

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ / CONSTRUCTION MATERIALS

DOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2017.05.4>Бартеньева Е.А.¹, Машкин Н.А.²¹Аспирант, ²доктор технических наук, профессор,
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

НЕАВТОКЛАВНЫЙ ПЕНОБЕТОН С МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ

Аннотация

Исследовано влияние минеральных добавок на свойства технической пены и физико-механические параметры неавтоклавно пенобетона. Установлено, что введение в его состав 1% волластонита и диопсида позволяет снизить плотность готовых изделий, повысить их прочность. При этом наблюдается улучшение коэффициента использования пены, повышается ее кратность. Данные высокодисперсные минеральные наполнители можно использовать как стабилизаторы пены и пластической массы пенобетона.

Ключевые слова: пенобетон, техническая пена, волластонит, диопсид, белковый пенообразователь.

Barteneva E.A.¹, Mashkin N.A.²¹Postgraduate student, ² PhD in Engineering, professor,
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)

NON-AUTOCLAVED FOAMED CONCRETE WITH MINERAL ADDITIVES

Abstract

The paper presents the effect of mineral additives on the properties of technical foam as well as physical and mechanical properties of non-autoclaved foamed concrete. It was defined that the introduction of 1% of wollastonite and diopside into its composition can reduce the density of the finished product, and improve their strength. At that, the coefficient of foam use increases as well as its multiplicity. These finely divided mineral fillers can be used as stabilizers of foam and the plastic mass of foamed concrete.

Keywords: foamed concrete, technical foam, wollastonite, diopside, protein-based foaming agent.

В качестве эффективных теплоизоляционных материалов в последние годы используются ячеистые бетоны. Благодаря своей пористой структуре они обладают хорошими теплоизолирующими свойствами и достаточной прочностью, чтобы использовать их в качестве теплоизоляционно-конструкционных материалов [1-4].

По результатам многочисленных научных работ и опыту практического применения известно, что имеющиеся технологии получения неавтоклавных пенобетонов нуждаются в совершенствовании. Существенную роль в обеспечении требуемых свойств пенобетонной смеси и неавтоклавных пенобетонов играют воздухововлекающие поверхностно-активные вещества. Показатели пенообразующей способности ПАВ и свойства пены зависят от природы веществ, их концентрации, температуры, интенсивности перемешивания и других факторов [5-7]. Одним из вариантов улучшить качество пенобетона является введение в состав материала высокодисперсных наполнителей [8-10].

В данной работе исследовано влияние минеральных добавок на показатели кратности пены, коэффициента стойкости пены в поризованном растворе, определены физико-механические параметры пенобетона.

Для получения пенобетона использовался портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 (г. Искитим) со следующим минералогическим составом, мас. %: C₃S – 69, C₂S – 11; C₃A – 7; C₄AF – 13. Истинная плотность портландцемента – 3,060 г/см³, насыпная плотность – 1,083 г/см³. В качестве кремнеземистого заполнителя применяли кислую золу-уноса, полученную на ТЭЦ-5 г. Новосибирска от сжигания Кузнецких каменных углей. Химический состав заполнителя, мас. %: SiO₂ – 60,77; Al₂O₃ – 19,45; Fe₂O₃ – 5,16; CaO – 5,12; MgO – 2,10; Na₂O – 0,89; K₂O – 2,01; SO₃ – 0,54; P₂O₅ – 0,39; TiO₂ – 0,82; BaO – 0,20, MnO – 0,07. Насыпная плотность золы – 0,885 г/см³, истинная плотность – 1,870 г/см³ (ГОСТ 9758-2012), остаток на сите 008(по массе) – 4,49 % (ГОСТ 310.2-76). В данном эксперименте использовали белковый пенообразователь «FoamSet» (Италия).

В качестве минеральных добавок использовались волластонит и диопсид. Волластонит – минерал из класса силикатов Алтайского месторождения, истинная плотность которого равна 2,455 г/см³, удельная поверхность составляла 900 см²/г и 5740 см²/г. Химический состав волластонита: SiO₂ – 46,1; Al₂O₃ – 2,93; Fe₂O₃ – 4,44; CaO – 45,12; MgO – 0,9; п.п.п. – 0,51. В работе использовался диопсид Слюдянского месторождения со следующим химическим составом, мас. %: CaO – 25,03, MgO – 20,01; SiO₂ – 51,33, Al₂O₃ – 1,88; Fe₂O₃ – 0,84; MgO – 20,01; K₂O – 0,17, TiO₂ – 0,14; п.п.п. – 0,61; истинная плотность – 2,778 г/см³, удельная поверхность – 1160 см²/г.

Кратность пены определяется отношением начального объема пены к объему водного раствора пенообразователя. Большая кратность обеспечивает достаточный выход ячеистой смеси при данном расходе пенообразователя. Для оценки влияния компонентов пенобетона на объем пены рассчитывался коэффициент стойкости пены в цементно-зольном растворе. Значение этого параметра отображает не только совместимость технической пены со средой твердеющего раствора, но и показывает объемную долю использования пены в приготовлении поризованного раствора.

