

**ОБЗОР РАЗВИТИЯ, СОСТОЯНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ
КОНСТРУКЦИОННО–ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО
НЕАВТОКЛАВНОГО ПЕНОБЕТОНА В
КОНСТРУКЦИЯХ И ИЗДЕЛИЯХ**

Костюк А.И., Постернак С.А., Постернак И.М. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г.Одесса)

Выполнен обзор развития и производства пенобетонов в Европе, целесообразности изготовления и применения конструкционно-теплоизоляционного неавтоклавного пенобетона, основных свойств и характеристик, а также оборудования и пенообразователей. Рассмотрены модель и прочностные показатели ячеистой структуры. Определены задачи исследования по выбранной теме диссертации.

Энергетический кризис и рост стоимости отопления жилья в Украине (исследования по проблеме «Глобальная стратегия энергосбережения для Украины», которые были проведены рядом иностранных фирм по программе TACIS) внесли в наши устоявшиеся оценки зданий и строительных материалов существенные изменения. Произошла «техническая девальвация» традиционных видов изделий для наружных стен жилых домов – легкобетонных панелей и кирпича [1]. Их применение в однослойных наружных стенах стало недостаточно рационально. Начался процесс создания зданий нового поколения, в которых востребованы стеновые элементы из неавтоклавного пенобетона (далее по тексту НПБ). Перед строительной индустрией остро стали задачи экономии минеральных ресурсов, снижения материалоемкости, трудоемкости и энергетических затрат, выполнение которых непосредственно связано с производством самого объемного и крупнотоннажного строительного материала – стеновых изделий и конструкций. В этой ситуации НПБ интересен возможностью достижения двух-трехкратной экономии энергии на отоплении зданий, снижением материалоемкости и трудоемкости, наличием в стране сырьевой базы для развития производства изделий из НПБ, но недостаточно развитыми производственными мощностями.

Еще более 70 лет тому назад шведский архитектор Иоган Алекс Эрикссон удачно переделал известный строительный материал с природного сырья – извести, песка и воды, которые во всем мире добыва-

ются в неограниченном количестве, сделавши его высокопористым. Большое количество этих пор и достаточная прочность вяжущего определили исключительные свойства ячеистого бетона, который впоследствии стали называть «поробетон», «пенобетон» [2]. Как отмечают авторы статьи [3], в России также велись активные разработки в области поробетонов, в частности именно в России был изобретен пенобетон как стеновой материал и предложен к использованию в 20х годах прошлого века. Но он не получил признания у специалистов и начал широко использоваться в строительной индустрии прежде всего в странах Европы с 1929года. По данным [2] на сегодняшний день из ячеистого бетона строится более чем пол-Европы. Объем производства ячеистого бетона в ряде стран составляет: в Украине 24, в Венгрии 30, в Литве 60, в Латвии 100, в Белоруссии 160, в Польше 167, в Словакии 190, в Швеции 280, в Эстонии 290м³ на тысячу жителей. Об объемах производства НПБ в Украине и говорить не приходится, их практически нет в масштабах страны.

В 1999...2000г.г. была принята программа реконструкции жилых домов первых массовых серий и прогноз развития жилищного строительства, в которых предусматривается применение изделий и конструкций из конструкционно-теплоизоляционного неавтоклавного пенобетона (далее по тексту КТ НПБ). В статье [4] отмечено, что концептуальными положениями технической политики по производству КТ НПБ являются:

- использование действующей производственной базы стройматериалов и стройиндустрии, которая представлена более как 500 заводов ЖБИ;
- использование отечественной сырьевой базы;
- использование местных материалов, которые должны обеспечивать снижение затрат энергии как на стадии производства так и в процессе эксплуатации зданий и быть экологически чистым.

Всем этим требованиям в наибольшей степени отвечает НПБ. Изделия, конструкции и товарный бетон можно производить на любом заводе ЖБИ, полигоне или стройплощадке при минимальных затратах на организацию производства. Это новая номенклатура продукции и дополнительные рабочие места. Технология производства изделий и конструкций из НПБ практически не отличается от технологии производства традиционных бетонных и железобетонных изделий и конструкций, а также монолитного домостроения. Учитывая широкую географию размещения заводов и полигонов ЖБИ, НПБ может стать практически местным материалом. НПБ является наименее затратным по энергоресурсам и капиталовложениям (табл.1) [4].

