

УДК 666.943

Рахимов Р.З. – доктор технических наук, профессор

Рахимова Н.Р. – доктор технических наук, доцент

Фатыхов Г.А. – аспирант

E-mail: abdul0686@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

К КОМПЛЕКСНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ШЛАКОВ И БЕТОННОГО ЛОМА В ПРОИЗВОДСТВЕ ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ ВЯЖУЩИХ

АННОТАЦИЯ

В статье приведены результаты экспериментальных исследований влияния добавок молотого портландцементного камня – компонента бетонного лома – на свойства теста и камня композиционного шлакощелочного вяжущего. Выявлена эффективность введения добавок молотого портландцементного камня от 2,5 до 10 % при получении композиционного шлакощелочного вяжущего, заключающаяся в повышении прочности камня на его основе от 17,2 до 86 % в зависимости от условий твердения портландцементного камня и сроков твердения камня композиционного шлакощелочного вяжущего.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: композиционное шлакощелочное вяжущее, бетонный лом.

Rakhimov R.Z. – doctor of technical sciences, professor

Rakhimova N.R. – doctor of technical sciences, associate professor

Fatykhov G.A. – post-graduate student

Kazan State University of Architecture and Engineering

TO THE COMPLEX USE OF SLAGS AND CONCRETE WASTE IN PRODUCTION OF SLAG-ALKALINE BINDINGS

ABSTRACT

The results of experimental studies of the effect of additives of ground portland stone – a component of concrete scrap on the properties of tests and stone composite slag-alkaline binder are given in the article. The effective introduction of additives ground Portland stone from 2,5 to 10 % upon receipt of the composite slag-alkaline binder is to increase the strength of stone at its base from 17,2 to 86 % depending on the conditions of hardening of Portland stone and the timing of hardening stone composite slag-alkaline binder.

KEYWORDS: composite slag-alkaline binding, concrete waste.

Современные проблемы обеспечения дальнейшего устойчивого развития земной цивилизации, в том числе и строительной индустрии, связаны с решением задач сбережения природных сырьевых ресурсов, энергосбережения и охраны окружающей среды. Решение этих задач в строительной отрасли во многом зависит от уровня разработок научных основ и технологических решений эффективного использования отходов различных отраслей промышленности взамен природного минерального сырья в производстве строительных материалов [1]. Одним из наиболее многотоннажных отходов промышленности являются металлургические шлаки, применение которых в производстве шлаковых вяжущих и изделий на их основе подтверждено результатами научных исследований и опыта применения и эксплуатации [2, 3]. Наибольший интерес в решении упомянутых выше проблем представляет комплексное использование при производстве шлаковых вяжущих шлаков и других отходов промышленности, в том числе – строительной индустрии. Ранее нами была показана эффективность использования в сочетании со шлаком молотого боя керамического кирпича [4].

Одной из многотоннажных разновидностей отходов строительной отрасли являются отходы бетонного лома, образующегося при разборке зданий, которых в настоящее время в нашей стране накопилось более 40 млн. т, а ежегодное его образование в ближайшие годы достигнет 15-17 млн. т [5]. Производство бетонных и железобетонных изделий в мире достигло 3 млрд. куб. м [6], и проблема их рециклинга как в виде изделий и продуктов их дробления – одна из актуальных мировых проблем.

В настоящее время часть бетонного лома после дробления используется в качестве заполнителей для бетонов и для отсыпки оснований при строительстве дорог, часть вывозится в отвалы или зарывается в землю. К настоящему времени известны зарубежные и отечественные нормативные документы (RILEM, НИИЖБа, ВНИИСтромсырье [7, 8]), в которых содержатся требования к щебню для бетонов, полученному при дроблении бетонного лома.

