

Ерошкина Н. А., к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, Россия

Коровкин М. О., к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, Россия

Лавров И. Ю., магистрант, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, Россия

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ НА ПРОЧНОСТЬ ГЕОПОЛИМЕРНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация: Проведен анализ влияния вида и состава минерального сырья на основе промышленных отходов алюмосиликатного состава, его дисперсности и режимов твердения вяжущих на прочность геополимерных строительных материалов. Показано, что для производства геополимерных вяжущих могут быть использованы различные промышленные отходы – доменные шлаки, золы-уноса сжигания угля или различных сельскохозяйственных отходов. Выбор компонентов сырья, оптимизацию их соотношения и режимов твердения необходимо проводить экспериментально с учетом результатов исследования сырьевых материалов сходного состава.

Ключевые слова: геополимер, алюмосиликатное сырье, золы-уноса, отходы сноса зданий, сельскохозяйственные отходы, доменный шлак, активатор, прочность.

Abstract: The paper analyzes the influence of the type and composition of mineral raw materials based on industrial wastes of aluminosilicate composition, its dispersion and the hardening regimes of binders on the strength of geopolymer building materials. It is shown that various industrial wastes can be used for the production of geopolymer binders such as blast furnace slag, fly ash from coal

combustion or various agricultural wastes. The choice of raw material components, optimization of their ratio and hardening regimes must be carried out experimentally, taking into account the results of studies of raw materials of similar composition.

Key words: geopolymer, aluminosilicate raw materials, fly ash, construction and demolition waste, agricultural waste, blast furnace slag, activator, strength.

Общемировое производство основного вяжущего материала современного строительства портландцемента превышает 3 млрд. тонн в год. Технология портландцементного клинкера включает в себя высокотемпературный обжиг карбонатного сырья, в связи с чем цементная отрасль оказывает значительное влияние на окружающую среду – выбросы углекислого газа в атмосферу составляют 700-800 кг на 1 тонну клинкера [4]. Это обеспечивает цементным предприятиям второе место среди всех промышленных отраслей по выбросам этого парникового газа.

Решению проблемы снижения материалоемкости строительной индустрии, уменьшения ущерба окружающей среде способствует частичное или полное замещение в строительной индустрии природного сырья промышленными отходами. К числу технологий вяжущих веществ, базирующихся на применении отходов и побочных продуктов промышленности, относится технология геополимеров на основе алюмосиликатного сырья, твердение которого активируется за счет использования щелочей. Такие вяжущие по многим характеристикам не уступают портландцементу [2; 4]. В связи с разнообразием промышленных отходов необходимо проведение всесторонних исследований влияния состояния, вида и химического состава этого сырья на свойства геополимерных вяжущих.

Виды отходов алюмосиликатного сырья, которые могут быть использованы в технологии геополимерных вяжущих и способы активации их структурообразования разнообразны, что требует исследования этих вопросов, систематизации и обобщения результатов. В последние годы значительно

возрос интерес к развитию технологии геополимерных строительных материалов, что отразилось на росте числа научных публикаций, посвященных этой тематике (рис. 1).

