

УДК 666.982.2

## Опыт производства энергоэффективных полистиролбетонных изделий системы «ЮНИКОН»

**Виктор Алексеевич РАХМАНОВ**, член-корреспондент РААСН, профессор, e-mail: institute@unicon-zsk.ru

**Сергей Кузьмич КАЗАРИН**, советник, e-mail: institute@unicon-zsk.ru

**Владислав Иванович МЕЛИХОВ**, кандидат технических наук, зам. генерального директора по науке, e-mail: V.Melikhov@vniizhbeton.ru

**Алексей Владимирович ЮНКЕВИЧ**, генеральный директор, e-mail: A.Yunkevich@unicongroup.ru

АО «Технологический институт ВНИИжелезобетон», 111141 Москва, ул. Плеханова, 7

**Аннотация.** Показан опыт изготовления по спецтехнологии на заводе АО «ЮНИКОН-ЗСК» изделий (блоки, плиты, перемычки) из полистиролбетона с улучшенными физико-техническими характеристиками, обладающих повышенной прочностью при минимальной плотности и теплопроводности. Изложены особенности заводской спецтехнологии. Приведены основные положения расчетной модели «состав–плотность–прочность» полистиролбетона. Проанализированы технико-экономические показатели несущих стен из легкобетонных блоков для жилых зданий, выполненных из полистиролбетонных блоков и автоклавного ячеистого бетона. Установлено, что высокая эффективность изделий, получаемых по спецтехнологии, позволяет использовать их в стеновых блоках для несущих стен жилых зданий.

**Ключевые слова:** полистиролбетон, заводская спецтехнология, прочность, плотность, теплопроводность полистиролбетона, полистирол вспененный гранулированный, удельный расход цемента, приведенное сопротивление теплопередаче, сметная стоимость, трудоемкость.

## EXPERIENCE IN PRODUCTION OF ENERGY EFFICIENT POLYSTYRENE CONCRETE PRODUCTS OF «UNICON» SYSTEM

**Victor A. RAKHMANOV**, e-mail: institute@unicon-zsk.ru

**Sergey K. KAZARIN**, e-mail: institute@unicon-zsk.ru

**Vladislav I. MELIKHOV**, e-mail: V.Melikhov@vniizhbeton.ru

**Alexey V. YUNKEVICH**, e-mail: A.Yunkevich@unicongroup.ru

Technological Institute «VNIIZhelezobeton», ul. Plehanova, 7, Moscow 111141, Russian Federation

**Abstract.** Experience of plant production of polystyrene concrete products (blocks, slabs, lintel blocks) with advanced physical and technical characteristics such as increased resistance with minimum density and heat conductivity using special technology at plant JSC «UNICON-ZSK» is described. Specific features of plant technology are stated. Basic principles of design model «composition–resistance–density» for polystyrene concrete are mentioned. High efficiency of polystyrene concrete produced by usage of special technology and its implementation for nonbearing wall blocks of residential units (in comparison with autoclaved aerated concrete) is stated.

**Key words:** polystyrene concrete, polystyrene concrete products, special plant technology, resistance, density, heat conductivity, expandable polystyrene concrete bead, volume content of expandable polystyrene concrete bead, discharge intensity of cement and water, ratio of cement hydration and concrete yield, reduced total heat resistance, estimated cost and labour intensity.

В начале 2000-х гг. в технологическом институте «ВНИИ-железобетон» был создан первый в стране импортозамещающий завод ЗАО «ЮНИКОН-ЗСК».

Производство полистиролбетонных (ПСБ) изделий было освоено в 1995 г. на опытно-промышленной линии по выпуску крупноразмерных стеновых блоков и плит утеплителя мощно-

стью 5 тыс. м<sup>3</sup> в год. Линия была запроектирована проектно-конструкторским отделением института по агрегатно-поточной схеме. Подготовку (вспенивание) полистирольного заполнителя выполняли в отдельно стоящем специальном помещении в установке вспенивания. Затем ПВГ транспортировали по системе трубопроводов сжатым воздухом и дозировали в смеситель

роторного типа СБ-146 дозатором ящичного типа. Изделия формовали в многоместных формах на виброплощадке, для выдержки (набора прочности) их помещали в тепловые агрегаты — напольные камеры с паропрогревом. На данной линии удалось обеспечить стабильный выпуск изделий из ПСБ плотностью 300–500 кг/м<sup>3</sup> при расходе ПВГ 12–14 кг/м<sup>3</sup>.

