

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЯЧЕИСТОГО СТЕКЛА

Проблема теплоизоляции наиболее остро проявляет себя особенно в последнее время при постоянном увеличении цен на энергоносители и росте темпов строительства. Кроме того, за последние 10 лет значительно повысились требования к качеству строительных материалов, в том числе и к теплоизоляции. Это связано в том числе и с желанием заказчиков сократить текущие затраты как на эксплуатацию, так и на ремонт зданий. Все это, а также многочисленные отзывы о негативном опыте применения органической и минераловатной теплоизоляции за период, прошедший с момента принятия нового теплотехнического ТНПА [1] (экологическая и пожарная небезопасность, недолговечность, низкая прочность и пр.) делает высокоприоритетным производство высококачественных и высокоэффективных строительных материалов.

На сегодняшний день, как на мировом, так и на отечественном рынке, представлен широкий ассортимент теплоизоляционных материалов с разнообразными свойствами. Экструдированные пенополистиролы применяются для утепления фундаментов и пола под стяжку, каменные ваты – для утепления фасадов и кровель, стекловаты – для утепления кровель и перекрытий, пенопласты – для утепления фасадов и полов. Однако среди многообразия теплоизоляционных материалов можно выделить ячеистое стекло (пеностекло), отличающееся рядом уникальных особенностей, делающих его многофункциональным материалом, пригодным как для внутренней, так и для внешней тепло- и звукоизоляции зданий, а также для других целей. И хотя использование неорганического стекла имеет многовековую историю, начиная с Древнего Египта и Ассирии, ячеистое стекло на рынке теплоизоляции появилось относительно недавно. Впервые в мире о пеностекле как о строительном материале упомянул в своем докладе академик И.И. Китайгородский на Всесоюзной конференции по стандартизации и производству новых материалов в Москве в 1932 году. Опыт применения бетонных плит с теплоизоляционной прослойкой из пеностекла при строительстве зданий в Канаде в 1946 г. был настолько удачным, что материал сразу же получил всеобщее признание как долговечная изоляция для кровли, перегородок, стен и полов для всех видов построек [2, 3].

По своему химическому составу пеностекло не более чем вспененное силикатное стекло [2, 3], состоящее из расплава высших оксидов кремния, кальция, натрия, алюминия и магния. Состав стекла, %:  $\text{SiO}_2$  – 72–73;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,5–2;  $\text{CaO}$  – 6–8;  $\text{MgO}$  1–4;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 15,5–16,5;  $\text{SO}_3$  – 0,3–0,5. Для получения теплоизоляционного пеностекла чаще всего применяют стекла, близкие по химическому составу к составам листовых и тарных стекол с повышенным содержанием щелочных оксидов. Для обеспечения заданного химического состава используют следующие сырьевые материалы: кварцевый песок ( $\text{SiO}_2$ ), сода кальцинированная ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), сульфат натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), мел ( $\text{CaCO}_3$ ), доломит ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ), полевошпатовый материал, порообразователь. Пеностекло не содержит органических соединений. Высшие оксиды не окисляются, не горят и не воспламеняются, соответственно и ячеистое стекло не горит и не воспламеняется (даже в приточном кислороде), является огнестойким (размягчение материала наступает при температурах выше 500°C, плавление – выше 1500°C), не выделяет газов и паров при нагревании. Пожар не получает распространения сквозь пеностекло, которое образует эффективную преграду огню. Ячеистое стекло чувствительно к резким сменам темпера-

