



DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-2-212-218

УДК 691.5

## ПРИМЕНЕНИЕ ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ ВЯЖУЩИХ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

М.И. Абу Махади, А.В. Безбородов

Российский университет дружбы народов  
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В данной статье представлена информация о шлакощелочных вяжущих и опыте их применения в строительстве на территории России. Здесь отражены составы, виды и свойства шлакощелочного бетона, а также преимущества шлакощелочных вяжущих над портландцементом. В конце статьи сделаны выводы по результатам обзора применения материалов на основе шлакощелочных вяжущих на различных строительных объектах и анализа свойств шлакощелочных бетонов.

**Ключевые слова:** шлакощелочные вяжущие, портландцемент, бетон, шлак, отходы промышленного производства

В настоящее время в строительстве многих стран, в том числе и в Российской Федерации, основным материалом для производства различных видов бетонов служит, как правило, портландцемент.

С развитием человеческого общества увеличивается объем строительного производства, что ведет к повышению использования портландцемента.

Однако производство портландцемента связано с высоким потреблением природных минеральных сырьевых и энергетических ресурсов и сопровождается высокими объемами выбросов в окружающую среду.

Одним из основных направлений развития строительной отрасли является сохранение природных ресурсов за счет увеличения объемов использования отходов промышленного производства.

Таким образом, актуален вопрос поиска материалов, альтернативных портландцементу.

Примером таких материалов могут служить шлакощелочные вяжущие, основа которых — гранулированные шлаки — отходы металлургического производства.

Цель статьи заключается в привлечении внимания к шлакощелочным вяжущим при производстве строительных материалов и замене портландцементов, в связи с высокими ценами на цемент, а также отрицательным воздействием на окружающую среду при его производстве.

В России выпуск шлакощелочного бетона был налажен в 1973 году в регионе Западного Урала. На заводах изготовлялись фундаментные блоки, детали очистных сооружений, плиты покрытия площадей, сваи.

В 1975—1980 годах на строительных предприятиях Тульской области был осуществлен выпуск предварительно напряженных аэродромных плит размерами

2×6 м, которые были уложены в дорожное полотно аэродрома г. Тулы, бордюрных камней, тротуарных плит, кирпича, блоков стен подвалов.

Также конструкции из шлакощелочного бетона были использованы для устройства подъездных путей к химическим предприятиям в Тульской области, вмонтированы в полы Новомосковского завода органического синтеза и отделения электролиза хлорного производства ПО «Азот».

С 1973 года производилось укрепление грунтов шлакощелочными вяжущими для использования их в основаниях дорожных одежд.

Институтом «УралНИИстрой» в течение многих лет проводились испытания по использованию шлаков в производстве строительных материалов. Были разработаны составы жаростойкого бетона на шлакощелочном вяжущем для футеровки печных вагонеток керамической промышленности.

В Челябинске в 1980-е годы шлакощелочные вяжущие были внедрены в тресте «Челябметаллургстрой». Шлакощелочной бетон использовался при изготовлении фундаментных блоков, надоконных перемычек и плит перекрытия.

В 1973 году Омский асфальтобетонный завод наладил выпуск железобетонных дорожных плит из шлакощелочного бетона марки 300 и бордюрных камней. Указанные изделия укладывали на магистральных дорогах и при благоустройстве г. Омска. Исследования, проведенные через 4 года эксплуатации, показали, что все конструкции находятся в хорошем состоянии.

В 1984 году шлакощелочной бетон был использован при строительстве спецдороги под многотоннажные БелАЗы в г. Магнитогорске.

В 1988 году предварительно напряженные бетонные шпалы из шлакощелочного бетона были уложены на действующей железной дороге Санкт-Петербург — Москва.

Примером успешного использования шлакощелочного бетона в ограждающих и несущих конструкциях является возведение высотного жилого дома в Липецке в 1988—1989 годах. Двадцатипятиэтажное здание выполнено в сборно-монолитном варианте, вся подземная часть и стены — монолитные, а плиты перекрытий, лестничные марши и площадки — из сборного шлакощелочного бетона.

Исследования, проходившие в 2012 году, показали, что все конструкции данного дома находятся в хорошем состоянии.

Шлакощелочной бетон — искусственный камень, образующийся при твердении смеси шлакощелочного цемента, заполнителей и воды.

Результатами исследований в период с 1960—1990-х годов стали разработка нормально-, быстро-, особо быстротвердеющих составов ШЩВ и технологий производства изделий из них.

К шлакощелочным бетонам применима общая классификация бетонов — по структуре и плотности, виду и крупности заполнителей, условиям твердения, назначению и наиболее характерным свойствам.