При дроблении бетонного лома образуется до 50 % объема отсева мелких фракций, содержащих большое количество пылевидных частиц и мельчайших остатков цементного камня. Отсев состоит из аморфной и кристаллической фаз в соотношении (50-60 %):(40-50 %) и включает в себя минералы: кварц, полевые шпаты, кальцит, доломит, портландит, этtringит, гидросиликаты кальция и минералы негидратированных остатков цементного клинкера [9]. Естественно, что минеральный состав и соотношение кристаллической и аморфной фаз и минералов отсева дробления бетонного лома отличаются в зависимости от состава и степени гидратации цемента, вида заполнителей и минеральных добавок. Вместе с тем, любой состав бетонного лома после его помола позволяет получить полиминеральную массу, которая может представлять интерес в качестве вяжущего, способного к самостоятельному твердению, как добавка в сырьевую смесь при производстве цементного клинкера и как минеральная добавка при получении композиционных вяжущих. Перспективным является использование молотых продуктов бетонного лома и в качестве наполнителей при получении композиционных вяжущих веществ и строительных материалов на основе таких вяжущих. Актуальность этого направления отвечает современным тенденциям преимущественного развития исследований, разработок и производства композиционных вяжущих веществ. Разработка научных и технологических основ получения и эффективного использования молотого бетонного лома в качестве наполнителей и минеральных добавок является целесообразной в рамках отдельного научного направления. Это связано с широким многообразием разновидностей бетонов и с многофакторностью проблемы изучения влияния на их свойства, закономерностей гидратации, структурообразования и твердения портландцементов с различным минералогическим составом и различными минеральными и химическими добавками, других разновидностей минеральных вяжущих, добавок молотого бетонного лома из бетона с различными свойствами, различными плотными и пористыми заполнителями на основе различных вяжущих веществ и с различными химическими добавками.

Известно значительное количество исследований по использованию в качестве минеральных добавок молотого боя различных видов бетонов с гранитным, карбонатным и керамзитовым заполнителем [10-16]. Исследования влияния добавок молотого боя бетона определенного состава, режима укладки и твердения, условий и продолжительности и эксплуатации на свойства вяжущих и бетонов имеют, однако, частную значимость, так как по их результатам не представляется возможным прогнозировать влияния на свойства вяжущих и бетонов молотого боя бетонов других составов, режимов укладки и твердения, условий и продолжительности эксплуатации. Это осложняется и тем, что в отдельных работах, посвященных исследованию эффективности введения в состав вяжущих и бетонов добавок тонкодисперсных фракций бетонного лома, не указываются состав и предыстория бетона.

Влияние добавки тонкодисперсного бетонного лома на свойства вяжущих и бетонов зависит от его минерального состава, степени гидратации и структуры цементного камня, содержания аморфной и кристаллической фаз, которые являются индивидуальными для каждого вида бетона в зависимости от их состава, режимов уплотнения и твердения, условий и продолжительности эксплуатации и хранения. Прогнозирование влияния тонкодисперсных добавок бетонного боя на свойства вяжущих и бетонов с учетом этих факторов должно базироваться на результатах систематических исследований влияния на них на первом этапе раздельно состава, структуры, дисперсности и содержания молотых камня бездобавочного вяжущего различного минерального состава и степени гидратации, искусственных и природных заполнителей различного минерального состава, структуры и свойств.

На основе результатов первого этапа таких исследований становится возможным упомянутое прогнозирование на принципе учета аддитивного вклада компонентов добавки тонкодисперсного боя бетонов на свойства вяжущих и бетонов. Полученные при этом закономерности целесообразно уточнять проведением на последующих этапах отдельных исследований совместного влияния на свойства вяжущих и бетонов добавок тонкодисперсной растворной части бетонов и бетонов в целом с различным соотношением компонентов с учетом возможного их синергетического влияния.

Особенностью шлакощелочных вяжущих (ШЩВ), по сравнению с клинкерными, является присутствие в их составах щелочных элементов первой группы периодической

системы Д.И. Менделеева или смеси щелочных и щелочноземельных оксидов, имеющих несравненно большую растворимость, чем клинкерные минералы, и способных создавать в водных растворах щелочную среду с достаточно высоким значением рН среды, что обеспечивает гидратацию обычно устойчивых к гидролитической деструкции силикатных, алюминатных и алюмосиликатных фаз вяжущего. Данная особенность обеспечивает возможность использования тонкодисперсных продуктов измельчения бетонов в качестве эффективной полиминеральной добавки при производстве шлакощелочных вяжущих.

В настоящей работе представлены результаты исследований влияния на свойства теста и камня ШЩВ добавок молотого цементного камня – одного из компонентов бетонного лома.

В качестве основного компонента для получения композиционного шлакощелочного вяжущего (КШЩВ) использован доменный шлак Челябинского металлургического комбината.

