

УДК 691.327.332

Нгуен Тхань Туан, Д. В. Орешкин

ПОДБОР И ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА НЕАВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА ДЛЯ УСЛОВИЙ ВЬЕТНАМА

Приводятся результаты подбора и оптимизации состава газобетонной смеси с добавками, которые производятся во Вьетнаме. Были проведены исследования по определению и сравнению свойств газобетона автоклавного и неавтоклавного твердения при введении в смесь метакаолина, микрокремнезема и рисовой шелухи в количестве 7 %. Установлено, что газобетон, имеющий в своем составе высокоактивный метакаолинит, показывает лучшие свойства.

Ключевые слова: ячеистый бетон, газобетон, свойства газобетона, оптимизация состава.

The article presents the results of the selection and optimization of composition of gas-concrete mixture with additives that is produced in Vietnam. The authors carry out the studies to identify and compare the properties of autoclaved aerated concrete and non-autoclaved curing when adding metakaolin, silica fume and rice husk in the amount of 7 % into the mixture. It was found that gas concrete, which contains highly active metakaolin, shows the best properties.

Key words: cellular concrete; gas concrete; properties of gas concrete, optimization of composition.

В настоящее время во Вьетнаме быстро растет численность населения, увеличивается его плотность, высокими темпами развивается малоэтажное строительство, строятся заводы по производству ячеистого бетона, производится избыточное количество портландцемента. В стране не хватает электроэнергии.

Как известно, существует несколько методов подбора состава газобетонов. Например, по СН 277—70 производили подбор с учетом размеров частиц компонентов, условий приготовления и формования, В/Т, назначили отношения кремнеземистого компонента и вяжущего вещества, вычислили количество сухих компонентов, алюминиевой пудры. Этот метод дает возможность оценить влияние способа подготовки газобетонной смеси, ее вспучивания и формования на качество бетона. Он позволяет определить оптимальный состав, структуру и технологию. Водотвердое отношение определяли с учетом текучести раствора по расплыву на вискозиметре Суттарда [1—3].

Все способы подбора состава ячеистого бетона основаны на приготовлении большого количества опытных замесов. Однако были установлены некоторые зависимости свойств ячеистого бетона от состава и технологии изготовления. В [1] разработан расчет подбора состава ячеистого бетона (с заданной прочностью при сжатии и средней плотностью), а также оптимальные соотношения между кремнеземистым компонентом и вяжущим веществом. Расчет количества газообразователя и материалов на замесы осуществляется по формулам СН 277—80.

При подборе состава газобетона критерием обычно служили прочность при сжатии. Однако она не определяет трещиностойкость ячеистого бетона. На трещиностойкость большое влияние оказывает растяжимость, усадка, прочность при растяжении, которые при подборе состава бетона не учитывались [4]. Было установлено, что увеличение трещиностойкости возможно за счет повышения прочности газобетона при растяжении [4]. Для этого авторы работ [3, 4] наметили несколько путей: повышение содержания гидросиликатов

кальция, имеющих высокие значения прочности при изгибе; упрочнение и повышение средней плотности межпоровых перегородок; уменьшение дефектности микроструктуры бетона; уменьшение напряжений в кристаллическом сростке бетона, возникающих на стадии изготовления; подбор оптимального состава и размеров компонентов, режимов тепловлажностной обработки.

Указанные способы подбора состава газобетонной смеси были разработаны в основном для получения автоклавного газобетона. Технологии получения неавтоклавного газобетона имеют подобные закономерности, но со своими особенностями. Разработкам таких технологий, включающих подбор и оптимизацию состава, посвящены работы Г. П. Сахарова и соавторов [5—9].

Расчет и оптимизация состава сырьевой смеси осуществлялись на основании инструкции по изготовлению изделий из ячеистого бетона СН 277—80. Образцы были изготовлены из оптимизированных составов и испытаны в соответствии с ГОСТ 31359—2007 и ГОСТ 31360—2007.

Были подобраны четыре состава газобетона неавтоклавного твердения (составы 1—4) и четыре состава газобетона автоклавного твердения (составы 5—8) марки по плотности D600 на чистом портландцементе (Ц) и на цементе с добавками. В состав смеси входили: метакаолин (ВМК), микрокремнезем (МЗ) и рисовая шелуха (РШ), алюминиевая пудра (АI-пудра). Расход добавок был одинаковым — 7 % от цемента по массе. Результаты представлены в табл. 1. Подвижность определяли по вискозиметру Сутгарда.

