

ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СТРУКТУРЫ ДИФФУЗИОННОГО СЛОЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ВЯЖУЩИХ

©С.-А. Ю. Муртазаев^{1,2}, М. Ш. Саламанова^{1,2}, М. М-Я Зайпуллаев¹, П. А. Кокшев³

¹ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

²КНИИ РАН им. Х. И. Ибрагимова, Грозный, Россия

³ЧГУ им. И. Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

В работе установлена топологическая модель многокомпонентных наполненных вяжущих систем с использованием минеральных порошков, дающая возможность управлять процессами структурообразования и регулировать конкретный спектр свойств. Модель формирования структуры на основе кремнеземистых минеральных порошков в сочетании с гидратной известью можно выделить как наиболее подходящую для описания модели структурообразования бесклинкерных композитов, с использованием тонкодисперсных минеральных порошков из вторичного и некондиционного сырья, активированных щелочными растворами натрия или калия. Образующие новообразования в диффузионном межфазовом слое представлены гелем кремниевой кислоты, гидросиликатами натрия или калия, гидроалюмосиликатами и гидрогранатами натрия и кальция, кальцитом и являются аналогами природных довольно прочных и долговечных минералов, как щелочных и щелочноземельных цеолитов, слюды, гидрослюды.

Ключевые слова: бесклинкерные вяжущие, многокомпонентная система, известково-кремнеземистые вяжущие, диффузионный слой, поровое пространство, контактная зона, активатор, минеральный порошок

Негативное воздействие карбонатной технологии портландцемента активизирует поиск альтернативных бесклинкерных вяжущих. Одной из разновидностей этой группы являются щелочные цементы на основе щелочеактивированного сырья алюмосиликатной природы, что открывает большие возможности для получения многокомпонентных систем. Многокомпонентные щелочные вяжущие системы с использованием активных минеральных добавок изучены недостаточно и требуют тщательного исследования формирования структуры на микро- и макроуровнях. Процессы, протекающие при гидратации в диффузионной контактной зоне, идентичны во многом с аналогичными процессами с известными композиционными вяжущими веществами [2, 3].

Многочисленные исследования подтверждают [1-5], что минеральные добавки в тонкодисперсном состоянии в той или иной степени реагируют с составляющими вяжущих, и в зонах диффузионного межфазового взаимодействия образуются новообразования с связу-

ющими свойствами. Механизм этого взаимодействия можно представить как наполненные цементные системы, а процесс формирования структуры имеет следующую модель:

клинкер + вода → кристаллогидраты клинкера

клинкер + вода + минеральный порошок
→ кристаллогидраты минеральной добавки.

Исключением в данном случае является механизм гидратации гипсовых вяжущих в присутствии минерального порошка, продуктами этой реакции будут кристаллы двуводрата сульфата кальция, минеральная добавка играет роль наполнителя, заполняющего поровое пространство и улучшающего структуру и свойства камня [6, 7, 10].

Морфология образованных соединений и строение диффузионной межфазовой зоны и пограничного слоя минерального порошка будет зависеть, конечно же, от многих факторов, и в первую очередь от самого вяжущего, степени дисперсности его и минерального порошка, природы наполнителя системы. Модель меж-