Ориентировочный состав тяжелых бетонов:

- молотый гранулированный шлак — 15—30%;
- щелочной компонент — 0,5—1,5%;
- заполнители — 70—85%.

Помимо традиционных заполнителей (щебня, гравия, песка) в шлакощелочных бетонах могут быть использованы многие дисперсные природные материалы и попутные продукты различных отраслей промышленности.

В качестве заполнителей используют мелкие пески, супеси, лессы, гранулированные и отвалы шлаки, горелые породы, отсев камнедробильных производств, хвосты горнообогатительных комбинатов, гравийно-песчаные и глиногравийные смеси [1].

В отличие от цементных бетонов, где содержание дисперсных и загрязненных заполнителей недопустимо, в шлакощелочных бетонах содержание глинистых частиц может достигать 5%, а пылеватых — 20%.

Применение дисперсных заполнителей с повышенным содержанием пылевидных и глинистых примесей не ухудшает физико-механические свойства шлакощелочных бетонов.

Это объясняется их химическим взаимодействием с щелочным затворителем, в результате чего образуются дополнительные цементирующие новообразования — щелочные гидроалюмосиликаты.

В естественных условиях образование указанных минералов, относящихся в основном к группе цеолитов, происходит медленно, оно существенно ускоряется при пропаривании и автоклавной обработке, а также при предварительном обжиге.

В 1980—1990-е годы были утверждены нормативные требования к сырьевым компонентам, составам и свойствам ШЩВ, ШЩБ, бетонных и железобетонных изделий и конструкций из них, технологии их производства и применения [2; 3].

В зависимости от назначения получают бетоны плотной, крупнопористой, поризованной и ячеистой структур.

По зерновому составу заполнителей подразделяют на мелко- и крупнозернистые, по плотности — на тяжелые и легкие.

Тяжелые бетоны на шлакощелочном вяжущем относят к конструкционным бетонам, легкие бетоны разделяют на конструкционные, конструкционно-теплоизоляционные и теплоизоляционные.

*Конструкционные легкие шлакощелочные бетоны* классов В15—В50 (М200—М600) со средней плотностью 1500—1800 кг/м<sup>3</sup> изготавливают на керамзите, доменном гранулированном шлаке, аглопорите, известняке-ракушечнике, шлаковой пемзе, отходам древесины. Эти же заполнители применяют для конструкционно-теплоизоляционных бетонов со средней плотностью 500—1400 кг/м<sup>3</sup>, которые характеризуются прочностью при сжатии 3,5—40 МПа и теплопроводностью 0,17—0,4 Вт/(м·°С).

Теплоизоляционные шлакощелочные материалы средней плотности 170—450 кг/м<sup>3</sup>, прочностью при сжатии от 0,25—2 МПа и теплопроводностью 0,059—0,13 Вт/(м·°С) разработаны на основе вспученного перлита.

Прочность шлакощелочных бетонов регулируют, главным образом, изменением плотности щелочного компонента, степенью влияния которой зависит от его природы. Наиболее ощутимо сказывается на повышении прочностных характеристик применение растворимых силикатов натрия. Бетоны на их основе высокопрочные.

Наибольшей прочности при сжатии (120 МПа) характеризуются пропаренные бетоны на основе нейтральных шлаков и низкомодульных ( $M_c = 1—2$ ) жидких стекол.

*Мелкозернистые бетоны* представляют собой искусственный камень, получаемый после отверждения рационально подобранной смеси молотого шлака, раствора щелочного компонента и мелкого заполнителя, в качестве которого служат мелкие пески и грунты в виде супесей и легких суглинков.

Мелкозернистые шлакощелочные бетоны выпускают классов В10—В60. Их свойства практически определяются теми же факторами, что и свойства тяжелых шлакощелочных бетонов на крупнозерновом заполнителе.

*Жаростойкие бетоны* на основе шлакощелочного вяжущего способны выдерживать температуры от 200 до 1500 °С.

Достоинства этих бетонов следующие:

- 1) отказ от предварительной сушки перед началом монтажа, что обусловлено низкой влажностью изделий после автоклавной обработки;
- 2) для большинства изделий нет снижения прочности в интервале температур 600—900 °С;
- 3) высокая прочность после разогрева на рабочую температуру.

Применение данного вида бетонов может быть очень эффективным при строительстве стартовых площадок на космодроме «Восточный».

Для получения *шлакощелочных пенобетонов* с низкой плотностью и высокопористой пористостью, обеспечивающей материалу достаточно высокие звукопоглощающие свойства, используют молотый электротермофосфорный шлак с удельной поверхностью 350—400 м<sup>2</sup>/кг и щелочные растворы.