Таблица 1

Состав газобетона

Номер состава	Компоненты состава бетона	Расход материалов, кг/м ³			
		Ц	В	Д	АI-пудра
Неавтоклавный газобетон					
1	Ц + В + А	536,6	230,74	—	0,535
2	Ц + ВМК + В + А	501,5	241,47	35,1	0,535
3	Ц + МЗ + В + А	501,5	246,84	35,1	0,535
4	Ц + РШ + В + А	501,5	252,2	35,1	0,535
Автоклавный газобетон					
5	Ц + В + А	536,6	230,74	—	0,535
6	Ц + ВМК + В + А	501,5	241,47	35,1	0,535
7	Ц + МЗ + В + А	501,5	246,84	35,1	0,535
8	Ц + РШ + В + А	501,5	252,2	35,1	0,535

В качестве вяжущего вещества использован бездобавочный портландцемент марки 400 завода Chinfon (Chinfon Cement Corporation, Вьетнам) со следующим минеральным составом: C₃S — 56,5; C₂S — 17,4; C₃A — 7,8; C₄AF — 10,1 %; алюминиевая пудра GLS-65 Dongyue производства Китая с содержанием алюминия более 86 %.

Высокоактивный метакаолин или метакаолинит (ВМК) получается при низкотемпературном обжиге каолиновой глины при 650 °С в течение 90 мин. В процессе нагрева удаляется вода из минерального каолинита Al₂O₃ · 2SiO₂ · 2H₂O, получается аморфный алюмосиликат Al₂O₃ · 2SiO₂ — метакаолинит. Метакаолин представляет собой аморфную структуру каолина, при которой сохраняется

пластинчатая форма частиц. Процесс дегидратации приводит к уменьшению средней плотности с 2600 до 2500 кг/м³, с одновременным увеличением пористости [10—12]. В научной литературе этот продукт называют метакаолином или метакаолинитом.

Микрокремнезем представляет собой побочный продукт получения ферросилиция в металлургической промышленности. Этот продукт образуется в результате восстановления углеродом кварца высокой чистоты в электроплавильных печах. В процессе выплавки кремниевых сплавов некоторая часть монооксида кремния SiO переходит в газообразное состояние, подвергается дальнейшему окислению и конденсации. При этом образуется мельчайший порошок из шарообразных частиц с высоким содержанием аморфного кремнезема. При выплавке 1 т ферросилициевых сплавов выделяется около 300 кг микрокремнезема.

Известно, что микрокремнезем является эффективной добавкой в высокопрочные бетоны, в том числе в виде органоминеральной добавки [13—17]. В работе использовали микрокремнезем JH95 завода Luoyang (Вьетнам). Размеры частиц этого микрокремнезема составляют 1...2,5 мкм.

Была также использована рисовая шелуха (РШ), получаемая как отход при переработке риса. Она содержит 80...85 % SiO₂. Из 1 т риса получается до 200 кг РШ [18]. Основные свойства портландцемента и добавок приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные свойства портландцемента и добавок

Наименование	Насыпная плотность, г/м ³	Истинная плотность, кг/м ³	Удельная поверхность, м ² /г
Портландцемент	1189	3146	310
Метакаолин	732	2565	1600
Микрокремнезем	705	2230	2200
Рисовая шелуха	270	2060	200...260

Целью работы явилась разработка газобетона автоклавного и неавтоклавного твердения средней плотности 600 кг/м³, полученного из равноподвижных смесей с 7 % добавок, выявление оптимального состава по показателям свойств.

Были изготовлены бетонные смеси с диаметром расплыва лепешки по вискозиметру Сутгарда около 13 см, для получения средней плотности газобетона 600 кг/м³ при разных В/Т в соответствии со СН 277—80. Результаты представлены в табл. 3. Образцы из газобетона были выпилены из неармированных блоков и испытаны по ГОСТ 18105—2010 и ГОСТ 10180—2003.

Размеры образцов для определения прочности при сжатии (в возрасте 7, 14, 28 и 180 сут) и прочности на растяжение при раскалывании (в возрасте 180 сут) равнялись 100 × 100 × 100 мм, а для испытаний на прочность при изгибе — 100 × 100 × 400 мм (в возрасте 28 и 180 сут). Прочность газобетона при изгибе и сжатии представлена в табл. 4. Образцы хранились 28 сут в нормальных условиях, т. е. при температуре (20 + 2) °С, относительной влажности (95 + 5) °С и атмосферном давлении.