Химический состав шлака в % на абсолютно сухую навеску: SiO_2 – 36,51-37,49; Al_2O_3 – 11,58-12,50; CaO – 34,6-36,22; MgO – 8,61-9,12; Na_2O – 0,53-0,64; K_2O – 0,75-0,95; TiO_2 – 1,1-1,8; Fe_2O_3 – 0,09-0,16; MnO – 0,50-0,61; P_2O_5 < 0,01; SO_3 – 1,82-0,914; Ма – 0,309-0,342.

В соответствии с требованиями нормативных документов по химическому составу и коэффициенту качества шлак относится к 3-му сорту. Насыпная и истинная плотность шлака равна соответственно: 1200-1300 кг/м³ и 2900-3000 кг/м³. Шлак подвергали совместному помолу до дисперсности 300-320 м²/г в соответствии с нормативными документами НИИЖБ на шлакощелочные вяжущие.

В качестве второго компонента КШЩВ использовался молотый портландцементный камень (МПЦК), изготовленный из теста нормальной плотности на основе бездобавочного цемента ПЦ500ДО Ульяновского цементного завода, твердевший в течение 28 суток в нормально-влажностных условиях (НВУ) и подвергнутый тепловлажностной обработке (ТВО) по режиму 4+3+6+3 часов при температуре изотермического прогрева $95 \pm 5^\circ\text{C}$.

Добавки МПЦК приводят к резкому сокращению сроков схватывания ШЩВ, а при содержании МПЦК более 10 % получение теста КШЩВ не представляется возможным из-за быстрого схватывания. В связи с этим КШЩВ получали введением в их состав замедлителя схватывания – буры в количестве 4 % по массе от молотого шлака.

Исследования влияния тонкости помола добавки ПЦК на свойства теста и камня КШЩВ показали, что комплекс наиболее высоких показателей его достигается при удельной поверхности МПЦК 400 м²/кг. В связи с этим при дальнейших исследованиях применялся МПЦК с такой дисперсностью.

Для затворения КШЩВ применялся раствор жидкого стекла ($M_c=1,5$; $c=1,3$ г/см³).

Для получения раствора использовалось жидкое стекло, соответствующее требованиям ГОСТ 13078-81 «Стекло жидкое натриевое».

Исходные материалы предварительно высушивались в лабораторном сушильном шкафу до остаточной влажности не более 1 %. Компоненты вяжущих размалывались отдельно в лабораторной планетарной мельнице МПЛ-1. Определение удельной поверхности и молотых материалов производилось на приборе ПСХ-9.

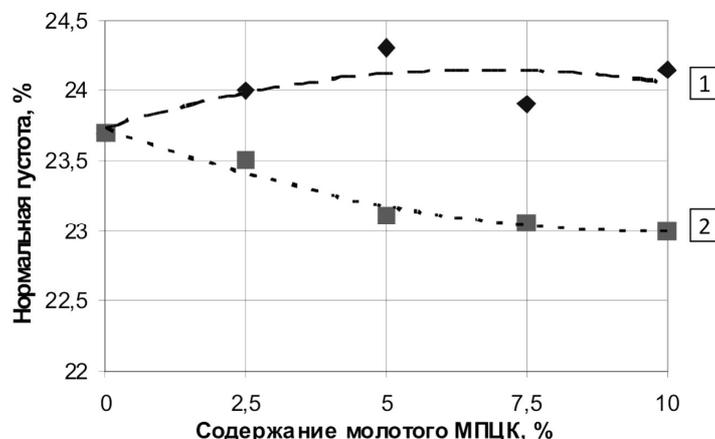


Рис. 1. Влияние содержания добавок МПЦК на нормальную плотность КШЩВ:
1 – ПЦК нормально-влажностного твердения, 2 – ПЦК тепловлажностной обработки

Для исследований свойств камня ШЩВ без и с добавками молотого ПЦК изготавливались и испытывались на прочность при сжатии из теста нормальной плотности образцы размером 20х20х20 мм.

На рис. 1 приведены результаты исследований изменения нормальной плотности теста КШЩВ в зависимости от содержания добавок МПЦК.