Таблица 1

Некоторые показатели на 1000 шт. усл. кирпича

Название показателя	Затраты условного топлива, кг	Удельные капиталовложения, %
Бетон ячеистый автоклавный	192,0	100,0
Бетон ячеистый неавтоклавный (НПБ)	144,0	70,0
Керамзитобетон	220,0	240,0
Кирпич глиняный	270,0	210,0

Пенобетон является новым высокоэффективным строительным материалом, имеющим ряд преимуществ перед традиционными строительными материалами. Жилье с применением пенобетона обладает повышенной комфортабельностью и эксплуатационными качествами, а именно: в доме "дышат" стены, зимой сохраняя тепло, а летом - прохладу; отсутствием "мостика холода"; отличной звукоизоляцией - 60 ДБ; экономией энергии на отопление; идеальной поверхностью под любой вид отделки; высокой огнестойкостью; хорошей гвоздимостью стен и распиливаемостью. Пенобетонные материалы обеспечивают комфортное проживание в микроклимате близком к микроклимату деревянного дома. В России широко освоено промышленное производство дешевых стеновых пенобетонных материалов, изделий и конструкции с плотностью 500 – 900 кг/м³ (табл.2,3,4) [3,5,7].

Таблица 2

Сопоставление основных физико-технических показателей традиционных стеновых материалов и неавтоклавного пенобетона.

Показатели	Кирпич строительный		Строительные блоки		Пенобетон (неавтоклавный)
	глиняный	силикатный	керамзитобетон	газобетон (автоклавный)	
1	2	3	4	5	6
Плотность, кг/м ³	1550-1700	1700-1950	900-1200	400-1200	400-1200
Масса 1-го м ² стены, кг	1200-1800	1450-2000	500-900	90-900	90-900
Теплопроводность, Вт/(мК)	0,6-0,95	0,85-1,15	0,75-0,95	0,1-0,38	0,1-0,38
Морозостойкость, цикл	25	25	25	35	35

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6
Удельный расход топлива, кг усл. топ.	246	60-80	35	65	-
Удельный расход электроэнергии, кВт ч	80-82	36-38	30-32	35	1,5-4,0
Водопоглощение, % по массе	12	16	18	20	14
Предел прочности при сжатии, МПа	2,5-25	5-30	3,5-7,5	0,15-25,0	0,10-12,5

Таблица 3

Класс НPB по прочности на сжатие

Источники	Плотность, кг/м ³		
	500	700	900
По данным статей [3,5]	B 0,75 B 1 B 1,5	B 1,5 B 2 B 2,5	B 2,5 B 3,5 B 5 B 7,5
По данным пособия к СНиП [6]	B 1	B 1,5 B 2,5	B 3,5 B 5
По данным статьи [7]	B 0,75 B 1	B 1,5 B 2 B 2,5	B 2,5 B 3,5 B 5

Таблица 4

Основные физико-механические показатели НPB

Средняя плотность пенобетона в сухом состоянии, кг/м ³	500	700	900
Пределы отклонений средней плотности пенобетона в сухом состоянии, кг/м ³	451-550	651-750	851-950
Коэффициент теплопроводности пенобетона в сухом состоянии, не более Вт/(м К)	0,12	0,18	0,24
Средняя прочность на сжатие (при коэффициенте вариации V=17%) не менее, МПа	1,1 1,4 2,0	2,2 2,9 3,6	3,6 5,0 7,2 10,0

По данным [7] для КТ НПБ марка по морозостойкости изменяется в пределах F15-F35 для плотности 500 кг/м³; F15-F100 для плотности 700 кг/м³; F15-F75 для плотности 900 кг/м³. По мнению авторов [5] пенобетоны позволяют по сравнению с традиционными материалами в 1,5 – 2,0 раза повысить термическое сопротивление ограждающих конструкций и на 20 – 40% снизить расход тепла на отопление зданий.

Хотелось бы отметить статью Лаукайтис А.А. [8] в которой автор констатирует, что плотность пенобетона зависит от расхода пены, В/Т формовочной смеси и различной тонины помола песка. С увеличением В/Т не уменьшается плотность пенобетона, так как тоже самое количество пены распределяется в большем объеме. Лаукайтис А.А. описывает плотность пенобетона следующим регрессионным уравнением:

$$\rho = 784 R_{\text{п}}^{-0,959} (В/Т)^{0,141}, \quad (1)$$

где $R_{\text{п}}$ – расход пены, л/кг; В/Т – водотвердое отношение.