Т а б л и ц а 3

Распływ бетонных смесей, время и температура

Номер состава	Компоненты состава бетона	В/Т	Распływ, см	Время перемешивания, мин	Температура смеси, °С
Неавтоклавный газобетон					
1	Ц + В + А	0,43	12,9	3	36,3
2	Ц + ВМК + В + А	0,45	13	3	36,0
3	Ц + МЗ + В + А	0,46	13,1	3	35,4
4	Ц + РШ + В + А	0,47	12,8	3	34,5
Автоклавный газобетон					
5	Ц + В + А	0,43	12,9	3	36,4
6	Ц + ВМК + В + А	0,45	13	3	36,0
7	Ц + МЗ + В + А	0,46	13,1	3	35,2
8	Ц + РШ + В + А	0,47	12,8	3	34,8

Т а б л и ц а 4

Прочность газобетона при изгибе и сжатии

Номер состава	Компоненты состава бетона	Прочность при изгибе через 1 сут, МПа		Прочность при сжатии через 1 сут, МПа				Прочность при раскалывании через 180 сут, МПа
		28	180	7	14	28	180	
Неавтоклавный газобетон								
1	Ц + В + А	0,33	0,36	2,1	2,5	2,9	3,4	0,28
2	Ц + ВМК + В + А	0,41	0,45	2,4	2,9	3,4	3,9	0,32
3	Ц + МЗ + В + А	0,4	0,43	2,1	2,7	3,1	3,7	0,31
4	Ц + РШ + В + А	0,35	0,39	2,2	2,6	3	3,5	0,29
Автоклавный газобетон								
5	Ц + В + А	0,25	0,26	1,9	2	2,1	2,2	0,21
6	Ц + ВМК + В + А	0,32	0,34	2,1	2,3	2,4	2,6	0,23
7	Ц + МЗ + В + А	0,32	0,34	2	2,1	2,2	2,5	0,23
8	Ц + РШ + В + А	0,31	0,34	2	2,1	2,2	2,5	0,23

Анализ результатов, представленных в табл. 4, подтверждает классические закономерности набора прочности для автоклавного и неавтоклавного газобетона. Так, для составов 1—4 (неавтоклавное твердение) происходит существенный рост всех видов прочности от 7 до 180 сут, а для составов 5—8 (автоклавное твердение) такой рост практически не наблюдается. Лучшие прочностные показатели были получены для состава № 2 при неавтоклавном твердении.

Также было исследовано изменение влажности газобетона по массе в возрастах 3, 7, 14, 21, 28 и 180 сут к для составов 1—4 (неавтоклавное твердение) и составов 5—8 (автоклавное твердение). Результаты по определению влажности образцов представлены в табл. 5.

Сравнение влажности образцов неавтоклавного и автоклавного газобетона позволило выявить некоторые закономерности. У автоклавного газобетона влажность от 3 до 28 сут практически не меняется, а затем уменьшается до 3...5 % и становится даже немного ниже, чем у неавтоклавного бетона. Однако в возрасте 3 сут она в 1,5 раза ниже, чем у неавтоклавного газобетона.

Это связано с условиями твердения в автоклаве и окончанием процесса гидратации портландцемента. То есть вода химически связывается в гидросиликаты кальция и другие продукты гидратации. Самая низкая влажность в возрасте 3 и 180 сут наблюдается у состава № 6 — 13,03 и 3,13 % соответственно. В этом составе используется метакаолинит.

Таблица 5

Влажность газобетона

Номер состава	Компоненты состава бетона	Влажность по массе через сут:					
		3	7	14	21	28	180
Неавтоклавный газобетон							
1	Ц + В + А	20,35	19,81	19,02	18,31	17,65	5,49
2	Ц + ВМК + В + А	20,25	18,95	18,1	17,3	16,55	3,46
3	Ц + МЗ + В + А	21,01	20,63	19,91	19,22	18,76	4,62
4	Ц + РШ + В + А	21,51	20,82	19,61	18,5	17,37	5,93
Автоклавный газобетон							
5	Ц + В + А	13,44	13,01	12,75	12,42	12,13	4,44
6	Ц + ВМК + В + А	13,03	12,92	12,79	12,52	12,36	3,13
7	Ц + МЗ + В + А	15,53	15,3	15,05	14,72	14,41	4,18
8	Ц + РШ + В + А	15,71	15,32	14,81	14,44	14,15	5,21

У газобетона неавтоклавного твердения лучшие результаты получены для образцов состава № 2, в котором содержится метакаолинит. Самая низкая влажность в возрасте 3 и 180 сут у него равна 20,25 и 3,46 % соответственно.