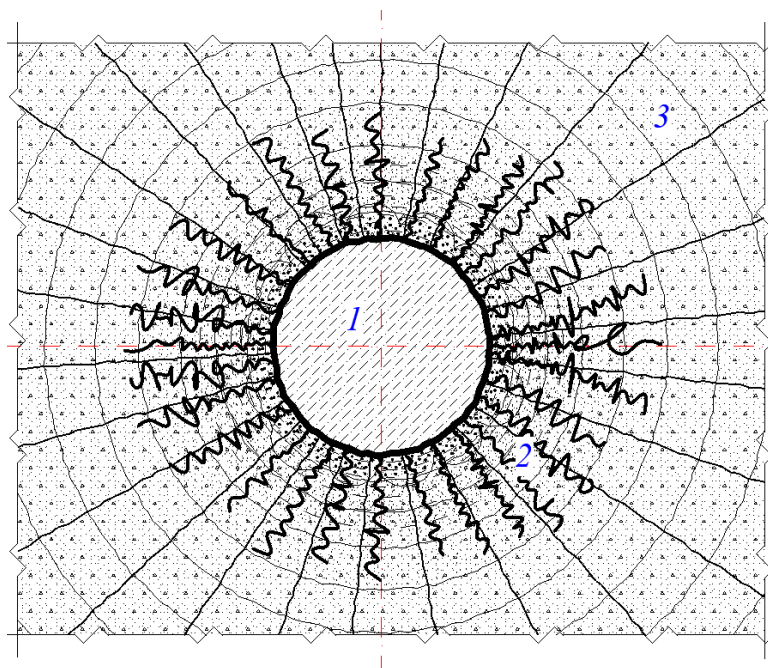


Рис. 1. Модель межфазовой диффузионной зоны в пограничном слое известково-кремнеземистых соединений:

1 – частицы кварцевой муки; 2 – пограничный слой в виде геля $\text{SH}+\text{CSH}$; 3 – объемная фаза извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$,

фазовой зоны в пограничном слое известково-кремнеземистых соединений представлена на рисунке 1.

Модель структуры диффузионной пограничной зоны известково-кремнеземистой композиции довольно изменчива, так как необходимо учитывать многие факторы, такие как твердость минерала, тонкость помола, продолжительность и условия твердения. Если в качестве минерального кремнеземистого порошка плотные породы, то толщина межфазовой зоны зависит от удельной поверхности добавки, так как это повысит растворимость кремнезема, особенное влияние оказывает повышение температуры, да еще в сочетании с давлением насыщенного водяного пара. Гидротермальная обработка способствует увеличению межфазовой зоны и образованию новообразований в пограничном слое типа гидросиликатов низкой основности CSH низкой основности. Необходимо отметить известково-кремнеземистые композиции на минеральных порошках пористой текстуры и аморфной силикатной природы, такие породы, как диатомит, трепел, опока. Модель структурообразования в пограничном слое будет существенно отличаться от преды-

дущей, поровое пространство частиц порошка будет наполнено тоберморитподобными новообразованиями, образованными при химическом взаимодействии кремнезема и гидроксиды кальция.

В многокомпонентных системах (МНС) минеральные добавки – порошки выполняют многофункциональную роль, и в зависимости от многих факторов можно выделить следующее:

- минеральный порошок – наполнитель является заполнителем цементного камня (микробетон) по В. Н. Юнгу [8];
- минеральный порошок – наполнитель вступает в химическое взаимодействие с образованием новых соединений, является хорошим модификатором

структуры, улучшает свойства многокомпонентной системы [11-14];

- минеральный порошок – наполнитель является кристаллической затравкой вяжущего, используемой при совместном помоле с цементом, активным центром кристаллизации [15].

Установлена модель МНС с минеральным порошком – наполнителем, не вступающим в реакцию с клинкерными минералами, можно наблюдать значительную разницу в размерах частиц минерального порошка и зерен портландцемента (рисунок 2).

Топологическая модель многокомпонентной наполненной вяжущей системы, где функции минерального порошка может выполнять добавка с полидисперсным составом, приведена на рисунке 3.

В предлагаемой модели диффузионная межфазовая зона, состоящая из гидратированной клинкерной и минеральной наполненной части, представлена труднорастворимыми гидратными соединениями различной конфигурации, присутствует некоторое количество микропор разного строения. В зависимости от природы минерального порошка и активности,

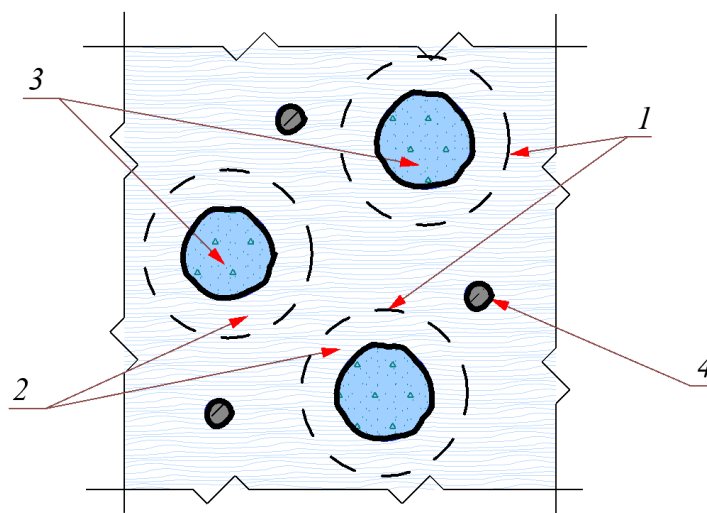


Рис. 2. Модель МНС: 1 – зерна клинкерных минералов; 2 – прореагировавшая межфазная зона; 3 – непрореагировавшая межфазная зона; 4 – частички минерального порошка, не вступающие в реакцию с клинкерными минералами