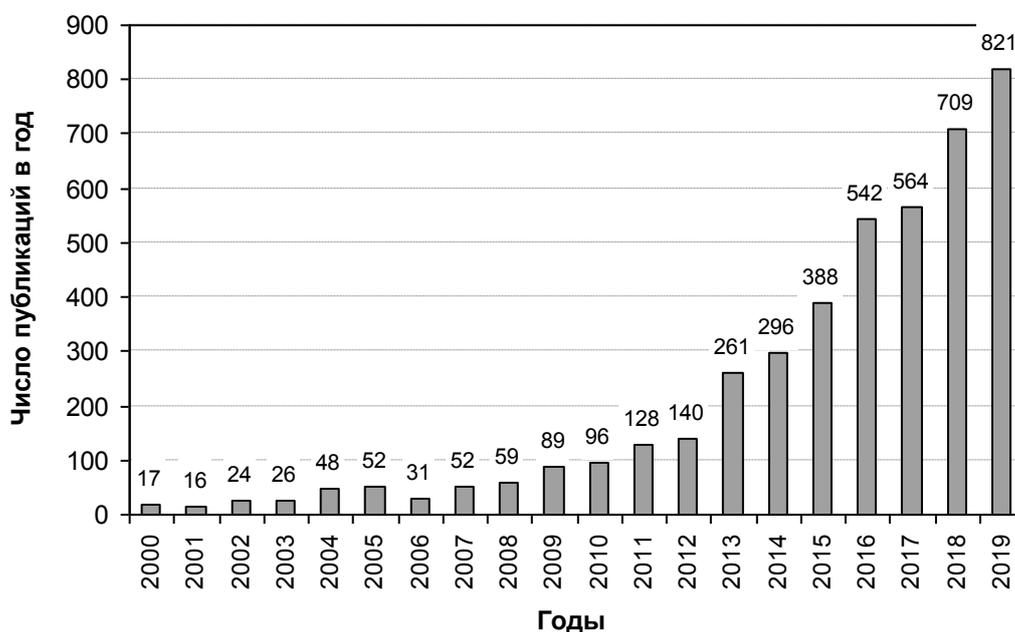


Рисунок 1 – Динамика роста числа публикаций, посвященных геополимерам, в наукометрической базе Scopus

В настоящее время в качестве техногенного сырья для геополимерных вяжущих многие исследователи рассматривают в основном золы-уноса сжигания угля, рисовой шелухи, пальмового масла и другие сельскохозяйственные отходы, а также металлургические шлаки, бокситовый шлам, отходы добычи и переработки горных пород и отходы сноса зданий и сооружений [1; 2; 4; 5; 6; 7; 8].

Многими авторами отмечается, что при выборе золы-уноса для производства геополимеров необходимо отдавать предпочтение низкокальциевой золе, так как ее применение обеспечивает более высокую прочность в начальные сроки твердения, по сравнению с высококальциевой золой [1; 4; 5; 6].

В качестве активатора твердения геополимерных вяжущих из низкокальциевой золы рекомендуется применять жидкое стекло с низким силикатным модулем – в пределах 1,2-1,5 при расходе активатора от 20 до 30

% от массы сухих компонентов [2]. Твердение таких вяжущих эффективно при тепловой обработке 40-60 °С в течение не менее 48 часов.

Проведенные исследования [7] влияния дисперсности бурогоугольной золы, соотношения Na_2SiO_3 и NaOH , расхода щелочного активатора, а также концентрации NaOH на прочность при сжатии мелкозернистых геополимерных бетонов показали, что для получения бетонов с прочностью 24-58 МПа средний размер частиц золы должен составлять около 16 мкм, а соотношение щелочной раствор и зола находится в интервале 0,43-0,71, соотношение силиката натрия и гидроксида натрия – 0,67-1,5, концентрация NaOH от 7,5 до 12,5 М. Основными факторами, позволяющими повысить прочность геополимерных растворов, являются снижение расхода воды и увеличение дисперсности золы. В процессе измельчения увеличиваются площадь поверхности золы и ее реакционная способность, а также разрушаются пористые частицы золы, что способствует повышению прочности геополимерного раствора. Отмечается [2], что дисперсность золы не должна превышать 350-500 м²/кг, т.к. при более высокой дисперсности возможно повышение водопотребности и снижение прочности вяжущих.

Во многих работах [1; 2; 4; 8] предлагается в целях повышения прочности геополимеров использовать двухкомпонентное минеральное сырье зола-доменный шлак, зола-метакаолин, метакаолин-доменный шлак и шлак-магматические горные породы.

В исследовании, проведенном на двухкомпонентном геополимерном вяжущем на основе метакаолина и золы уноса [8], установлено, что прочность при сжатии снижается с увеличением расхода золы до 50 - 70 %. Были получены геополимерные растворы с широким интервалом по прочности и характером разрушения от квазихрупкого до хрупкого, что зависело от наличия в материале дефектов, таких, как поры, микротрещины и посторонние включения. При замещении метакаолина золой увеличивается предел прочности при изгибе геополимерного раствора, о чем свидетельствует уменьшение погрешности распределения прочности из-за повышения

однородности материала. Авторами исследования [8] был сделан вывод, что на характер разрушения при изгибе влияет поровая структура материала, а на характер разрушения при сжатии оказывает влияние неоднородное распределение компонентов в структуре материала.