Для проведения эксперимента был спроектирован состав пенобетона, где соотношение заполнителя к вяжущему

составило 0,6, а $V/T = 0,61$ для марки по плотности пенобетона D500. Пенобетон готовился по классической технологии, выдерживался в нормальных условиях в течение 28 суток, после чего был испытан на прочность при сжатии.

Для сравнения проводилась оценка влияния диопсида и волластонита на свойства пены и пенобетона при введении их в пену и цементно-зольный раствор. В таблице 1 представлены свойства пены в зависимости от вида вводимых добавок, их количества и способа введения.

Таблица 1 – Влияние вида, количества и способа введения минеральной добавки на свойства технической пены

Вид добавки	Уд. пов-ть, см ² /г	Способ введения доб-ки	Количество, % масс							
			0		1		2,5		4	
			K	$C_{шт}^{п}$	K	$C_{шт}^{п}$	K	$C_{шт}^{п}$	K	$C_{шт}^{п}$
Волластонит	900	Пена	18,33	0,74	20,65	0,79	13,53	0,91	19,80	0,71
		Раствор			-	0,81	-	0,89	-	0,73
	5740	Пена			21,23	0,67	19,78	0,84	20,51	0,56
		Раствор			-	0,81	-	0,87	-	0,74
Диопсид	1160	Пена			13,24	1,14	14,69	0,77	17,89	0,66
		Раствор			-	0,91	-	0,93	-	0,66

Примечание: K – кратность пены; $C_{шт}^{п}$ – коэффициент стойкости пены в цементно-зольном растворе

При введении волластонита в пену наблюдается повышение кратности пены. Наибольший выход пены заметен для волластонита с удельной поверхностью 5740 см²/г и увеличивается по сравнению с контрольной пеной на 16%, что, возможно, происходит за счет его высокой дисперсности, которая обеспечивает закупорку каналов Плато при образовании пены. При введении диопсида в состав пены увеличения ее кратности не происходит.

Коэффициент стойкости пены в поризованном растворе выше для пенобетона с волластонитом, введенным в раствор, и начинает снижаться при количестве добавки 4%. При введении волластонита в пену наблюдается понижение коэффициента стойкости пены.

Введение диопсида в состав пены ее кратность уменьшается по сравнению с контрольным образцом. Для добавки диопсида в количестве 1% характерно наибольшее значение коэффициента стойкости пены в цементно-зольном растворе и составляет 1,14, при дальнейшем увеличении его содержания значение этого показателя падает.

В таблице 2 представлены результаты физико-механических характеристик пенобетона в зависимости от вида вводимых добавок, их количества и способа введения.

Таблица 2 – Влияние вида и количества способа введения минеральной добавки на физико-механические свойства пенобетона

Вид добавки	Уд. пов-ть, см ² /г	Способ введения доб-ки	Количество, % масс							
			0		1		2,5		4	
			ρ	R	ρ	R	ρ	R	ρ	R
Волластонит	900	Пена	547	1,22	415	1,37	435	0,55	638	1,56
		Раствор			375	1,00	395	0,55	449	1,61
	5740	Пена			545	2,10	404	1,05	783	2,95
		Раствор			361	0,73	406	1,18	436	1,94
Диопсид	1160	Пена			345	1,02	560	1,47	664	1,54
		Раствор			274	0,57	377	0,79	520	1,22

Наилучшие результаты по прочности можно отметить для пенобетона с волластонитом, введенным в раствор. При введении в пену волластонита ($S_{уд}=5740$ см²/г) в количестве 1% от массы цемента прочность увеличивается на 72%, при 4% плотность пенобетона составляет 783 кг/м³, а прочность равна 2,95 МПа. Благоприятное воздействие волластонита на прочность пенобетона возможно за счет армирования раствора. Что происходит из-за его игольчатой формы частиц, которая сохраняется и при измельчении благодаря своей кристаллической структуре. Данный эффект позволяет снизить пластическую усадку, ограничить седиментацию минеральных составляющих за счет создания трехмерной сети в межпоровом пространстве пенобетонной смеси.

Введение диопсида позволяет получить пенобетон с плотностью 274 кг/м³, 345 кг/м³, 377 кг/м³, пенобетон обладает более низкой плотностью при введении добавки в раствор. Увеличение прочности составляет 20% для пенобетона с введением диопсида в пену в количестве 2,5% от массы цемента.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Пенобетонные смеси обладают более высокой стойкостью смеси при введении минеральных добавок до 2,5% от массы цемента таких, как волластонит и диопсид, что обеспечивает более низкую плотность материала, меньшую расслаиваемость смеси, более четкую и равномерную структуру порового пространства.