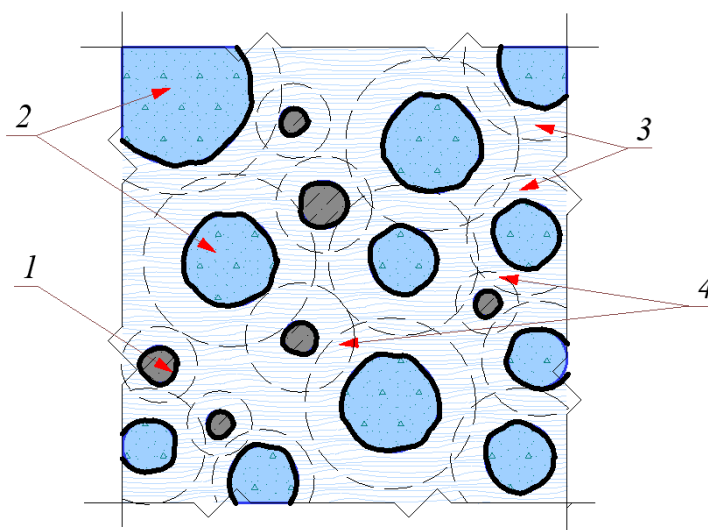


Рис. 3. Модель многокомпонентной вяжущей системы с полидисперсным порошком: 1, 2 – негидратированные части зерен клинкерных минералов и порошка; 3 – гидратированная часть зерна клинкерных минералов; 4 – межфазовая зона вяжущего и наполнителя

состав межфазовой контактной зоны будет отличаться. Присутствие минерального порошка на основе кальциево-магниевого карбонатных пород (известняк, мел, известняк-ракушечник, магнезит, доломит) при гидратации с клинкерными минералами позволит получать такие прочные соединения, как гидрокарбона-

ты кальция $\text{CaO} \cdot \text{CaCO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ и магния $\text{MgO} \cdot \text{CaCO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Использование минеральных тонкодисперсных порошков алюмосиликатной природы позволит получать гидрокарбоалюмосиликаты $\text{CaO} \cdot \text{CaCO}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgO} \cdot \text{CaCO}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, гидрокарбоалюминаты $\text{CaO} \cdot \text{CaCO}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgO} \cdot \text{Ca}$

$\text{CO}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ и гидрокарбоферритами $\text{CaO} \cdot \text{CaCO}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgO} \cdot \text{CaCO}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ кальция и магния [16, 17].

Минеральные ультрадисперсные реакционноспособные порошки с размером микро-частиц $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-9}$ м практически полностью вступают в химические реакции с составляющими портландцемента, образуя дополнительные порции низкоосновных тоберморитподобных гидросиликатов кальция и других труднорастворимых новообразований (рисунок 4).

Ультрадисперсные частицы минеральных порошков в силу наличия активных центров кристаллизации на своей поверхности усиливают адгезионную прочность между частицами, повышают прочностные характеристики и трещиностойкость, препятствуют усадочным деформациям.

Исследование контактной диффузионной межфазовой зоны является довольно ответственным процессом, так как именно это звено

в наполненных композициях определяет адгезионную прочность и прочность системы в целом. Особенного внимания заслуживает такое свойство зоны диффузионного контакта – твердость на микроскопическом уровне.

В работе [16] установлено, что прочность многокомпонентных цементных систем зависит от твердости диффузионного пограничного слоя. Проведенные исследования пограничной диффузионной зоны показали, что твердость на микроуровне на границе с такими порообразующими минералами, как кварц, кальцит, полевой шпат, плагиоклаз и др., выше по сравнению с твердостью объемной фазой, в 3-7 раз и, безусловно, учитываются и условия твердения системы.