туры, при резком нагревании или охлаждении оно растрескивается. Пеностекло представляет собой материал из замкнутых стеклянных ячеек [2, 3], имеющих сферическую и гексагональную форму. Водопоглощение пеностекла при полном погружении в жидкость не превышает 5% от общего объема материала и обусловлено лишь накоплением влаги в поверхностном слое. Водопоглощение пеностекла независимо от периода полного увлажнения не возрастает с течением времени, что позволяет эксплуатировать данный материал как при максимальной влажности атмосферы и почвы, так и непосредственно в воде. Пеностекло абсолютно устойчиво к химическим реагентам как неорганической, так и органической природы. Активная биологическая среда также не может оказать сколько-нибудь заметного влияния на пеностекло, так как в пеностекле полностью исключена почва для развития любых активных жизненных форм. Структура материала [2, 3] исключает взаимодействие газовой среды ячеек с атмосферой и обуславливает неизменность во времени характеристик материала. То есть во время эксплуатации не происходит изменения таких параметров изделий из пеностекла, как теплопроводность, прочность, стойкость, форма и т.д. Этот материал не дает усадки и не изменяет геометрические размеры с течением времени под действием веса строительных конструкций эксплуатационных нагрузок. На территории бывшего СССР, в том числе в Беларуси, существуют сооружения, кладка которых полностью выполнена из пеностекла. Десятилетия эксплуатации подобных зданий не выявили никаких дефектов, трещин и тому подобной порчи кладки. Все это по причине легкости стен, не испытывающих перегрузок под собственным весом, и высокой прочности материала, которая позволяет не только выдерживать собственный вес, но и удерживать значительный вес кровли. Ячеистое стекло – это самый прочный из эффективных теплоизоляционных материалов. Расчетный предел прочности при сжатии не менее 0,7 МПа [4] без учета 10% деформации, что в разы превышает прочность пенопластов и волокнистых материалов. Ячеистое стекло обладает высокими монтажно-конструкционными свойствами: легко режется, сверлится, клеится, оштукатуривается и т.д. Экологическая и санитарная безопасность пеностекла позволяет осуществлять утепление ограждающих конструкций не только для помещений, в которых необходима повышенная чистота воздуха [2, 5] (здания образовательного и медицинского назначения, спортивные сооружения, музеи, высокотехнологичные производства и т.п.), но и для зданий со специальными санитарно-гигиеническими требованиями (пищевая и фармакологическая промышленность, бани и сауны, бассейны, кафе, рестораны, столовые и т.п.). Присутствие пеностекла в природе не наносит ей никакого вреда. При его изготовлении утилизируется стеклянный бой других производств.

Однако несмотря на высокие технические характеристики и долговечность ячеистого стекла, его нельзя считать широко применяемым теплоизоляционным материалом. В основном это связано со сложной технологией получения ячеистого стекла. В настоящее время основной технологией производства пеностекла является так называемая "порошковая": тонкоизмельчённое силикатное стекло (частицы 2-10 мкм) смешивается с газообразователем (обычно – углеродом), получившаяся однородная механическая смесь (шихта) в формах либо на конвейерной ленте поступает в специальную туннельную печь. Для получения теплоизоляционного пеностекла со средней плотностью 160-180 кг/м<sup>3</sup> применяют порошки стекла с удельной поверхностью около 6000 см<sup>2</sup>/г и углеродистые газообразователи с такой же или значительно большей удельной поверхностью: кокс, антрацит, сажу, известняк, мрамор. В результате нагрева до 800 – 900°С частицы стекла размягчаются до вязко-жидкого состояния, а углерод окисляется с образованием газообразных CO<sub>2</sub> и CO, которые и вспенивают стекломассу. Сложность физи-