Анализ приведенных на рис. 1 данных исследований показывает, что добавки МПЦК до 10 % по массе приводят к незначительному изменению нормальной плотности ШЩВ. Нормальная плотность ШЩВ, по сравнению с бездобавочным составом ШЩВ, меняется соответственно при введении 10 % добавки: МПЦК, твердевшего в НВУ с 23,7 % до 23,1 %, а твердевшего при ТВО с 23,7 % до 24,1 %.

На рис. 2 приведены результаты исследований влияния содержания добавок МПЦК нормально-влажностного твердения и подвергнутого ТВО на прочность КШЩВ после 28 суток твердения при НВУ. Приведенные на рис. 2 результаты исследований показывают, что добавки МПЦК повышают прочность ШЩВ с увеличением их содержания от 2,5 % до 10 % независимо от условий твердения ПЦК.

Увеличение прочности КШЩВ происходит при содержании 7,5-10 % МПЦК, твердевшего в НВУ до 20 %, а твердевшие при ТВО до 30 %.

На рис. 3 приведены результаты исследований влияния добавок МПЦК на свойства камня КШЩВ, подвергнутого ТВО.

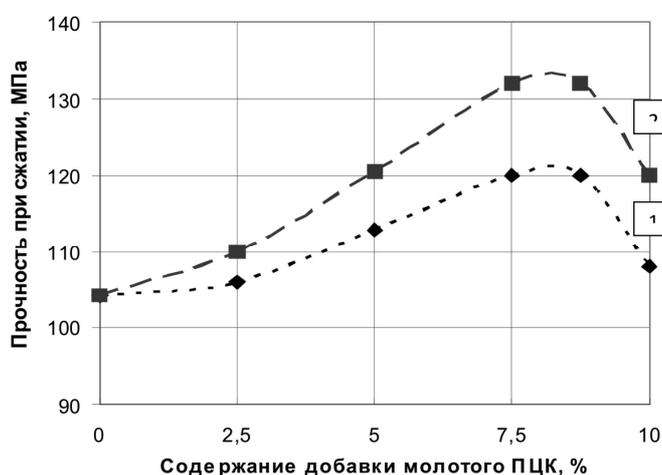


Рис. 2. Влияние содержания МПЦК на прочность при сжатии камня КШЩВ нормально-влажностного твердения: 1 – ПЦК нормально-влажностного твердения, 2 – ПЦК тепловлажностной обработки

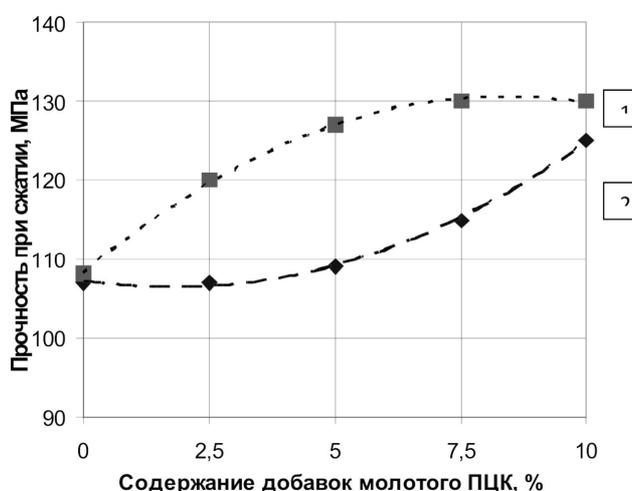


Рис. 3. Влияние на свойства камня ШЩВ тепловлажностной обработки содержания добавок молотого ПЦК: 1 – ПЦК нормально-влажностного твердения; 2 – ПЦК тепловлажностной обработки

Анализ приведенных на рис. 3 данных показывает, что введение МПЦК независимо от условий его твердения приводит к повышению прочности камня КШЩВ, при его тепловлажностной обработке. Прочности камня КШЩВ примерно равны при твердении в НВУ и при ТВО, при содержании 10 % добавки молотого МПЦК соответствующих условий твердения. Однако, влияние низкого содержания добавок молотого ПЦК от 2,5 до 5 % более значительно отражается на повышении прочности камня КШЩВ при его тепловлажностной обработке. Так, при 2,5 % добавки молотого ПЦК тепловлажностного твердения прочность камня КШЩВ при ТВО составляет 120,0 МПа, а при НВУ – 110,0 МПа.