При выборе минерального сырья для получения геополимерного вяжущего необходимо учитывать не только его состав и дисперсность, но и его наличие в регионе, в котором будет организовано производство строительных материалов на основе геополимерных вяжущих. В связи с этим технология геополимеров должна основываться на применении местных промышленных отходов. В некоторых регионах с развитым сельским хозяйством, где растительные остатки используются для получения тепловой или электрической энергии, в технологии геополимеров могут применяться золы от сжигания рисовой шелухи или производства пальмового масла.

Показано [6], что при замещении топливной золы на метаксаолин или золу от производства пальмового масла при использовании активатора низко модульного натриевого жидкого стекла, возможно получение геополимеров с прочностью 60-68 МПа. Этими исследованиями установлено, что наибольшей прочностью обладают геополимеры при замещении метаксаолина на 40% золой пальмового масла.

Для снижения в составе геополимерного вяжущего расхода относительно дорогого и дефицитного сырья – метаксаолина, могут применяться промышленные отходы, содержащие кремнезем. Применение микрокремнезема в дозировке 5-15 % позволяет повысить прочность геополимерных вяжущих на основе метаксаолина на 20-35% [2].

В мелкозернистых бетонах, изготовленных на двухкомпонентных геополимерных вяжущих на основе золы пальмового масла и метаксаолина, происходило снижение прочности, что объяснялось более высокой водопотребностью метаксаолина по сравнению с золой [6]. При использовании золы от производства пальмового масла необходимо учитывать возможное снижение прочности на начальной стадии твердения при более высоких

дозировках золы [6]. В работе [5] также показана эффективность замещения доменного гранулированного шлака золой пальмового масла в оптимальной дозировке 30%. При такой дозировке добавки обеспечивается прочность при сжатии геополимерного раствора 66 МПа. При содержании золы сверхоптимальной прочность при сжатии снижается. Снижение прочности с увеличением дозировки золы пальмового масла или топливной золы происходит из-за более крупных частиц золы по сравнению с более реакционным мелкодисперсным шлаком.

Проведенные исследования возможности применения в качестве основного компонента сырья для геополимерного вяжущего боя тарного стекла [3] показали, что в результате щелочной активации стеклянного боя дисперсностью 207-417 м²/кг растворами NaOH и KOH с концентрацией 5 и 10 М возможно получение геополимерных вяжущих прочностью от 22,8 до 52,9 МПа. При этом на прочность оказывает влияние дисперсность стеклобоя: с повышением дисперсности прочность геополимерного вяжущего увеличивается. Для получения геополимерных растворов с прочностью свыше 50 МПа может применяться тепловая обработка при температуре не более 40 - 60 °С.

В работе [1] показано, что в качестве сырья для получения геополимерных вяжущих и бетонов могут использоваться отходы от сноса зданий, такие как отсев дробления бетонного лома, бой кирпича и шлакоблоков на основе ваграночных шлаков. Измельченные до дисперсности 400 м²/кг отходы сноса зданий замещают 50 % тонкодисперсного гранита в составе геополимерного вяжущего. При низкой дозировке шлака (20 %) прочность бетонов с использованием двухкомпонентного вяжущего не превышает 14-19 МПа, а за счет увеличения шлака до 40 % - достигает 28-50 МПа (см. рис. 2).

