

Т.С. Титова, Е.И. Макарова, Е.П. Дудкин
(Петербургского государственного университета путей сообщения;
e-mail: tamila@pgups.ru)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОКЛАВНОГО ШУМОЗАЩИТНОГО ПЕНОБЕТОНА

Показана возможность использования золы от сжигания осадков сточных вод городских очистных сооружений для производства шумозащитного пенобетона автоклавного твердения, который долговечен, устойчив к воздействию атмосферных факторов, имеет стабильные физико-механические и акустические характеристики, влагостоек и безопасен для здоровья человека.

Ключевые слова: шумозащитный экран, охрана труда, пенобетон, здоровье человека, зола от сжигания осадка сточных вод.

T.S. Titova, E.I. Makarova, E.P. Dudkin **USE IN THE CONSTRUCTION OF NOISE PROTECTION AUTOCLAVED FOAM CONCRETE**

The article shows the possibility of using the ashes from the incineration of sewage sludge sewage treatment facilities for the production of noise protection autoclaved foam concrete containing, which differ durability, resistance to atmospheric agents, the stability of physical and mechanical and acoustic characteristics, moisture and safety for the human health.

Key words: noise-protective screen, labor protection, foam concrete, human health, ash from incineration of sewage sludge.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 18 февраля 2014 г.

Основной задачей охраны труда является обеспечение безопасности и здоровья человека. Трудовой кодекс Российской Федерации (раздел 10, глава 33) определяет охрану труда как систему сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающую в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

Как известно, практически любой производственный объект может являться источником шума, вибрационных и акустических колебаний, электромагнитных волн и других негативных факторов. При длительном нахождении человека в некомфортной производственной зоне ухудшается здоровье, снижается работоспособность.

Шум – это беспорядочные звуковые колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью временных и спектральных характеристик. Раздражающее действие шума является существенным фактором, влияющим на функциональное состояние коры головного мозга и центральной нервной системы, а через них – на весь организм человека.

Создание условий для сведения к минимальному допустимому уровню негативного воздействия шума на работника является важнейшей задачей работодателя и должно предусматриваться ещё на стадии строительства производственного объекта. Важную роль при этом играет выбор строительного материала.

На кафедре "Инженерная химия и естествознание" Петербургского государственного университета путей сообщения под руководством д.т.н., профессора Л.Б. Сватовской разработан шумозащитный строительный материал на основе пенобетона, использование которого возможно, например, в качестве шумозащитных экранов на предприятиях транспорта.

Состав пенобетонной смеси определялся расчётно-экспериментальным методом путём последовательных операций с учётом методов, описанных в [1, 2]. Расчётный расход материалов для получения автоклавного пенобетона плотностью Д500-Д800 представлен в табл. 1.

Таблица 1

Расчётный расход материалов для получения автоклавного пенобетона плотностью Д500-Д800 (на 1 м³)

Средняя плотность, кг/м ³	Расход материалов на 1 м ³ пенобетона, кг					Водовязущее отношение растворной смеси
	Цемент	Известь	Песок	Вода	Пенообразующая добавка	
500	170	70	160	96	2,56	0,40
600	190	80	230	105	2,42	0,39
800	210	80	410	110	2,15	0,38

Для получения пенобетонной смеси использовались следующие материалы: портландцемент ПЦ 400-Д20 Пикалевского объединения "Глинозём", табл. 2; строительная известь по ГОСТ 9179 Угловского месторождения, табл. 3; песок карьерный по ГОСТ 8736 с содержанием пылевидных, илистых и глинистых частиц не более 3,0 % и глины в комках не более 0,5 %; пенообразующая добавка на протеиновой основе, модифицированная 2 %-м раствором стеарата калия, табл. 4; техническая вода, соответствующая требованиям ГОСТ 23732. Методом твердения выбрана автоклавная технология (при температуре $t = 174$ °С и давлении $P = 8-10$ МПа).

Таблица 2

Характеристики портландцемента, использованного для получения пенобетонной смеси

Марка цемента	Нормальная густота	Сроки схватывания	Равномерность изменения объёма	Активность при пропаривании
400	25,4 %	начало 2 ч. 55 мин.	выдержана	26,8 МПа
		окончание 4 ч. 40 мин.		