ко-химических процессов непосредственно при вспенивании, а также строгие требования к процессам фиксации и охлаждения (отжига) готовой пены, делают производство качественного пеностекла технически весьма непростой задачей. Так, например, фиксация усложняется тем, что стеклу не свойственно резкое твердение при охлаждении (подобно кристаллизации при переходе воды в лёд), а фиксация пеностекла может сопровождаться такими "мешающими" процессами, как экзотермические реакции в стеклянном расплаве, спонтанная кристаллизация стекломассы, существенная неоднородность температурного поля во вспененном массиве и т.п. Правильно охладить вспененный блок также не просто – материал обладает крайне низким коэффициентом теплопроводности при известной хрупкости тонких стеклянных ячеек пены. В результате отжиг растягивается на 10–15 часов и накладывает существенные ограничения на высоту (толщину) отжигаемых блоков (допустимая скорость охлаждения обратно пропорциональна квадрату толщины). Сложность технологии обусловило присутствие на мировом рынке теплоизоляционных материалов неорганического происхождения лишь нескольких крупных производителей (США, Китай, Япония, Республика Беларусь). Монополистом в производстве пеностекла является американская компания «Pittsburgh Corning Corp.» (США) с широкой европейской дилерской сетью (Бельгия, Германия, Чехия и др.). Кроме того, термообработка в технологии производства ячеистого стекла связана с потреблением большого количества энергоресурсов. Все это обуславливает достаточно высокую стоимость пеностекла. Цена материала, производимого дочерним предприятием фирмы «Pittsburgh Corning Corp.» в Бельгии, составляет более 450 USD/м<sup>3</sup>. Цена материала, изготовленного крупнейшим в СНГ производителем пеностекла – Гомельским стеклозаводом (Республика Беларусь) колеблется от 180 до 250 USD/м<sup>3</sup> [5]. Именно стоимость материалов чаще всего определяет структуру рынка теплоизоляции, особенно в странах бывшего СССР. Более дешевые пенопласты, минераловатные, стекловолоконные изделия не всегда обеспечивают требуемую долговечность и безопасность зданий и сооружений. Проведенные исследования на стойкость к температурно-влажностным воздействиям [6] фрагментов наружного утепления с использованием в качестве теплоизоляционных материалов образцов из блочного и экструдированного пенополистирола, минераловатных плит и пеностекла показали, что явное снижение теплозащитных качеств фасадных систем происходит достаточно быстро во всех случаях, за исключением пеностекла. Ориентировочный срок службы до капитального ремонта с учетом влияния природных факторов для образцов с теплоизоляцией из пеностекла в 2 раза превышает срок службы фасадных систем с изоляцией из блочного пенополистирола и минераловатных плит, в 4 раза – из экструдированного пенополистирола [6]. По результатам исследований можно сделать вывод, что низкокачественная теплоизоляция с динамично ухудшающимися характеристиками может привести к порче основной несущей конструкции здания (деформации, растрескиванию, отсыреванию и т.п.).

Современное строительство – это и высотное строительство, и уникальные по архитектуре объекты, и сложные технологические системы и т.д. Во всех этих случаях при выборе утеплителя следует помнить, что при возведении некоторых видов конструкций требуется применение высококачественного материала. Пеностекло всегда являлось таким материалом. В Европейском Союзе оно является признанным и одним из самых эффективных теплозащитных строительных материалов. Однако его высокая стоимость и некоторые эксплуатационные характеристики ограничивали его применение в стеновых материалах. Однако современные реалии таковы, что одними из важнейших требо-

ваний к зданиям и сооружениям становится их надежность и долговечность. И здесь пеностекло имеет ярко выраженное преимущество перед другими теплоизоляционными материалами – это долговременный срок эксплуатации, при котором пеностекло абсолютно не изменяет своих физических свойств, и, следовательно, является надежным теплоизолятором. Гарантированный срок эксплуатации пеностекла, произведенного на Гомельском стекольном заводе, более 100 лет. Это подтверждается опытным вскрытиями объектов, теплоизолированных с использованием блоков из пеностекла в середине 1950-х годов. Вскрытия не выявило никаких изменений в структуре данного материала [5]. Кроме того, возрастающая потребность в энергоносителях придает все большую актуальность атомной энергии. Не в последнюю очередь причиной развития производства пеностекла в СССР, США, Бельгии (ЕС) и Японии стала необходимость обеспечения создающейся отрасли атомной энергетики собственным теплозащитным материалом (пеностекло). В настоящий момент пеностекло практически безальтернативно служит основным материалом как в отношении теплозащиты агрегатов и комплекса механизмов самого реактора, паровых и силовых установок, так и при теплозащите сооружений и ограждающих конструкций непосредственно комплекса зданий АЭС. Основными факторами, которые принимаются в расчёт при выборе пеностекла как теплозащитного материала для сооружения АЭС, являются [2, 3, 5]: полнота неорганического состава материала, что исключает образование паров и газов (в том числе и радиоактивных) при нагревании пеностекла до температур в сотни градусов Цельсия; долговечность пеностекла, а также неприхотливость в эксплуатации, когда даже критические режимы не приводят к полному разрушению материала и утратой им своих теплозащитных свойств; устойчивость к воздействию воды и перегретого водяного пара, отсутствие конденсации жидкости внутри материала за счёт герметично закрытых ячеек пеностекла. Закрытопористая структура пеностекла исключает так называемый "фитильный эффект", присутствующий волокнистым неорганическим теплозащитным материалам, когда микропустоты между волокнами могут заполняться веществами, образующимися при эксплуатации АЭС. Помимо этого, специальные виды пеностекла способны активно препятствовать проникновению радиации за счёт содержания химических присадок. В случае аварийных и внештатных ситуаций, пеностекло как теплозащитный материал при воздействии высоких температур, связанных с разрушением систем ядерного реактора, не выделяет газы, пары и аэрозоли, которые могут служить причиной значительного по отрицательной воздействию воздушного распространения вторичной радиации на больших пространствах. Наоборот, при воздействии высоких температур пеностекло плавится и переходит в жидкую фазу и "остекловывает" радиоактивную пыль и активно излучающие обломки других материалов и остатки ядерного оборудования. При утилизации пеностекло спекается в единую стекловидную массу [2, 5], наиболее подходящую для захоронения радиоактивных материалов и не подвергающуюся воздействию временных факторов по разрушению и вымыванию (выносу) на поверхность радиоактивных элементов. Более того, при ликвидации и захоронении пеностекла, отработавшего свой срок на ядерном объекте, термическая обработка пеностекла по остекловыванию уменьшает в 16 раз объём подлежащего захоронению материала за счёт термического спекания ячеек в единый кусок стекловидной массы. Все вышеперечисленные факторы и делают пеностекло одним из наиболее подходящих для ядерной промышленности и сооружений атомной энергетики материалом.