Технология изготовления пенобетона достаточно проста. В приготовленную цементно-песчаную смесь добавляется пена, получаемая в специальном агрегате – пеногенераторе. После перемешивания компонентов смесь готова для формирования из нее различных строительных изделий – стеновых блоков, плит перекрытия, перемычек, теплоизоляционных изделий и т.п. Этот бетон при определенных условиях также является превосходным материалом для монолитного строительства [11]. Однако, несмотря на простоту изготовления, пенобетон до настоящего времени не получил широкого развития. Причиной этого было отсутствие качественных пенообразователей, агрегатов для изготовления пены и основного технологического оборудования, пригодного для изготовления эффективных изделий. В технологии пенобетона наиболее сложным и трудно управляемым процессом является процесс перемешивания пены с исходной растворной смесью. В этот момент происходит разрушение пены с потерей от 15 до 30% объема в зависимости от вида пенообразователя и цемента. В результате создаются условия, отрицательно влияющие на однородность пенобетона по средней плотности и прочности. Объем пустот, образуемый пеной, составляет 40 – 80% объема пенобетонных изделий и соответственно свойства пенообразователя и получаемой из него пены относятся к главным факторам, определяющим технологию и свойства готовой продукции. Как известно, практически все пенообразователи являются ПАВ и в силу своей природы оказывают влияние на физические свойства, скорость твердения и прочностные показатели пенобетона. Пригодность пенообразователей в основном оценивается по двум показателям: кратность и стойкость пены. Ранее применение получали сле-

дующие пенообразователи: клееканифольный, смолосапониновый, алюмосульфонафтенный, гидролизованная кровь (ГК), а в последнее время – ниапор, пеностром, окись амина, лаурил сульфат натрия, пожарные пенообразователи (ПБ – 2000 и др.), ТЭАС, мор пен, унипор, ПО – бк, экстрапор, ПО – ЗНП, нижб и др. В качестве стабилизаторов пены применяют жидкое стекло, сернокислородное железо, смолу древесную омыленную (СДО) и др., а также в виде твердых частиц – известь, тонкодисперсный портландцемент, микрокремнезем, высокодисперсные золы ТЭС, доменные гранулированные шлаки и др.

Для приготовления пены используют центробежные пеногенераторы (героторные насосы) и скоростные пенобиватели миксерного типа.

В России одними из ведущих организаций по внедрению технологий и оборудования по производству пенобетона являются ОАО «ВНИИСТРОМ им. П.П. Будникова», ЗАО «Фибробетон», ФГУП «ЦКБ» России и другие.

В Украине разработкой пенобетонов занимались в ДИСИ под руководством чл.-кор. АН УССР д.т.н. Диброва Г.Д., внедрение в производственную сферу теплоизоляционного пенобетона было выполнено в 1997г. на Броварском ЖБК [10].

На структуру НПБ [12] влияют следующие факторы: состав НПБ (расход цемента, соотношение цемент – кремнеземистый компонент, общее водосодержание, наличие и вид ПАВ); вид и качество вяжущего (присутствие добавок, химико-минералогический состав, тонкость помола); вид и качество кремнеземистого компонента (дисперсность, гидравлическая активность); параметры и условия твердения (естественные, нормального твердения, тепловая обработка); условия эксплуатации (воздействие влаги, попеременное увлажнение – высыхание, воздействие углекислого газа, количество остаточной или эксплуатационной влажности, качество кладки); габаритные размеры (модуль поверхности); плотность (расчетная и фактическая); структура пористости (соотношение микро- и макропор). Ячеистая структура НПБ подобна сотовой, но отличается от нее пустотами разного размера (сферической формы) с толщиной стенок между пора́ми меньшей радиуса пустот. По мнению Гладышева Б.М. [9] достаточно близка к действительной структуре НПБ модель в виде сотовой структуры с шаровыми пустотами одинакового размера, расположенными гексагонально (рис.4.10. [9]). Гладышев Б.М. [9] вывел для ячеистого бетона формулу прочности, учитывающую особенности структуры и механические свойства материала, исходя из расчетной схемы, которая отражает особенности напряженно-деформативного состояния и характеристики разрушения называемого поризацией материала. Межпоровые перего-