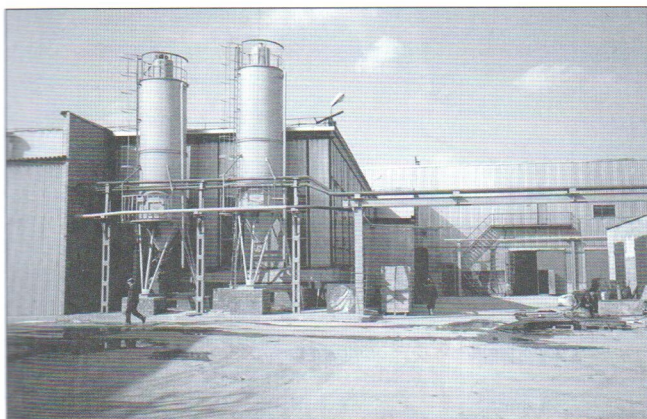


Рис. 1. Панорама завода АО «ЮНИКОН-ЗСК»



Рис. 2. Готовые полистиролбетонные изделия

Одновременно с эксплуатацией первой линии специалисты института вели большую научно-исследовательскую работу по улучшению технологии, созданию более совершенного полистиролбетона с высокими теплотехническими и технико-экономическими показателями. Были выработаны рекомендации по обеспечению экологической безопасности при изготовлении ПСБ-изделий и применению их в строительстве [1, 2].

В конце 1990-х гг. ВНИИжелезобетон впервые в отечественной и зарубежной практике разработал ГОСТ 51263 на полистиролбетон, а также создал энергоберегающую строительную систему «ЮНИКОН», основанную на применении этого материала в ограждающих конструкциях зданий. В 2001 г. для обеспечения возведения энергоэффективных зданий по данной системе был построен завод строительных конструкций мощностью 40 тыс. м<sup>3</sup> в год (рис. 1).

Производство размещалось в двухпролетном производственном корпусе размером 18×84 м и обеспечивало выпуск ПСБ-изделий широкой номенклатуры: стеновых блоков плотностью D300...D500, армированных перемычек длиной до 3 м плотностью D250...D550, теплоизоляционных плит плотностью D150...

D225 (рис. 2), а также доборных элементов различных размеров и конфигураций плотностью D175...D500.

Технология изготовления ПСБ-изделий базировалась на ряде пионерных разработок института:

- двукратное вспенивание ПВГ и плавная выдержка, что обеспечило снижение расхода ПВГ до 10–10,5 кг/м<sup>3</sup>;
- использование вертикальных роторно-планетарных смесителей БСП-1500, позволивших увеличить производительность приготовления ПСБ-смеси и улучшить ее качество;
- прямой электропрогрев ПСБ в формах на специальных постах в зоне выдержки [3];
- формование изделий на виброплощадках с щадящим режимом уплотнения.

Стеновые блоки изготавливали по конвейерной технологии с высоким уровнем механизации. Производство перемычек и плит утеплителя осуществляли по агрегатно-поточной схеме в многоместных формах.

При проектировании завода были реализованы прогрессивные технологические решения, такие как формование блоков в многоместных формах с использованием двух кассет по 20 изделий в каждой; виброуплотнение ПСБ-смеси на эффективных многокомпонентных виброплощад-

ках серии СМЖ-800 конструкции «Гипростроммаш» [4]; укладка ПСБ-смеси в формы ленточными бетоноукладчиками с заглаживающими устройствами; полная механизация участка распалубки форм с линией сборки блоков на транспортный конвейер; применение кантователя для съема и укладки пригрузов.

Развернувшееся массовое строительство зданий на основе ПСБ-изделий показало необходимость расширения их номенклатуры и потребовало увеличения производства для удовлетворения нарастающего спроса.

В 2007–2008 гг. был проведен первый этап технического перевооружения производства ПСБ-блоков, которое заключалось в переводе на формование в четырех массивах (рис. 3а) с последующей их резкой после набора прочности на блоки на автоматической установке с программным управлением (рис. 3б). Такое техническое решение позволило значительно повысить точность размеров и обеспечить потребителей блоками в широком диапазоне габаритов. Одновременно была разработана технология набора прочности без электропрогрева с использованием теплой воды (при перемешивании смеси) и добавок для ускорения твердения.