Из перечисленных минералов необходимо отметить минеральный порошок из кварцевой муки, который показал максимальную твердость диффузионной межфазной зоны, толщина которой составляет всего лишь 20-40 мкм, при этом этот показатель оставался неизмен-

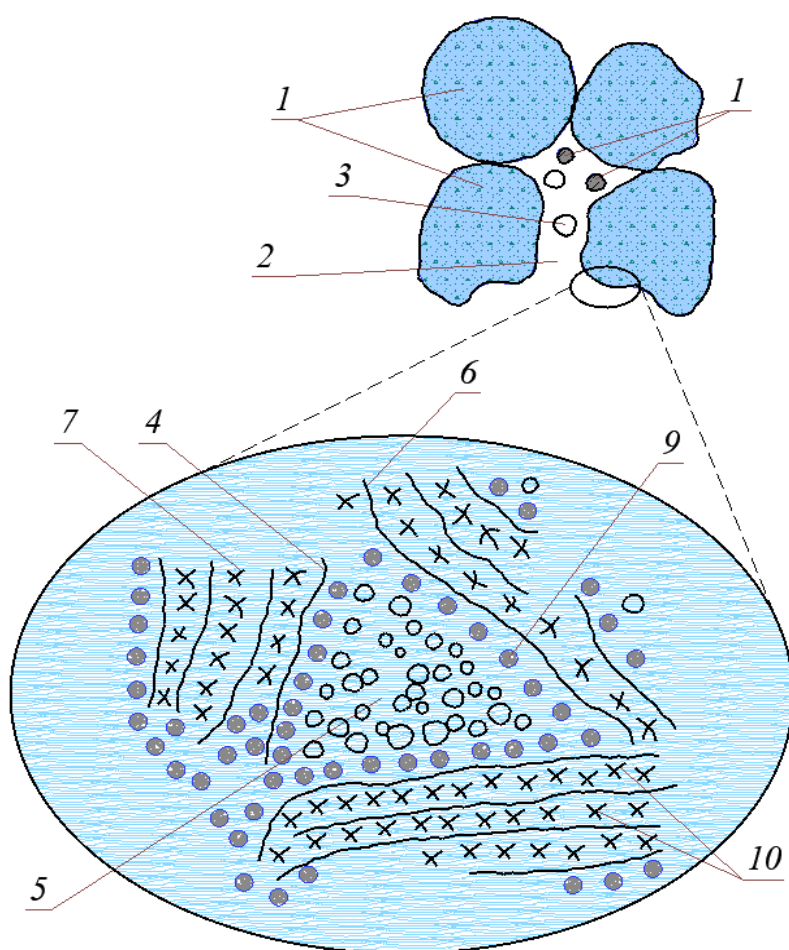


Рис. 4. Модель диффузионного межфазового геля CSH с использованием ультрадисперсных активных порошков: 1 – частичка геля; 2, 4 – плотный контакт; 3 – поры между частичками; 5 – внутрикристаллизационные микропоры; 6 – водная прослойка; 7 – междукристаллизационная микропора; 8, 9 – частички ультрадисперсного порошка размера-ми $(2-200) \cdot 10^{-9}$ м