Если охарактеризовать место пеностекла на рынке современных строительных материалов, уместно сказать: оно уникально, универсально и обладает неоспоримыми пре-

имуществами перед многими другими теплоизоляторами. Все конструкции, построенные с использованием ячеистого стекла, будут обеспечивать значительное снижение катастрофических последствий при техногенных и природных воздействиях; пожарах, землетрясениях.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-43-2006 (02250).
2. Демидович, Б.К. Пеностекло / Б.К. Демидович. – Минск: Наука и техника, 1975. – 248 с.
3. Шилл, Ф. Пеностекло / Ф. Шилл. – М., 1965.
4. Тепловая изоляция наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений с использованием материалов из пеностекла. Правила проектирования и устройства: ТКП 45-3.02-71-2007.
5. <http://www.gomelglass.com>
6. <http://www.centre-fasade.ru>

УДК 711.5(476)

*Славиковская Д.А.*

*Научный руководитель: доцент Фоменкова С.Ф.*

### БЛАГОУСТРОЙСТВО АГРОГОРОДКОВ В БЕЛОРУССИИ

Целью настоящей работы является изучение проблемы благоустройства агрогородков с выделением рекомендаций и путей их дальнейшего развития. В работе проанализирован опыт проектирования, застройки и благоустройства территории сельских населённых мест, рассмотрены основные положения государственной программы и её обоснование и приведена организация благоустройства общественной, селитебной и производственной зон агрогородка.

До XVIII в. крестьяне сами благоустраивали свое жилище. В поселении в целом и своих дворах они устраивали колодцы, мосты, скамейки, ограды и т.п., согласно их жизненной необходимости. С XVIII в. в загородных усадебных комплексах получает развитие садово-парковое искусство. Огромное значение придавалось озеленению улиц, дорог и парков, массовому распространению малых архитектурных форм.

Белорусские традиции отличают интересные планировочные решения дворов деревенской усадьбы, которые сведены к трём основным типам. Для всех типов состав и функциональное назначение строений одинаковы, а различие заключается в особенностях их размещения.

Рассмотрим эти решения:

- веночный двор (постройки размещаются без разрывов);
- веночный двор с периметральной застройкой;
- погонный двор (постройки размещаются по одной или двум сторонам);
- двор с несвязными постройками (обособленное размещение построек).

В последнее десятилетие большое внимание уделяется благоустройству сельских поселений. Согласно Государственной программе возрождения и развития села и Государственной схеме комплексной территориальной организации Республике Беларусь, к 2011 г. в стране сформирована

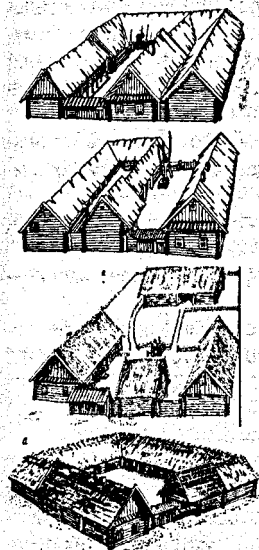


Рисунок 1 – Типы решения дворов