Все это позволило в 2010 г. на тех же площадях достичь высоких



Рис. 3. Модернизированное производство изделий из полистиролбетона АО «ЮНИКОН-ЗСК»

техико-экономических показателей (до 60 тыс. м<sup>3</sup> в год):

расход ПВГ (не более), кг/м<sup>3</sup> . . . 9,5  
 съём продукции, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> . . . . . 17  
 выработка, м<sup>3</sup>/чел. . . . . 2300  
 потребление электроэнергии (не более), кВт·ч/м<sup>3</sup> . . . . . 450

Для обеспечения конкурентоспособности АО «ЮНИКОН-ЗСК» в 2010 г. был начат второй этап модернизации производства с целью резкого улучшения показателей:

производственная мощность, м<sup>3</sup>/год . . . . . до 100 000  
 расход ПВГ (не более), кг/м<sup>3</sup> . . . 7,5  
 установленная мощность, кВт . 470  
 потребление электроэнергии, кВт·ч/м<sup>3</sup> . . . . . 330  
 количество рабочих, чел/сут. . . . 24  
 энергоёмкость, кВт·ч/м<sup>3</sup> . . . . . 3,8  
 выработка, м<sup>3</sup>/чел . . . . . 3500  
 съём продукции, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> . . . . . 38

Опыт проектирования и реального переоснащения производства подтвердил возможность обеспечения данных показателей благодаря:

- переходу на трехкратное вспенивание и замене транспортирования ПВГ сжатым воздухом на систему транспортирования напорными вентиляторами;
- использованию принципиально новой литьевой технологии формования и приготовлению ПСБ-смеси в бетоносмесителях «ЮНИКОН» (рис. 3в) с воздухо-

1. Техико-экономические показатели полистиролбетонов, изготавливаемых АО «ЮНИКОН-ЗСК» по обычной и спецтехнологии

Марка или класс ПСБ по прочности	Марка ПСБ по средней плотности	Нормируемая теплопроводность λ <sub>Б</sub> , Вт/(м·°С)	Расчетная плотность ПСБ, кг/м <sup>3</sup>	Стоимость основных материалов, р/м <sup>3</sup>		Экономический эффект от спецтехнологии, р/м <sup>3</sup> (%)	
				цемента	ПВГ	цемента	общий
М3,5	D175	0,056	185	587	752	53	53
	D200	0,071	200	640	752	(9)	(3,8)
В0,5	D225	0,066	235	761	669	57	88
	D250	0,8	250	818	700	(7,5)	(5,8)
В0,75	D250	0,073	270	919	658	130	151
	D300	0,096	300	1049	679	(12,4)	(8,7)
В1	D300	0,083	320	1106	606	154	193
	D350	0,1	350	1260	645	(13,9)	(10,1)
В1,5	D350	0,095	370	1288	575	81	123
	D400	0,124	400	1369	617	(6,3)	(6,2)

Примечания. 1. В числителе и знаменателе приведены показатели ПСБ, изготовленного соответственно по спецтехнологии и обычной технологии.

2. Стоимость материалов принята по данным АО «ЮНИКОН-ЗСК» на 01.06.2016 г.: цемент – 4,05 р/кг, ПВГ – 104,5 р/кг.

вовлечением, а также пневмовыгрузку смеси по гибкому трубопроводу непосредственно в форму;

- автоматизации всех технологических процессов с внедрением роботизированного комплекса формования и распалубки блоков, построенного по принципу карусели с шестиярусными штабелями форм, что позволило выполнять все операции по подготовке форм и поддонов, формованию изделий, распалубке на ограниченной площади (60 м<sup>2</sup>);
- применению пневмокамерных насосов для приема и транспор-

тирования цемента на складе и в бетоносмесительном отделении;

- полной утилизации отходов пиления массивов с их вторичным использованием.

Производство ПСБ-изделий основывалось на новых рекомендациях, патентах и нормативных документах, разработанных ВНИИжелезобетон в 2012–2016 гг., и позволили освоить выпуск ПСБ-изделий с оптимизированными свойствами по инновационной спецтехнологии для более прогрессивной строительной системы «ЮНИКОН-2».