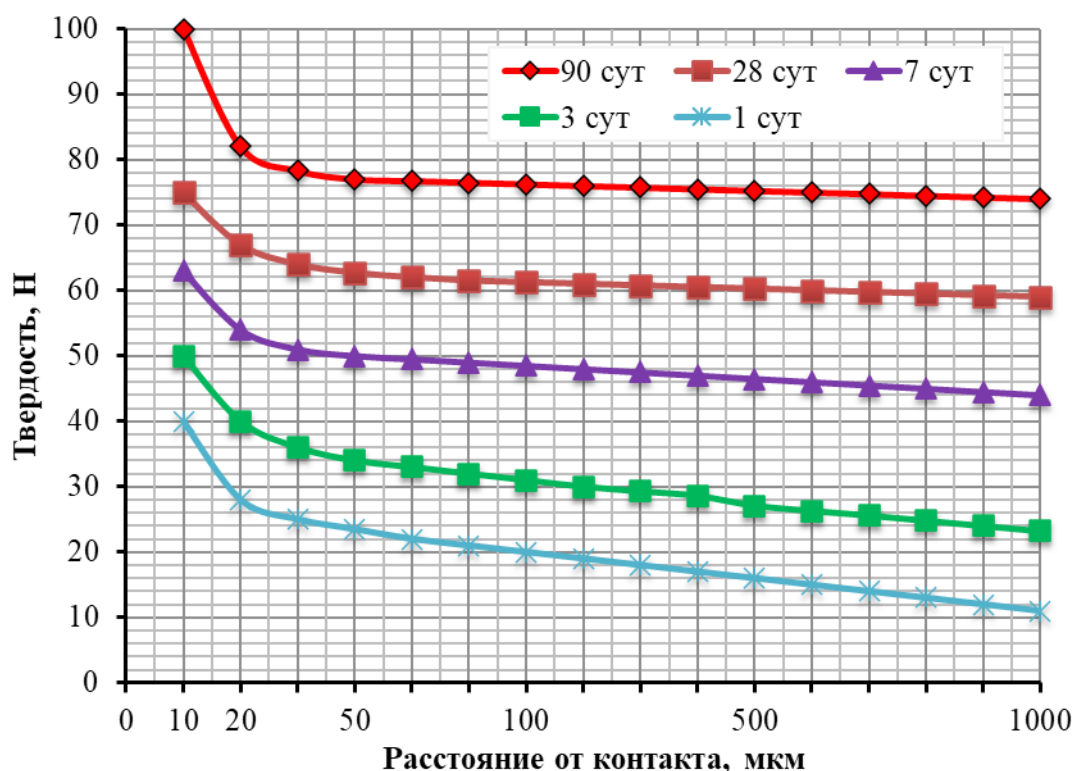


Рис. 5. Зависимость твердости на микроуровне (Н, кг/мм²) от толщины диффузионной межфазовой пограничной зоны

ным на протяжении всего процесса проведения исследования (рисунок 5).

Все представленные топологические модели МНС дают нам представление о механизме формирования структуры цементного камня, но модель формирования структуры на основе кремнеземистых минеральных порошков в сочетании с гидратной известью можно выделить как наиболее подходящую для описания модели структурообразования бесклнкерных композитов, с использованием тонкодисперсных минеральных порошков из вторичного и некондиционного сырья, активированных щелочными растворами натрия или калия. В качестве минеральных порошков можно применять отходы черной металлургии, золу-унос, каолиновые глины, эндогенные и экзогенные кислые породы [18-24].

Образуемые новообразования в диффузионном межфазовом слое будут отличаться от выше исследованных, и продуктами реакций будут гель кремниевой кислоты, гидросиликаты натрия или калия, гидроалюмосиликаты

и гидрогранаты натрия и кальция, кальцит. Полученные соединения являются аналогами природных довольно прочных и долговечных минералов, как щелочных и щелочноземельных цеолитов, слюды, гидрослюды [24].

Установлена топологическая модель многокомпонентных наполненных вяжущих систем с использованием минеральных порошков, дающая возможность управлять процессами структурообразования и регулировать конкретный спектр свойств. Модель формирования структуры на основе кремнеземистых минеральных порошков в сочетании с гидратной известью можно выделить как наиболее подходящей для описания модели структурообразования бесклнкерных композитов, с использованием тонкодисперсных минеральных порошков из вторичного и некондиционного сырья, активированных щелочными растворами натрия или калия. образуемые новообразования в диффузионном межфазовом слое представлены гелем кремниевой кислоты, гидросиликатами натрия или калия, гидроалюмосиликатами и гидрогра-

натами натрия и кальция, кальцитом и являются аналогами природных довольно прочных и долговечных минералов, как щелочных и щелочно-земельных цеолитов, слюды, гидрослюда.