Исследования кинетики твердения камня КШЩВ в зависимости от содержания МПЦК показали, что прочность при сжатии камня 28-суточного нормально-влажностного твердения КШЩВ, по сравнению с прочностью камня бездобавочного ШЩВ, повышается со 104,3 МПа при введении 10 % молотого ПЦК, твердевшего при НВУ и ТВО соответственно, до 123,2 МПа и 130,0 МПа, наиболее значительное увеличение прочности камня КШЩВ с добавками МПЦК, по сравнению с прочностью камня бездобавочного ШЩВ, наблюдается в ранние сроки твердения. Так, при твердении в течение первых двух суток прочность камня КШЩВ выше прочности камня бездобавочного ШЩВ на 35,8 % и 46,1 % при введении 10 % молотого ПЦК, твердевшего соответственно при НВУ и ТВО.

Полученные результаты исследований позволяют сделать следующие **выводы**:

1. Выявлена эффективность введения добавок от 2,5 до 10 % компонента бетонного лома – молотого портландцементного камня при получении композиционного шлакощелочного вяжущего.
2. Введение добавок молотого цементного камня до 10 % повышает прочность со 104,3-107,1 МПа до 120,3-132 МПа камня шлакощелочного вяжущего, твердеющего в различных условиях на величину от 17,2 до 30 % в зависимости от условий твердения портландцементного камня.
3. Наибольшее увеличение прочности композиционного шлакощелочного вяжущего с добавками молотого портландцементного камня, по сравнению с бездобавочным шлакощелочным вяжущим, происходит в начальные сроки твердения: в 2-хсуточном возрасте в зависимости от содержания добавки от 20 до 86 %.
4. При введении до 10 % добавок молотого портландцементного камня, у камня композиционного шлакощелочного: средняя плотность уменьшается на 4,3-5,3 %, водопоглощение увеличивается на 7,7-8,2 %, нормальная густота теста меняется от 23,7 до 23,2-24,2 % в зависимости от условий твердения портландцементного камня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рахимов Р.З., Магдеев У.Х., Ярмаковский В.Н. Экология, научные достижения и инновации в производстве строительных материалов на основе и с применением техногенного сырья. // *Материалы межд. конгресса «Наука и инновации в строительстве SIB-2008»*. Современные проблемы строительного материаловедения и технологии, 2008. – С. 441-448.
2. Шлакощелочные и щелочно-щелочноземельные гидравлические вяжущие и бетоны / Под ред. Глуховского В.Д. – Киев: Вища школа, 1979. – 232 с.
3. Рахимова Н.Р. Состояние и перспективные направления развития исследований и производства композиционных шлакощелочных вяжущих, растворов и бетонов // *Строительные материалы*, 2008, № 9. – С. 77-80.
4. Рахимова Н.Р., Рахимов Р.З. Использование доменных шлаков и боя керамического кирпича в производстве шлакощелочных вяжущих // *Экология и промышленность России*, 2008, № 4. – С. 10-12.
5. Рахимов Р.З., Хабибуллина Н.Р. Достижения, проблемы и перспективные направления развития исследований производства шлакощелочных вяжущих и бетонов // *Сб. докл. X Академических чтений РААСН «Достижения, проблемы и направления развития теории и практики строительного материаловедения»*. – Пенза-Казань, 2006. – С. 57-59.
6. Арсентьев В.А., Мартандян В.В., Добромислов Д.Д. Современные технологические линии для строительного рециклинга // *Строительные материалы*, 2006, № 8. – С. 64-66.
7. Михайлов А.В., Волков Ю.С. Сборный железобетон. История и перспективы // *Строительные материалы*, 2006, № 1. – С. 7-9.
8. ТУ 5711-006-00283227-96.
9. ТУ 5711-007-00283227-96.