Таким образом, для условий Вьетнама производство неавтоклавного газобетона представляется наиболее выгодным. На основании сравнения свойств газобетона автоклавного и неавтоклавного твердения был оптимизирован состав газобетона неавтоклавного твердения. Также было установлено, что лучшие свойства имеет газобетон состава № 2 неавтоклавного твердения. Компонентами его состава являются: портландцемент М400, высокоактивный метакаолинит, вода и алюминиевая пудра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федьнин Н. И. Метод расчета состава ячеистого бетона // Строительные материалы. 1990. № 3. С. 18—20.
2. Трифонов Ю. П., Сухов В. Г. Приготовление пен и пенобетонных смесей в условиях закрытой системы // Строительные материалы. 2001. № 2. С. 6.
3. Силенков Е. С., Основский Э. В. Об учете фактора трещиностойкости при подборе состава ячеистого бетона // Строительные материалы. 1978. № 5. С. 15—17.
4. Сахаров Г. П. Комплексная оценка трещиностойкости изделий из ячеистого бетона // Бетон и железобетон. 1990. № 6. С. 39—40.
5. Сахаров Г. П., Стрельбицкий В. П., Воронин В. А. Ограждающие конструкции зданий и энергосбережение // Жилищное строительство. 1999. № 6. С. 6—9.
6. Неавтоклавный поробетон для однослойных ограждающих конструкций зданий / Г. П. Сахаров, В. П. Стрельбицкий, В. А. Воронин, Е. П. Скориков // Материалы конф. «Проблемы строительной теплофизики, систем обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях». М., 2000. С. 237—242.
7. Сахаров Г. П., Курнышев Р. А. Эффективный утеплитель из неавтоклавного поробетона для ограждающих конструкций зданий // Бетон и железобетон. 2004. № 1. С. 13—15.
8. Сахаров Г. П., Курнышев Р. А. Потенциальные возможности неавтоклавного поробетона в повышении эффективности энергосберегающих конструкций. // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. Ч. 1. № 4. С. 24—25; Ч. 2. № 5. С. 24—25.

9. *Ресин В. И., Сахаров Г. П., Стрельбицкий В. П.* О проблемах энергоэффективности ограждающих конструкций зданий // Промышленное и гражданское строительство. 1996. № 5. С. 2—4.

10. *Ilich B. R., Mitrovich A. A., Milichch L. R.* Thermal Treatment of Kaolin Clay to Obtain Metakaolin // Chem. ind. 2010. № 64 (4). P. 351—356.

11. *Sabir B. B., Wild S., Bai J.* Metakaolin calcined clay as pozzolan for concrete : a review // J of Cement and Concrete Composites. 2001. № 23. P. 441—454.

12. *Somi S.* Humidity Intrusion Effects on Properties of Autoclaved Aerated Concrete Submitted to the Institute of Graduate Studies and Research in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science in Civil Engineering. Eastern Mediterranean University, Gazimağusa, North Cyprus, 2011.

13. Опыт применения высокопрочных модифицированных бетонов на объектах ЗАО «Моспромстрой» / Р. К. Житкевич, Л. Л. Лазопуло, А. В. Шейнфельд, А. Г. Ферджулян, О. В. Пригоженко // Бетон и железобетон. 2005. № 2. С. 2—8.

14. Влияние органоминерального модификатора МБ-50С на структуру и деформативность цементного камня и высокопрочного бетона / С. С. Каприелов, Н. И. Карпенко, А. В. Шейнфельд, Е. Н. Кузнецов // Бетон и железобетон. 2003. № 3. С. 2—7.

15. О регулировании модуля упругости и ползучести высокопрочных бетонов с модификатором МБ-50С / С. С. Каприелов, А. В. Шейнфельд, Н. И. Карпенко, Е. Н. Кузнецов // Бетон и железобетон. 2003. № 6. С. 8—12.

16. *Кардумян Г. С., Каприелов С. С.* Новый органоминеральный модификатор серии «МБ»-эмблит для производства высококачественных бетонов // Строительные материалы. 2005. № 8. С. 12—15.

17. Модифицированные высокопрочные мелкозернистые бетоны с улучшенными деформационными характеристиками / С. С. Каприелов, А. В. Шейнфельд, Г. С. Кардумян, В. Г. Дондуков // Бетон и железобетон. 2006. № 2. С. 2—6.

18. *Мазырин В. М.* Вьетнамская экономика сегодня. М., 2013. 384 с.

1. *Fedyinin N. I.* Metod rascheta sostava yacheistogo betona // Stroitel'nye materialy. 1990. № 3. S. 18—20.

2. *Trifonov Yu. P., Sukhov V. G.* Prigotovlenie pen i penobetonnykh smesey v usloviyakh zakrytoy sistemy // Stroitel'nye materialy. 2001. № 2. S. 6.