2. Применение диоксида и волластонита увеличивает коэффициент стойкости пены в минеральном растворе. Таким образом, данные минеральные добавки можно использовать как стабилизаторы пены.
3. Использование данных минеральных добавок позволяет снизить плотность пенобетона и увеличить прочность при сжатии.
4. Наибольшее влияние на плотность оказывает добавка диоксида. Введение его в раствор в количестве 1% снижает плотность пенобетона до 274 кг/м³.
5. Наибольшая прочность пенобетона достигается при введении волластонита с удельной поверхностью 5740 см²/г, прочность пенобетона повышается по сравнению с контрольным образцом на 72%.

Литература

1. Foamer influence on the foam concrete properties obtained in the high-speed foam generator / Mashkin N.A., Bartenjeva E.A. // Materials Science Forum. – 2016. – Vol. 870. – P. 163-168.
2. Роль пенообразователей в технологии пенобетона / Е.А. Бартьева // Сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные вопросы строительства». – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2016. – С. 224-230.
3. Шахова Л.Д. Технология пенобетона: теория и практика/ Л.Д. Шахова. – М.: Ассоциация строительных вузов, 2010. – 246с.
4. Пенобетон/ Л.В. Моргун. – Ростов-на-Дону: Рост. гос.строит. ун-т, 2012. – 154с.
5. Поверхностно-активные вещества / П.А. Ребиндер. М.: Изд-во «Знание», 1961. – 46с.
6. Пена и пенные пленки / Кругляков П.М., Ексерова Д.Р. – М.: Химия, 1990. – 432с.
7. Горбач П.С. Влияние пенообразователя на свойства пены и пенобетона / П.С. Горбач, С.А. Щербин// Вестник ТГАСУ. – 2014. - №5. – С. 126-132.
8. Величко Е.Г. Рецептурно-технологические проблемы пенобетона / Е.Г. Величко, А.Г. Комар. – Строительные материалы. – 2004. - №3. – С. 26-29.
9. Дворкин Л.И. Сухая строительная смесь для производства неавтоклавного пенобетона / Л.И. Дворкин, О.М. Бордюженко // Сухие строительные смеси. – 2009. -№4. – С.28-30.
10. Ружинский С.И. Все о пенобетоне/ С.И Ружинский, А. Портик, А. Савиных. – СПб: ООО «Стройбетон», 2006. – С. 139.

References

1. Foamer influence on the foam concrete properties obtained in the high-speed foam generator / Mashkin N.A., Bartenjeva E.A. // Materials Science Forum. - 2016. - Vol. 870. - P. 163-168.
2. Rol' penoobrazovateley v tekhnologii penobetona/ [Role of Foam Generating Agents in Foamed Concrete Technology] / E.A Bartenieva // Sbornik materialov IX Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Aktualnye voprosy stroitelstva» [Collection of materials of the IX All-Russia scientific-technical conference "Actual issues of construction."] - Novosibirsk: NSUACE (SIBSTRIN), 2016. - P. 224-230. [In Russian]
3. L.D. Shakhova Tekhnologiya penobetona: teoriya i praktika [Foam Technology: Theory and Practice] / L.D. Shakhova. - M.: Association of construction universities, 2010. – 246p.[In Russian]
4. Penobeton [Foamed Concrete] / L.V. Morgun - Rostov-on-Don: RSUC, 2012. – 154p.[In Russian]
5. Poverkhnostno-aktivnye veshchestva [Surface-Active Reagents] / P.A. Rebinder. M.: Publishing house "Znaniye", 1961. – 46p.[In Russian]
6. Pena i pennyeplenki [Foam and Foam Films] / Kruglyakov P.M., Ekserova D.R. - M.: Khimiya, 1990. – 432p.[In Russian]
7. Gorbach P.S. Vliyaniye penoobrazovatelya na svoistva peny i penobetona [Effect of Foaming Agent on Properties of Foam and Foamed Concrete] / P.S. Gorbach, S.A. Shcherbin // Vestnik TGASU [Bulletin of TSUAB]. - 2014. –No5. - P. 126-132.[In Russian]
8. Velichko E.G. Retsepturno-tekhnologicheskiye problemy penobetona [Compound and Technological Problems of Foamed Concrete] / E.G. Velichko A.G Komar – Stroitelnye materialy [Construction Materials]. - 2004. - №3. - S. 26-29.[In Russian]
9. Dvorkin L.I. Sukhaya stroitel'naya smes dlia proizvodstva neavtoklav'nogo penobetona [Dry Construction Mix for Production of Non-Autoclaved Foamed Concrete] / L.I. Dvorkin, O.M. Bordyuzhenko // Sukhiye stroitelnye smesi [Dry construction mixtures]. - 2009. -№4. - P.28-30.[In Russian]
10. Ruzhinsky S.I. Vse o penobetone [All about foamed concrete] / S.I. Ruzhinsky, A. Portik, A. Savinykh. - St. Petersburg LLC "Stroibeton", 2006. - P. 139.[In Russian]