Таким образом, представлены топологи-

ческие модели многокомпонентных наполненных вяжущих систем с использованием минеральных порошков, позволяющие регулировать процесс структурообразования и конкретный спектр свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lopez F.J., Sugita S., Tagaya M., Kobayashi T. Metakaolin-Based Geopolymers for Targeted Adsorbents to Heavy Metal Ion Separation // Journal of Materials Science and Chemical Engineering. 2014. №2. Pp. 16-27.
2. Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М. Ш., Нахаев М. Р. Возможные пути альтернативного решения проблем в цементной индустрии // Строительные материалы. 2020. № 1-2. С. 73-77. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-73-77>
3. Chen L., Wang Z., Wang Y. and Feng J. Preparation and Properties of Alkali Activated Metakaolin- Based Geopolymer // Materials. 2016. Vol. 9. Pp. 767.
4. Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М. Ш., Сайдумов М. С., Исмаилова З. Х. Влияние активных центров поверхности на реакционную способность минеральных добавок // Научный журнал «Современная наука и инновации». 2017. №2 (18). С. 168-175.
5. Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М. Ш. Перспективы использования термоактивированного сырья алюмосиликатной природы // Приволжский научный журнал. 2018. №2 (Т. 46). С. 65-70.
6. Murtazayev S-A. Yu., Salamanova M. Sh., Alashanov A., Ismailova Z. Features of Production of Fine Concretes Based on Clinkerless Binders of Alkaline Mixing // 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019) Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 23-27 September 2019. Belgorod. 2019. Pp. 385-388. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22974-0_93
7. Zhang Z., Provis J. L., Zou J., Reid A., Wang H. Toward an indexing approach to evaluate fly ashes for geopolymer manufacture // Cement and Concrete Research. 2016. Pp. 163-173.
8. Рахимова Н. Р. Состояние и перспективные направления развития исследований и производства композиционных шлакощелочных вяжущих, растворов и бетонов // Строительные материалы. 2008. №9. С. 77-80.
9. Hardjito D., Wallah S., Sumajouw D., Rangan B. On the development of fly ash-based geopolymer concrete // ACJ Materials Journal. 2004. Vol. 101. Pp. 467-472.
10. Davidovitz J. Geopolymer. Chemistry and applications. Saint-Quentin: Institute Geopolymer. 2008. 592 pp.
11. Корнеев В. И., Данилов В. В. Растворимое и жидкое стекло. СПб.: Стройиздат, 1996. 216 с.
12. Fadhil Nuruddin M., Demie S., Fareed Ahmed M., Nasir Shafiq. Effect of Superplasticizer and NaOH molarity on workability, compressive strength and Microstructure Properties of Self-Compacting Geopolymer Concrete // World Academy of Science, Engineering and Technology. 2011. № 75. Pp. 908-914.
13. Alex T.C., Nath S.K., Kumar S., Kalinkin A.M., Gurevich B.I., Kalinkina E.V., Tyukavkina V.V. Utilization of zinc slag through geopolymerization: influence of milling atmosphere // International Journal of Mineral Processing. 2013. Vol. 216. Pp. 102-107.
14. Villa C., Pecina E. T., Torres R., Gomez L. Geopolymer synthesis using alkaline activation of natural zeolite // Construction and Building Materials. 2010. Vol. 24. Pp. 2084-2090.
15. Рахимова Н. Р., Рахимов Р. З. Композиционные шлакощелочные вяжущие с минеральными добавками различного типа активности // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2013. № 16. С. 204-216.
16. Murtazayev S-A. Yu., Salamanova M. Sh., Mintsaeв M. Sh., Bisultanov R. G. Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging // Proceedings of the International Symposium “Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research” dedicated to the 85th anniversary of H. I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences

- and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. Pp. 500-503. <https://www.atlantispress.com/proceedings/isees-19/125914231>
17. Bataev D. K-S., Murtazayev S-A. Yu., Salamanova M.Sh., Viskhanov S.S. Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders // Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H. I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. Pp. 457-460. <https://www.atlantispress.com/proceedings/isees-19/125914222>
 18. Рахимов М.М., Хабибуллина Н.Р., Рахимов Р.З. Механизм отверждения боратных солевых растворов шлакощелочными вяжущими // Цемент и его применение. 2016. №3. С. 96-99.
 19. Dombrowski K. The Influence of Calcium Content on the Structure and Thermal Performance of Fly Ash Based Geopolymers // Journal of Materials Science. Vol. 42. №9. 2007. Pp. 3033-3043.
 20. Pawlasova S., Skvara F. High-Temperature Properties of Geopolymer Materials // Alkali Activated Materials. 2008. Pp. 523-525.
 21. Khater H.M. Effect of firing temperatures on alkali activated Geopolymer mortar doped with MWCNT // Advances in Nano Research. 2015. Vol. 3. №4. Pp. 225-242.
 22. Khater H.M., El Nagar A.M., Ezzat M. Optimization of Alkali Activated Grog /Ceramic Wastes Geopolymer Bricks // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2016. Vol. 5. Issue 1. Pp. 37-46.
 23. Nagajothi S., Elavenil S. Strength assessment of geopolymer concrete using M-sand // Int. J. Chem. Sci. 2016. № 14 (Vol. 1). Pp. 115-126.
 24. Саламанова М.Ш., Нахаев М.Р., Исмаилова З.Х. Закономерности протекания процессов формирования структуры и прочности бесклнкерного вяжущего щелочной активации // Международный научно-исследовательский журнал «Строительные материалы и изделия». 2020. Т. 3. № 1. С. 21-29. <https://doi.org/10.34031/2618-7183-2020-3-1-21-29>