3. *Silenkov E. S., Osnovskiy E. V.* Ob uchete faktora treshchinostoykosti pri podbore sostava yacheistogo betona // Stroitel'nye materialy. 1978. № 5. S. 15—17.

4. *Sakharov G. P.* Kompleksnaya otsenka treshchinostoykosti izdeliy iz yacheistogo betona // Beton i zhelezobeton. 1990. № 6. S. 39—40.

5. *Sakharov G. P., Strel'bitskiy V.P., Voronin V.A.* Ograzhdayushchie konstruksii zdaniy i energosberezhenie // Zhilishchnoe stroitel'stvo. 1999. № 6. S. 6—9.

6. Neavtoklavnyy porobeton dlya odnosloynnykh ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy / G. P. Sakharov, V. P. Strel'bitskiy, V. A. Voronin, E. P. Skorikov // Materialy konf. «Problemy stroitel'noy teplofiziki, sistem obespecheniya mikroklimata i energosberezheniya v zdaniyakh». M., 2000. S. 237—242.

7. *Sakharov G. P., Kurnyshev R. A.* Effektivnyy uteplitel' iz nevtoklavnogo porobetona dlya ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy // Beton i zhelezobeton. 2004. № 1. S. 13—15.

8. *Sakharov G. P., Kurnyshev R. A.* Potentsial'nye vozmozhnosti neavtoklavnogo porobetona v povyshenii effektivnosti energosberegayushchikh konstruksiy. // Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka. 2005. Ch. 1. № 4. S. 24—25; Ch. 2. № 5. S. 24—25.

9. *Resin V. I., Sakharov G. P., Strel'bitskiy V. P.* O problemakh energoeffektivnosti ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 1996. № 5. S. 2—4.

10. *Ilich B. R., Mitrovich A. A., Milichch L. R.* Thermal Treatment of Kaolin Clay to Obtain Metakaolin // Shem. ind. 2010. № 64 (4). P. 351—356.

11. *Sabir B. B., Wild S., Bai J.* Metakaolin calcined clay as pozzolan for concrete : a review // J of Cement and Concrete Composites. 2001. № 23. P. 441—454.

12. *Somi S.* Humidity Intrusion Effects on Properties of Autoclaved Aerated Concrete Submitted to the Institute of Graduate Studies and Research in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science in Civil Engineering. Eastern Mediterranean University, Gazimağusa, North Cyprus, 2011.

13. Опыт применения высокопрочных модифицированных бетонов на объектах ЗАО «Моспромстрой» / Р. К. Житкевич, Л. Л. Лазопуло, А. В. Шейнфельд, А. Г. Ферджулян, О. В. Пригоженко // Бетон и железобетон. 2005. № 2. С. 2—8.

14. Vliyanie organomineral'nogo modifikatora MB-50S na strukturu i deformativnost' tsementnogo kamnya i vysokoprochnogo betona / S. S. Kapriellov, N. I. Karpenko, A. V. Sheynfel'd, E. N. Kuznetsov // Beton i zhelezobeton. 2003. № 3. S. 2—7.
15. O regulirovaniy modulya uprugosti i polzuchesti vysokoprochnykh betonov s modifikatorom MB-50S / S. S. Kapriellov, A. V. Sheynfel'd, N. I. Karpenko, E. N. Kuznetsov // Beton i zhelezobeton. 2003. № 6. S. 8—12.
16. Kardumyan G. S., Kapriellov S. S. Novyy organomineral'nyy modifikator serii «MB»-embelit dlya proizvodstva vysokokachestvennykh betonov // Stroitel'nye materialy. 2005. № 8. S. 12—15.
17. Modifitsirovannyye vysokoprochnyye melkozernistyie betony s uluchshennymi deformatsionnymi kharakteristikami / S. S. Kapriellov, A. V. Sheynfel'd, G. S. Kardumyan, V. G. Dondukov // Beton i zhelezobeton. 2006. № 2. S. 2—6.
18. Mazyrin V. M. V'etnamskaya ekonomika segodnya. M., 2013. 384 s.

© Нгуен Тхань Туан, Орешкин Д. В., 2014

*Поступила в редакцию
в марте 2014 г.*

Ссылка для цитирования:

Нгуен Тхань Туан, Орешкин Д. В. Подбор и оптимизация состава неавтоклавного газобетона для условий Вьетнама // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2014. Вып. 2(33). Ст. 5. Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

For citation:

*Nguen Tkhan' Tuan, Oreshkin D. V. [Selection and optimization of composition of non-autoclaved aerated concrete mixture for conditions in Vietnam]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2014, no. 2(33), paper 5. (In Russ.). Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>*