усл.печ.л.1, 17. Усл.кр.-отг.1, 17.

Уч. – изд.л.1. Тираж 100 экз. Заказ 282. Бесплатно.

Отпечатано на роталпринте Белорусского ордена Трудового

Красного Знамени технологического института им. С.М.Кирова

220630. Минск, Свердлова, 13.