**Характеристики строительной извести, использованной
для получения пенобетонной смеси**

Тонкость помола (остаток частиц на сите № 008)	Содержание		Содержание непогасившихся зёрен
	Активных СаО и MgO	Активного MgO	
12 %	60-80 %	не более 2,0 %	не более 11 %

Таблица 4

**Характеристики пенообразующей добавки, использованной
для получения пенобетонной смеси**

Цвет	Состояние	Плотность	Растворимость	Ph
тёмно- коричневый	жидкость	1,11 кг/дм ³	в воде	4,0-4,5

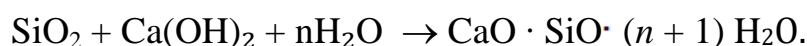
В продолжение работы профессора Махамбетовой У.К. [3], проведены исследования, показавшие возможность частичной (25-50 %) и полной замены песка в пенобетонной смеси на золу от сжигания осадка сточных вод городских очистных сооружений, представляющую собой мелкодисперсный порошок желто-коричневого цвета плотностью – от 2,4 до 2,6 т/м³, насыпной плотностью (увлажненной до 20 %) – от 0,6 до 0,65 т/м³. Удельная поверхность золы – от 2000 до 3000 см²/г, рН – 12,8-13,2, содержание органических веществ при прокаливании – от 0,26 до 0,28 % [4]. Оксидный состав золы представлен в табл. 5.

Таблица 5

**Оксидный состав золы от сжигания осадка сточных вод
городских очистных сооружений**

Оксид	Содержание, %	Оксид	Содержание, %
SiO ₂	48-53,9	CaO	6,2-7,2
Al ₂ O ₃	10,4-10,9	MgO	1,9-2,16
Fe ₂ O ₃	7,5-8,0	CuO	0,09-0,12
P ₂ O ₅	6,1- 12	SO ₃	4,3-4,8
K ₂ O	3,1-3,6	Na ₂ O	0,2-0,3

Высокая удельная поверхность золы от сжигания осадка сточных вод городских очистных сооружений позволяет использовать её вместо природного песка, который требует в данном случае обязательного мокрого помола в шаровых мельницах для возникновения в автоклаве реакции:



Данная реакция обеспечивает прочностные характеристики системы и основные эксплуатационные свойства образующегося искусственного камня. Дериватографические исследования свидетельствуют о том, что процесс гидратации в пенобетоне (при наличии золы от сжигания осадка сточных вод городских очистных сооружений) протекает достаточно интенсивно и с образованием гидросиликатов типа тоберморита и ксонотлита так же, как и при использовании песка.

По разработанной технологии зола с 20 %-й влажностью подаётся в шламбассейн, где готовится шлам с плотностью 1600 кг/м^3 , что соответствует влажности 40 %. Шлам золы с использованием насоса по трубопроводу подаётся в весовой дозатор, и отдозированная зола самотёком поступала в смеситель, где готовится пенобетонная смесь по стандартной технологии. Физико-механические характеристики пенобетона, содержащего золу от сжигания осадка сточных вод городских очистных сооружений, представлены в табл. 6.

Таблица 6

Физико-механические характеристики пенобетона, содержащего золу от сжигания осадка сточных вод городских очистных сооружений

Средняя плотность пенобетона	Физико-механические свойства				
	Теплопроводность, Вт/м °С	Прочность при сжатии, МПа	Морозостойкость, кол-во циклов	Сорбционная влажность, %	Звукоизолирующая способность, дБА (расчётная при толщине экрана 100 мм)
Д500 без золы	0,12	19,0	15	11	35,9
Д500 с 25 % золы	0,11	16,5	15	12	35,9
Д500 с 50 % золы	0,10	15,0	15	14	35,9
Д500 с 100 % золы	0,09	10,5	10	15	35,9
Д600 без золы	0,14	25	25	12	37,0
Д600 с 25 % золы	0,13	23	15	13	37,0
Д600 с 50 % золы	0,12	20	15	14	37,0
Д600 с 100 % золы	0,11	15	10	16	37,0
Д800 без золы	0,21	35	25	15	38,7
Д800 с 25 % золы	0,20	31	15	16	38,7
Д800 с 50 % золы	0,19	25	15	17	38,7
Д800 с 100 % золы	0,18	22	5	19	38,7

Данные табл. 6 свидетельствуют о том, что при замене природного песка в пенобетонной смеси на золу от сжигания осадка сточных вод городских очистных сооружений можно, получить пенобетонный искусственный камень, обладающий звукоизолирующей способностью от 35,9 до 38,7 дБА, в зависимости от плотности пенобетона. Кроме того, при полной замене песка на золу прочность материала повышается, а теплопроводность уменьшается, что значительно расширяет область применения изделий из полученного материала.