Производство ПСБ-изделий по спецтехнологии имеет следующие особенности:

- применение в качестве заполнителя полистирола вспененного гранулированного (ПВГ) улучшенного качества, получаемого трехкратным вспениванием фактически монофракционного полистирольного бисера мелкой фракции со средним размером зерен 0,45–1,3 мм и показателем качества  $n = 1,62...1,65$ ;

- использование портландцемента активностью не менее  $R_{ц} = 45$  МПа и оптимизация состава полистиролбетона с учетом технологических особенностей и специального смесительного оборудования;

- автоматический контроль и коррекция по заданному содержанию компонентов смеси ( $\pm 0,5$  % массы) при дозировании и перемешивании, что гарантировало получение коэффициента вариации прочности ПСБ  $V_m$  не более 12 % (как правило, в пределах 9–10 %);

- выпуск ПСБ-изделий по литейной технологии с использованием смесей подвижностью П2–П4, подаваемых в форму сжатым воздухом и сохраняющих расчетную поризацию цементного камня даже после кратковременного (до 20 с) вибрирования при разравнивании смеси;

- создание улучшенных условий для ускоренного твердения ПСБ введением при перемешивании смеси подогретой до 55...65 °С воды, пригрузения с интенсивностью не менее 30 г/см<sup>2</sup>, твердеющих в термопакетах изделий до их распалубки с последующим укрытием полиэтиленовой пленкой.

Подбор составов ПСБ, обеспечивающих повышенную прочность, проводился по разработанной институтом в 2014 г. специальной инструкции по подбору оптимизированных составов полистиролбетона для изделий строи-

## 2. Техничко-экономические показатели несущих стен из легкобетонных блоков для жилых зданий с кирпичным фасадом

Показатели	Полистиролбетон производства АО «ЮНИКОН-ЗСК»	Автоклавный газобетон (ячеистый бетон) производства	
		«Бонолит» (г. Старая Купавна)	«Хебель ЛЗИД» (Липецк)
<i>Блоки</i>			
Размер, L×B×H, мм	595×280×375	600×500×250	375×625×250
Марка по средней плотности	D250	D300	D400
Класс по прочности	B0,75–B1	B1–B1,5	B1,5–B2
Марка по морозостойкости	F100	F15–F35	F25
Теплопроводность, Вт/(м·°С), (условия Б)*	0,073	0,13	0,15
Масса, кг (с учетом отпускной влажности)	19,3	30,4	31,6
Стоимость, р/м <sup>3</sup> (на 17.03.2016 г.)	3240	2990	3140
<i>Наружная стена (с фасадной облицовкой в 0,5 кирпича и внутренним оштукатуриванием)</i>			
Общая толщина, мм	425	640	765
Приведенное сопротивление теплопередаче, (м <sup>2</sup> ·°С)/Вт**	3,60	3,61	3,85
Стоимость, р/м <sup>2</sup> : материалов	1795	2319	2834
монтажных работ	1507	1575	1745
Общая сметная стоимость, р/м <sup>2</sup> (%)	3302 (100)	3894 (117,9)	4579 (138,7)
Трудоемкость, чел·ч/м <sup>2</sup> (%)	2,93 (100)	4,03 (137,5)	7,61 (259,7)

\* Теплопроводность указана для полистиролбетона согласно ГОСТ Р 51263, для ячеистого бетона в соответствии с СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий».

\*\* Приведенное сопротивление теплопередаче рассчитано по рекомендациям СТО 17532043-001-2005.

тельной системы «ЮНИКОН-2» [5, 6].

Расчетные технико-экономические показатели ПСБ-изделий производства АО «ЮНИКОН-ЗСК» по обычной и спецтехнологии приведены в *табл. 1*. В расчетах принимали значения  $R_{ц} = 45$  МПа и  $n = 1,65$ . Как видно из данных *табл. 1*, при изготовлении по спецтехнологии экономия цемента составляет от 6 до 32 %, а общий экономичес-

кий эффект по стоимости материалов – 3,8–16 %. Особенно высокая эффективность достигается для классов ПСБ по прочности B0,75, B1 и марок по средней плотности D250, D300 (соответственно 32,1 и 13,9 % по экономии цемента при экономии в общей стоимости материалов 16 и 10,1 %).