TOPOLOGICAL MODELS OF THE STRUCTURE OF THE DIFFUSION LAYER OF MULTIPONENT BINDERS

©S-A. Yu. Murtazaev^{1,2}, M. Sh. Salamanova^{1,2}, M. M-Ya. Zaipulaev¹, P.A. Kokshev³

¹GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

²Kh. Ibragimov Complex Institute of the RAS, Grozny, Russia

³ChSU named after I. N. Ulyanov, Cheboksary, Russia

The paper establishes a topological model of multicomponent components of binder systems using mineral powders, which makes it possible to control the process of structure formation and determine specific spectral properties. Structure structure model based on models of siliceous mineral powders in concentration with hydrated lime, which can be distinguished as the most suitable for describing the structure formation of clinker-free composites using finely dispersed mineral powders from secondary and substandard raw materials activated with alkaline solutions of sodium or potassium.

The new formations formed in the diffusion interfacial layer are represented by silicic acid gel, sodium or potassium hydrosilicates, hydroaluminosilicates and sodium and calcium hydrogarnets, calcite and are analogues of natural rather strong and durable minerals, such as alkaline and alkaline earth zeolites, mica, hydromica.

Keywords: clinker-free binders, multicomponent system, lime-silica binders, diffusion layer, pore space, contact zone, activator, mineral powder

REFERENCES

1. Lopez F.J., Sugita S., Tagaya M., Kobayashi T. [Metakaolin-Based Geopolymers for Targeted Adsorbents to Heavy Metal Ion Separation. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*]. 2014. №2. Pp. 16-27.
2. Murtazaev S.A. Yu., Salamanova M.Sh. and Nakhaev M.R. (2020) 'Vozmozhnye puti al'ternativnogo resheniya problem v tsementnoi industrii'. *Stroitel'nye materialy*. [Possible ways of alternative solutions to problems in the cement industry. *Construction materials*]. №1-2. Pp. 73-77. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-73-77>
3. Chen L., Wang Z., Wang Y. and Feng J. (2019) [Preparation and Properties of Alkali Activated Metakaolin-Based Geopolymer. *Materials*]. Vol. 9. Rr. 767.
4. Murtazaev, S.A. Yu., Salamanova, M. Sh., Saidumov, M. S. and Ismailova, Z. Kh. (2017) 'Vliyaniye aktivnykh tsentrov poverkhnosti na reaktsionnuyu sposobnost' mineral'nykh dobavok'. *Nauchnyi zhurnal «Sovremennaya nauka i innovatsii»*. [Influence of surface active centers on the reactivity of mineral additives. *Scientific journal "Modern Science and Innovations"*]. №2 (18). Pp. 168-175.
5. Murtazaev S-A. Yu., Salamanova M. Sh. (2018) 'Perspektivy ispol'zovaniya termoaktivirovannogo syr'ya alyumosilikatnoi prirody'. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal*. [Prospects for the use of thermally activated raw materials of aluminosilicate nature. *Privolzhsky scientific journal*]. №2 (T. 46). Pp. 65-70.
6. Murtazayev S-A. Yu., Salamanova M. Sh., Alashanov A., Ismailova Z. Features of Production of Fine Concretes Based on Clinkerless Binders of Alkaline Mixing // 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019) Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 23-27 September 2019. Belgorod. 2019. Pp. 385-388. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22974-0_93
7. Zhang, Z., Provis, J. L., Zou, J., Reid, A. and Wang, H. (2016) 'Toward an indexing approach to evaluate fly ashes for geopolymer manufacture'. *Cement and Concrete Research*. Pp. 163-173.
8. Rakhimova, H. P. (2008) 'State and perspective directions of development of research and production of composite slag-alkaline binders, mortars and concretes'. *Stroitel'nye materialy*. №9. P. 77-80.
9. Hardjito, D., Wallah, S., Sumajouw, D. and Rangan, B. (2004) On the development of fly ash-based geopolymer concrete. *ACJ Materials Journal*. Vol. 101. Pp. 467-472.
10. Davidovitz, J. (2008) *Geopolymer. Chemistry and applications*. Saint-Quentin: Institute Geopolymer. 592 pp.
11. Korneev, V. I. and Danilov, V. V. (1996) *Soluble and liquid glass*. St. Petersburg. Stroyizdat. 216 p.
12. Fadhil, Nuruddin M., Demie, S., Fareed, Ahmed M. and Nasir Shafiq. (2011) Effect of Superplasticizer and NaOH molarity on workability, compressive strength and Microstructure Properties of Self- Compacting Geopolymer Concrete. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. №75. Pp. 908-914.
13. Alex, T. C., Nath, S. K., Kumar, S., Kalinkin, A. M., Gurevich, B. I., Kalinkina, E. V. and Tyukavkina, V. V. (2013) 'Utilization of zinc slag through geopolymerization: influence of milling atmosphere'. *International Journal of Mineral Processing*. Vol. 216. Pp. 102-107.
14. Villa, C., Pecina, E. T., Torres, R. and Gomez, L. (2010) 'Geopolymer synthesis using alkaline activation of natural zeolite'. *Construction and Building Materials*. Vol. 24. Pp. 2084-2090.
15. Rakhimova, N. R. and Rakhimov, R. Z. (2013) 'Kompozitsionnye shlakoshchelochnye vyazhushchie s mineral'nymi dobavkami razlichnogo tipa aktivnosti'. *Vestnik Volzhskogo regional'nogo otdeleniya Rossiiskoi akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk*. [Composite slag-alkaline binders with mineral additives of various types of activity. *Bulletin of the Volga Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences*]. 2013. №16. Pp. 204-216.
16. Murtazayev, S-A. Yu., Salamanova, M. Sh., Mintsae, M. Sh. and Bisultanov, R. G. (2019) 'Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging'. *Proceedings of*