родки здесь переплетаются, образуя жесткую пространственную систему. В местах пересечения перегородок создается концентрация материала. Сжимающие усилия передаются вертикальными стенками в местах их пересечения со стенками смежного яруса. Создается сложное напряженное состояние, в вертикальных стенках возникают, кроме нормальных сжимающих напряжений, значительные скалывающие напряжения. Таким образом, критерием разрушения структуры может быть достижение напряжения предела прочности материала при сжатии или достижения главными растягивающими напряжениями в межпоровых перегородках предела прочности материала при растяжении. Оба вида разрушения связаны с появлением трещин в плоскостях, параллельных направлению действия сжимающей силы. Связь между прочностью при сжатии камня и его пористостью в первом и втором случаях выражается формулами:

$$R_{\delta} = k_1 R_k \overline{F}_k \quad (2)$$

$$R_{\delta} = k_2 R_{kp} \frac{\overline{F}_k}{\overline{F}_y} \quad (3)$$

где k_1, k_2 – коэффициенты; R_k – прочность камня при сжатии в плотном состоянии; \overline{F}_k – относительная площадь камня в поперечном сечении.

Подытоживая выше перечисленное, следует отметить, что изготовление стеновых элементов из КТ НПБ является многофакторной задачей с большим количеством факторов, требующей детальной разработки. С одной стороны это материально-технологические факторы, а с другой стороны как отмечено авторами статьи [1], это приведение в соответствие с современными требованиями строительства нормативно-технической документации по производству и применению ячеистобетонных изделий, разработка каталога изделий из ячеистого бетона, технических решений и рекомендаций по их применению, альбома типовых узлов и деталей. Решение этих вопросов позволит создать нормативно-техническую базу для разработки конкретных региональных проектов для строительства новых и реконструкции старых жилых домов. Наличие нормативно-технической базы и проектной документации увеличит спрос на энергосберегающие изделия и конструкции со стороны заказчиков, строительных организаций, населения, позволит предприятиям изготовителям наращивать объем выпуска изделий и повышать их качество. Поэтому авторами были выделены несколько основных материально-технологических факторов (вид, количество и качество наполнителя) и поставлены задачи исследования влияния этих факторов на прочностные, деформативные и теплофизические

характеристики стеновых элементов из КТ НПБ с дальнейшей доработкой этого направления с точки зрения конструктивных свойств материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филатов А.Н., Багаева Т.Ю. Ячеистый бетон – возможности, эффективность, перспектива // Будівельні конструкції: Зб. наук. праць. – К.: НДІБК. – 2002. вип. 56. – С.254 – 258.
2. Ковальчук Ю.Г., Крамаренко Е.Р., Омельчук В.П. Энергозберігаючий будинок – теплий комфортний і дешевий // Будівництво України.2001. №1. С. 26 – 27.
3. Гусенков С.А., Смирнов В.М., Галкин С.Д., Ерофеев В.С. Производство пенобетона в России // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2001. №3. С. 20 – 21.
4. Завойський А.К., Полянська О.О. Концепція будівельних систем зведення зовнішніх стін житлово-цивільних будинків з використанням неавтоклавних пінобетонів // Будівництво України. 1997. № 1. С. 33 – 36.
5. Макаров А.Н., Ерофеев В.С. Передовые технологии и оборудование ООО «Строминноцентр XXI» для производства пенобетона // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2002. № 8. С. 24 – 25.
6. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из ячеистых бетонов (к СНиП 2.03.01 – 84. Бетонные и железобетонные конструкций) / НИИЖБ, ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР. 1986. С. 92.
7. Магдеев У.Х., Гиндин М.Н. Современные технологии производства ячеистого бетона // Строительные материалы. 2001. № 2. С. 2 – 6.
8. Лукайтис А.А. Прогнозирование некоторых свойств ячеистых бетонов низкой плотности // Строительные материалы. 2001. № 4. С. 27 – 29.
9. Гладышев Б.М. Механическое взаимодействие элементов структуры и прочность бетонов. Х.: Вища школа. 1987. – 168с.
10. Гудзій В.С., Дудар М.І., Ковтун О.М., Полігушко Б.М., Чудновський С.М., Бойко А.О., Погореляк О.А. Мало енергоємна технологія пінобетону // Будівництво України. 1997. № 6. С. 25 – 27.
11. Рябошапка А.Н., Кошман Е.И. Производство изделий из пенобетона // Будівельні конструкції: Зб. наук. праць. – К.: НДІБК. – 2002. вип. 56. – С.288 – 290.
12. Чудновский С.М., Гудзий В.С., Погореляк А.А., Панчук Т.П. Оценка основных факторов, приводящих к возникновению трещин в неавтоклавном пенобетоне // Будівельні конструкції: Зб. наук. праць. – К.: НДІБК. – 2002. вип. 56. – С.291 – 296.