Сравнение технико-экономических показателей несущих наружных стен из полистиролбе-

тонных блоков, изготовленных АО «ЮНИКОН-ЗСК» по спецтехнологии, с ближайшими аналогами из автоклавного газобетона (ячеистый бетон) для жилых зданий с кирпичным фасадом при сопоставимом приведенном сопротивлении теплопередаче ( $R_0 = 3,6...3,85 \text{ м}^2 \cdot \text{С} / \text{Вт}$ ) конструкции, показано в *табл. 2*. Как видно из этих данных, стены из полистиролбетонных блоков, изготовленных по спецтехнологии, характеризуются сниженными

стоимостью и трудоемкостью соответственно на 17,9 и 38,7 %. При этом их масса меньше в 1,6 раза, чем блоков из ячеистого бетона. Высокая морозостойкость таких изделий из ПСБ позволяет их применять во всех регионах России.

### Вывод

Предложенный опыт производства по системе «ЮНИКОН» рекомендуется использовать при создании новых и совершенство-

вании действующих заводов и производств полистиролбетонных изделий.

Выпуск изделий по спецтехнологии позволяет снизить стоимость и трудоемкость производства соответственно на 17,9 и 38,7 %, уменьшив при этом массу блока в 1,6 раза по сравнению с ячеистым бетоном. Установлено, что морозостойкость изделий из ПСБ марки F100 дает возможность применять их на всей территории нашей страны.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Рахманов В. А., Козловский А. И., Варламова А. В. Об экологической безопасности применения полистиролбетона в строительстве // *Бетон и железобетон*. 1997. № 2. С. 18–20.
2. Рахманов В. А., Козловский А. И. Современные аспекты экологической безопасности производства и применения полистиролбетона в строительстве // *Строительные материалы*. 2009. № 2. С. 6–9.
3. Мелихов В. И., Девятков В. В., Шумилин В. И. Энергосберегающая технология тепловой обработки полистиролбетонных изделий // *Бетон и железобетон*. 1997. № 2. С. 17–18.
4. Волков Л. А., Генкин С. А. Универсальные виброударные площадки с многокомпонентными колебаниями // *Строительные материалы*. 1996. № 5. С. 6–7.
5. СТО 86549669-001-2012. Руководство по проектированию и строительству энергоэффективных зданий с системой ограждающих конструкций «Юникон-2» из особо легкого полистиролбетона. М. : ВНИИжелезобетон, 2012. 166 с.
6. ТР 001/221-86549669-13. Технологический регламент на производство полистиролбетонных изделий для системы «Юникон-2». М. : ВНИИжелезобетон.

### REFERENCES

1. Rakhmanov V. A., Kozlovskiy A. I., Varlamova A. V. About the environmental safety of the use of polystyrene in building. *Beton i zhelezobeton*, 1997, no. 2, pp. 18–20. (In Russian).
2. Rakhmanov V. A., Kozlovskiy A. I. Modern aspects of ecological safety of production and use of polystyrene in building. *Stroitel'nye materialy*, 2009, no. 2, pp. 6–9. (In Russian).
3. Melikhov V. I., Devyatov V. V., Shumilin V. I. Energy saving technology of heat treatment of polystyrene products. *Beton i zhelezobeton*, 1997, no. 2, pp. 17–18. (In Russian).
4. Volkov L. A., Genkin S. A. Universal vibro-impact pad with multi-component fluctuations. *Stroitel'nye materialy*, 1996, no. 5, pp. 6–7. (In Russian).
5. СТО 86549669-001-2012. *Rukovodstvo po proektirovaniyu i stroitel'stvu energoeffektivnykh zdaniy s sistemoy ograzhdayushchikh konstruksiy Yunikon-2 iz osobo legkogo polistirolbetona* [Guide for the design and construction of energy efficient buildings, enclosures system Unicon-2 of super-light polystyrene concrete]. Moscow, VNIIZhelezobeton Publ., 2012. 166 p. (In Russian).
6. ТР 001/221-86549669-13. *Tekhnologicheskii reglament na proizvodstvo polistirolbetonnykh izdeliy dlya sistemy «Yunikon-2»* [Technological regulations for the production of polystyrene products for the system «Unicon-2»]. Moscow, VNIIZhelezobeton Publ. (In Russian).

**Для цитирования:** Рахманов В. А., Казарин С. К., Мелихов В. И., Юнкевич А. В. Опыт производства энергоэффективных полистиролбетонных изделий системы «ЮНИКОН» // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 2. С. 24–28.

**For citation:** Rakhmanov V. A., Kazarin S. K., Melikhov V. I., Yunkevich A. V. Experience in production of energy efficient polystyrene concrete products of «UNICON» system. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2017, no. 2, pp. 24–28. (In Russian). ■