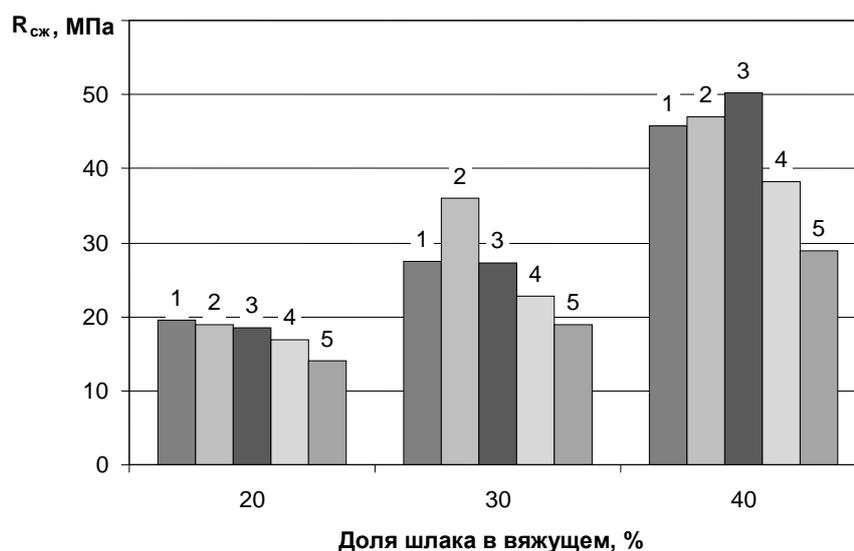


Рисунок 2 – Предел прочности при сжатии геопалимерных мелкозернистых бетонов с различной долей шлака в вяжущем при замещении измельченного гранита различными отходами: 1 – контрольные составы; 2 – отсев дробления бетона; 3 – бой кирпича; 4 – зола-унос; 5 – бой стеновых камней на основе шлака

При высокой дозировке шлака геопалимерные бетоны, содержащие в составе вяжущего отсев дробления гранита или бой керамического кирпича, незначительно превышают по прочности бетон на геопалимерном вяжущем без замещения гранитной муки строительным отходом. При этом установлено, что замещение гранитного порошка золой уноса или боем шлакобетона, напротив, снижает прочность, что объясняется более низкой прочностью вводимых в состав вяжущего материалов в сравнение с гранитом.

Вывод:

В качестве сырья для производства геопалимерных вяжущих могут быть использованы различные промышленные отходы – доменные шлаки, золы-уноса сжигания угля или сельскохозяйственных отходов, твердение которых активируется щелочами или силикатами щелочных металлов. Прочностные характеристики геопалимерных вяжущих могут быть повышены за счет применения многокомпонентного сырья. В связи с тем, что общей теории структурообразования геопалимерных вяжущих пока не разработано, выбор компонентов сырья, оптимизацию их соотношения и режимов твердения

необходимо проводить экспериментально с учетом результатов исследования сырьевых материалов сходного состава.

Библиографический список:

1. Ерошкина Н.А. Влияние измельченных отходов сноса зданий на прочность геополимерного бетона / Н.А. Ерошкина, М.Ю. Чамурлиев, М.О. Коровкин // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе: сб. науч. трудов по материалам VII Междунар. науч.-практ. конф. - Саратов: СГТУ им. Гагарина Ю.А., 2019. С.209-212.

2. Ерошкина Н.А. Геополимерные строительные материалы на основе промышленных отходов: монография / Н.А. Ерошкина, С.М. Саденко. Пенза: ПГУАС, 2019. – 188 с.

3. Cyr M. Properties of inorganic polymer (geopolymer) mortars made of glass cullet / M. Cyr, R. Idir, T. Poinot / J. Mater. Sci. 2012. Vol.47. P.2782–2797.

4. Davidovits J. Geopolymer chemistry and applications / J. Davidovits // 3rd edition. – France, Saint-Quentin: Institute Geopolymer, 2011. - 614 p.

5. Islam A. The development of compressive strength of ground granulated blast furnace slag-palm oil fuel ash-fly ash based geopolymer mortar/ A. Islam, U.J. Alengaram, M.Z. Jumaat, I.I. Bashar // Mater. Des. 2014. Vol. 56. P. 833–841.

6. Ismail M. Early strength characteristics of palm oil fuel ash and metakaolin blended geopolymer mortar / M. Ismail, T.O. Yusuf, A.H. Noruzman, I.O. Hassan // Adv. Mater. Res. 2013. Vol. 690–693. P.1045–1048.

7. Sathonsaowaphak A. Workability and strength of lignite bottom ash geopolymer mortar / A. Sathonsaowaphak, P. Chindaprasirt, K. Pimraksa // J. Hazard Mater. 2009. Vol.168. P. 44–50.

8. Yusuf, T.O. Impact of blending on strength distribution of ambient cured metakaolin and palm oil fuel ash based geopolymer mortar // T.O. Yusuf, M. Ismail, J. Uaman, A.H. Noruzman // Adv. Civ. Eng. 2014. P. 1–8.