Схема производства автоклавного пенобетона, содержащего золу от сжигания осадка сточных вод городских очистных сооружений [4], обладающего шумозащитными свойствами, представлена на рис. 1.

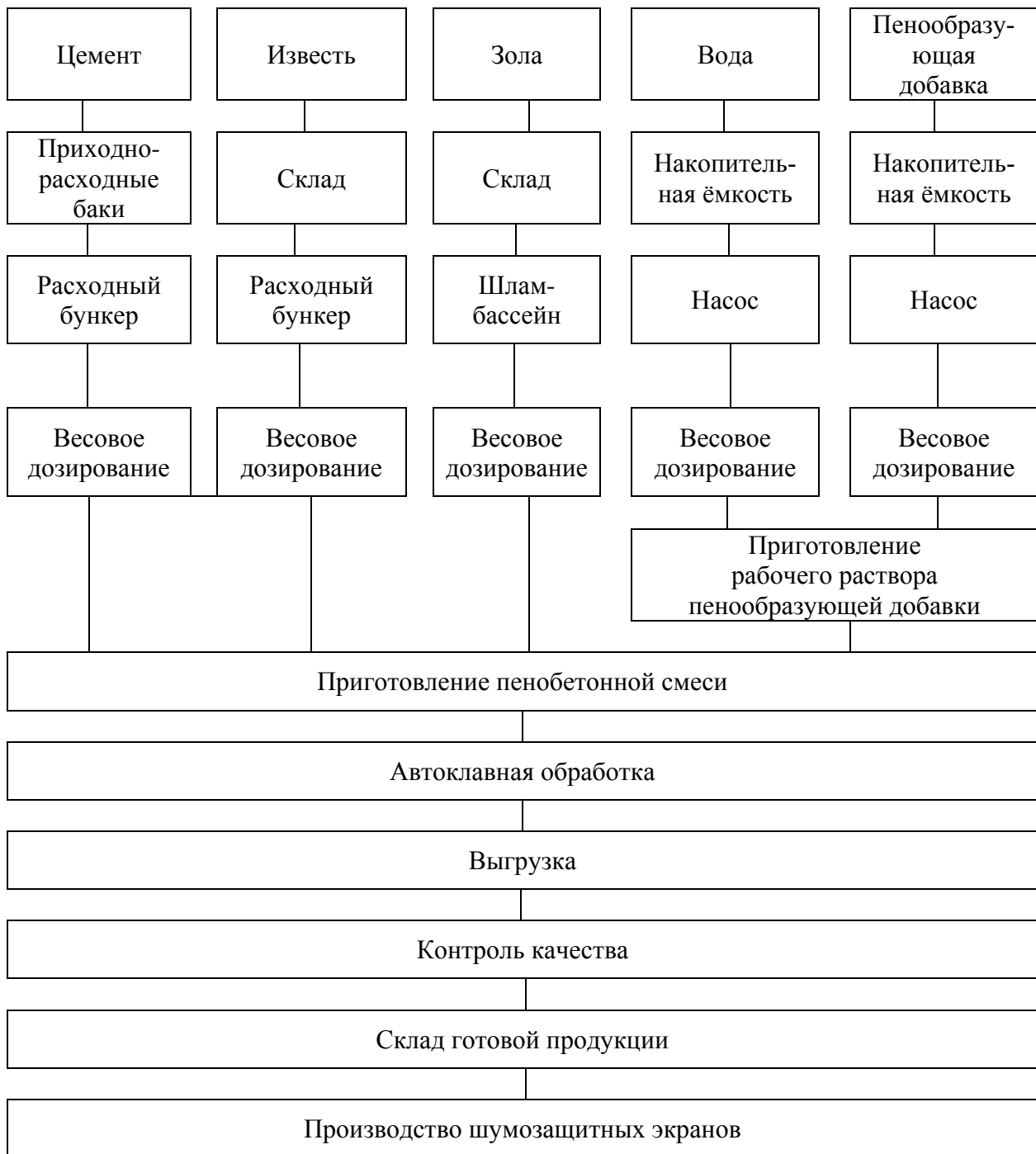


Рис. 1. Схема производства автоклавного пенобетона, обладающего шумозащитными свойствами

Рост требований, предъявляемых к надёжности строительных материалов, тесно связан с необходимостью их полной безопасности для здоровья человека, тем более, если в качестве сырья используются отходы. В связи с этим проведены исследования по определению радиоактивности полученного пенобетона, табл. 7.