10. Головин Н.Г., Алимов Л.А., Воронин В.В. Использование отсевов дробления бетонного лома // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, 2005, № 9. – С. 26-27.
11. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.Н. Модифицированные высококачественные бетоны. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 368 с.
12. Недавний О.И., Петров Г.Г., Герасимов А.В. Использование молотого некондиционного и демонтируемого керамзитобетона в качестве вяжущего // Известия вузов. Строительство, 1999, № 12. – С. 43-44.
13. Assal H.H. Utilisation of demolished in building materials // Silicat. Ind., 2002, № 9-10. – P. 115-120.
14. Mobius A., Lander S., Muller A. Ezhartung von zementen min Zusatzen aus gemahlenem Betonabbrunch. Ausbereit Techn., 1999, № 3. – P. 102-104, 106-109.
15. Mymrin M., Correa S.H. New construction material from concrete production and demolition wastes and lime production waste // Construction and Building materials, 2007, № 3. – P. 578-582.
16. Mobius A., Muller A. Untersuchungen zur Nutzung von zementgebundenem Recyclingmaterial als Primar unnd Sekundarbindemittel. – Ibausil: 14 International Baustofftagung. – Weimar. – 20-23 Sept., 2000. – P. 2/0351-0360.
17. Hu Shu-guang, He Yong-jia. Influence of the recycled building materials on the hydration of Portland cement. – Wuhanligong daxue xuebao, 2006, № 10. – P. 4-7.

REFERENCES

1. Rakhimov R.Z., Magdeev U.H., Yarmakovskiy V.N. Ecology, scientific achievements and innovations in the production of building materials based on and using of technogenic materials. // Proceedings of the International Congress «Science and innovation in the construction of SIB-2008», Current problems in building materials and technologies, 2008. – P. 441-448.
2. Slag-alkaline and alkali-alkaline earth hydraulic binders and concretes, Ed. Glukhovskiy V.D. – Kiev: Highest School, 1979. – 232.
3. Rakhimova N.R. State and future directions of research and production of composite slag-alkaline binders, mortars and concrete // Building Materials, 2008, № 9. – P. 77-80.
4. Rakhimova N.R., Rakhimov R.Z. The use of blast-furnace slag, and the battle in the manufacture of ceramic bricks slag-alkaline binding // Ecology and industry of Russia, 2008, № 4. – P. 10-12.
5. Rakhimov R.Z., Rakhimov R.Z. Achievements, problems and perspective directions of research production slag-alkaline binders and concretes. Collection of reports of the 10th Academic Readings RAASN «Achievements, problems and directions of development theory and practice of building materials». – Penza – Kazan, 2006. – P. 57-59.
6. Arsentyev V.A., Martandyan V.V., Dobromyslov D.D. Modern technological lines for recycling of construction // Building Materials, 2006, № 8. – P. 64-66.
7. Mikhailov A.V., Volkov Yu.S. Precast concrete. History and Prospects // Building Materials, 2006, № 1. – P. 7-9.
8. TU 5711-006-00283227-96.
9. TU 5711-007-00283227-96.
10. Golovin N.G., Alimov L.A., Voronin V.V. Use of screenings of crushing concrete scrap // Building Materials, Equipment, Technologies of the XXI century, 2005, № 9. – P. 26-27.
11. Bazhenov Yu.M., Demyanova V.S., Kalashnikov V.N. Modified high-quality concrete. – Moscow: Publishing House of the ASV, 2006. – 368 p.
12. Nedavnny O.I., Petrov G.G., Gerasimov A.V. Using a ground unconditioned and dismantled expanded-clay concrete gravel as a binder // News of higher educational institutions. Building, 1999, № 12. – P. 43-44.
13. Assal H.H. Utilisation of demolished in building materials // Silicat. Ind., 2002, № 9-10. – P. 115-120.
14. Mobius A., Lander S., Muller A. Ezhartung von zementen min Zusatzen aus gemahlenem Betonabbrunch. Ausbereit Techn., 1999, № 3. – P. 102-104, 106-109.
15. Mymrin M., Correa S.H. New construction material from concrete production and demolition wastes and lime production waste // Construction and Building materials, 2007, № 3. – P. 578-582.
16. Mobius A., Muller A. Untersuchungen zur Nutzung von zementgebundenem Recyclingmaterial als Primar unnd Sekundarbindemittel. – Ibausil: 14 International Baustofftagung. – Weimar. – 20-23 Sept., 2000. – P. 2/0351-0360.
17. Hu Shu-guang, He Yong-jia. Influence of the recycled building materials on the hydration of Portland cement. – Wuhanligong daxue xuebao, 2006, № 10. – P. 4-7.