- the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. Pp. 50-503, available at: <https://www.atlantispress.com/proceedings/isees-19/125914231>
17. Bataev, D. K-S., Murtazayev, S-A. Yu., Salamanova, M. Sh. and Viskhanov, S. S. 'Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders'. *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. Pp. 457-460, available at: <https://www.atlantispress.com/proceedings/isees-19/125914222>
 18. Rakhimov, M. M., Khabibullina, N. R. and Rakhimov, R. Z. (2016) 'Mekhanizm otverzhdeniya boratnykh soleykh rastvorov shlakoshchelochnymi vyazhushchimi'. *Tsement i ego primeneniye*. [The mechanism of curing of borate salt solutions with slag-alkaline binders. Cement and its application]. №3. P. 96-99.
 19. Dombrowski, K. (2007) 'The Influence of Calcium Content on the Structure and Thermal Performance of Fly Ash Based Geopolymers'. *Journal of Materials Science*. Vol. 42. №9. Pp. 3033-3043.
 20. Pawlasova, S. and Skvara, F. (2008) 'High-Temperature Properties of Geopolymer Materials'. *Akali Activated Materials*. Pp. 523-525.
 21. Khater, H. M. (2015) 'Effect of firing temperatures on alkali activated Geopolymer mortar doped with MWCNT'. *Advances in Nano Research*. Vol. 3. №4. Pp. 225-242.
 22. Khater, H. M., El Nagar, A. M. and Ezzat, M. (2016) 'Optimization of Alkali Activated Grog/Ceramic Wastes Geopolymer Bricks'. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. Vol. 5. Issue 1. Pp. 37-46.
 23. Nagajothi, S. and Elavenil, S. (2016) 'Strength assessment of geopolymer concrete using M-sand'. *Int. J. Chem. Sci.* №14 (Vol. 1). Pp. 115-126.
 24. Salamanova, M. Sh., Nakhaev, M. R. and Ismailova, Z. Kh. (2020) 'Zakonomernosti protekaniya protsessov formirovaniya struktury i prochnosti besklinkernogo vyazhushchego shchelochnoi aktivatsii'. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal «Stroitel'nye materialy i izdeliya»*. [Patterns of the processes of formation of the structure and strength of a clinker-free binder of alkaline activation. International Research Journal "Building Materials and Products"]. V. 3. №1. Pp. 21-29. <https://doi.org/10.34031/2618-7183-2020-3-1-21-29>