Средние значения радиоактивности пенобетона, содержащего золу от сжигания осадка сточных вод городских очистных сооружений

Материал	Средняя удельная радиоактивность, Бк/кг
Пенобетон	
Д500 без золы	76
Д500 с 50 % золы	96
Д600 без золы	80
Д600 с 50 % золы	100
Д800 без золы	80
Д800 с 50 % золы	104
Природный материал (для сравнения)	
Гранит	170

Исследования показали, что радиоактивность полученного пенобетона находится в пределах от 96 до 104 Бк/кг, что соответствует I классу материала и позволяет применять полученный строительный материал во всех областях строительства [5].

Полученный автоклавный пенобетон по своим физико-механическим характеристикам является хорошим теплозащитным материалом, а также средством поглощения звуков, обусловленного вязким трением в порах, внутренним трением, теплообменом между материалом и воздухом. Звукоизолирующие свойства экранов из пенобетона представлены в табл. 8.

Теоретический расчёт средней звукоизолирующей способности однородного шумозащитного экрана без воздушных промежутков от шума, уровень которого выражен в децибелах, определяется для ограждений весом до 200 кг на 1 м² по формуле (1), а для ограждений весом более 200 кг на 1 м² – по формуле (2):

$$R_{\text{ср}} = 13,5 \lg G + 13, \text{ дБ}; \quad (1)$$

$$R_{\text{ср}} = 23 \lg G - 9, \text{ дБ}; \quad (2)$$

где $R_{\text{ср}}$ – средняя звукоизолирующая способность строительных конструкций, дБ;

G – поверхностная масса конструкции, кг/м².

Данные табл. 5 свидетельствуют о том, что наиболее оптимальной шириной шумозащитного экрана является:

- 400 мм – для ограждения из пенобетона плотностью Д500;
- 350 мм – для ограждения из пенобетона плотностью Д600;
- 300 мм – для ограждения из пенобетона плотностью Д800.

Таким образом, применение полученного автоклавного пенобетона, содержащего золу от сжигания осадков сточных вод городских очистных сооружений, позволяет получить шумозащитные материалы, отличающиеся долговечностью, устойчивостью к воздействию атмосферных факторов, стабильностью физико-механических и акустических характеристик, влагостойкостью и безопасностью для здоровья человека.

Расчётные звукоизолирующие способности экранов из пенобетона, содержащего золу от сжигания осадка сточных вод городских очистных сооружений

Плотность пенобетона, кг/м³	Толщина экрана, мм	Вес ограждения, кг/м²	Средняя звукоизоляционная способность, дБ
500	100	50,0	35,9
	150	75,0	38,3
	200	100,0	40,0
	250	125,0	41,3
	300	150,0	42,4
	350	175,0	43,3
	400	200,0	44,1
600	100	60,0	37,0
	150	90,0	39,4
	200	120,0	41,1
	250	150,0	42,4
	300	180,0	43,4
	350	210,0	44,4
	400	240,0	45,7
800	100	80,0	38,7
	150	120,0	41,1
	200	160,0	42,8
	250	200,0	44,1
	300	240,0	45,7
	350	280,0	47,3
	400	320,0	48,6

Литература

1. **Боженев П.И.** Технология автоклавных материалов. Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1978. 368 с.
2. **Нацневский Ю.Д., Хоменко В.П., Беглецов В.В.** Справочник по строительным материалам и изделиям. Киев: Будивельник, 1966. 135 с.
3. **Махамбетова У.К., Солтанбеков Т.К., Естемесов З.А.** Современные пенобетоны. С.-Пб.: ПГУПС, 1997. 161 с.
4. **Сватовская Л.Б., Макарова Е.И., Сычева А.М. и др.** Новые экозащитные технологии на железнодорожном транспорте: монография. М.: ГОУ "Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте", 2007. 159 с.
5. **Русанова Е.В.** Снижение радиоактивности при производстве строительных материалов // Новые исследования в материаловедении и экологии: сб. научн. тр. 2004. Вып. 4. С. 27-29.