Способ поризации и стабилизации поровой структуры предусматривает приготовление устойчивой пеномассы с последующим введением в нее тонкомолотого шлака.

В качестве пенообразователей используют омыленный древесный пек, смолу древесную омыленную, белковые протеиносодержащие продукты и ряд других отходов производства.

Применение шлакощелочных вяжущих в строительстве в настоящее время крайне ограничено и составляет не более 2—3 % от общего количества портландцемента, несмотря на то что физико-механические свойства шлакощелочных бетонов близки к свойствам цементных бетонов, а в ряде случаев они могут быть и существенно выше.

Прочность шлакощелочных бетонов может достигать значений выше 100 МПа. Наибольшую прочность имеют бетоны на основе основных и нейтральных шлаков в условиях тепловлажностной обработки. В результате проведенных испытаний [1] установлено, что за период эксплуатации все шлакощелочные бетоны повысили свою проектную прочность в 1,5 — 2,5 раза.

Увеличение расхода шлака от 300 до 600 кг/м<sup>3</sup> приводит к увеличению прочности бетона, особенно при твердении в нормальных воздушно-влажных условиях [4].

При постоянной плотности щелочного раствора увеличение растворошлакового отношения (Р/Ш) уменьшает прочность, однако значительно менее существенно, чем водоцементное отношение для портландцементных бетонов.

При нормальных условиях твердения и длительном водонасыщении шлакощелочной бетон характеризуется большей интенсивностью набора прочности на изгиб по сравнению с цементным.

Было выявлено, что ШЩБ устойчивы в минерализованных, сульфатных, магниевых водах, морской воде, растворах солей и неорганических кислот, что обусловлено отсутствием в продуктах твердения ШЩВ свободной извести и высокоосновных новообразований, характерных для портландцементного камня [4].

ШЩБ по сравнению с портландцементными способны твердеть как при высоких положительных (+5—0 °С), так и при отрицательных (–5—–15 °С) температурах, обладают низким тепловыделением при твердении, что обеспечивает возможность использования его для бетонирования массивных конструкций.

Морозостойкость шлакощелочных бетонов изменяется в пределах 300—1300 циклов и более. Она увеличивается при увеличении плотности раствора щелочного компонента, применении жестких бетонных смесей, твердении бетона в нормальных условиях, использовании заполнителей оптимального гранулометрического состава.

Высокая морозостойкость шлакощелочных бетонов обусловлена особенностями их структуры — меньшей общей пористостью, повышенным содержанием мелких замкнутых пор, высокой плотностью и прочностью контактной зоны.

Особенности поровой структуры шлакощелочных бетонов, повышенная вододерживающая способность и седиментационная устойчивость бетонных смесей определяют высокую водонепроницаемость бетонов.

Как показали результаты испытаний [1], водонепроницаемость шлакощелочных бетонов после их длительной эксплуатации значительно повышается, что связано с уплотнением структуры бетона с течением времени.

Для шлакощелочных бетонов характерно образование плотной и прочной контактной зоны «вяжущее — заполнитель» из щелочных и щелоче-щелочеземельных гидроалюмосиликатов.

Истираемость шлакощелочных бетонов, по данным работы [1], находится в пределах истираемости гранитов (0,21—0,47 г/см<sup>2</sup>).

Обзор применения материалов на основе шлакощелочных вяжущих на различных строительных объектах в России; анализ свойств бетонов на основе шлакощелочных вяжущих позволил сделать следующие выводы:

1) многолетний опыт применения бетонов на основе шлакощелочных вяжущих доказывает эффективность и высокие эксплуатационные качества данного вида вяжущего при строительстве сооружений специального назначения, а также при возведении жилых домов;

2) шлакощелочные вяжущие обладают высокими физико-механическими характеристиками, такими как: высокая плотность, стабильный и постоянный рост прочности, коррозионная устойчивость, стойкость к воздействию агрессивных сред, а также высокая морозостойкость;

3) шлакощелочные бетоны можно отнести к разряду материалов со специальными свойствами и рекомендовать к использованию в специальных видах строительства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Глуховский В.Д., Пахомов В.А. Шлакощелочные цементы и бетоны. Киев: «Будівельник», 1978. 184 с.
- [2] ГОСТ 3476—74. Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цементов, Госстрой СССР. М.: Изд-во стандартов, 1988.
- [3] Рекомендации по изготовлению шлакощелочных бетонов и изделий на их основе, НИИЖБ Госстроя СССР, 1986.
- [4] Глуховский В.Д. Шлакощелочные вяжущие и мелкозернистые бетоны на их основе. Ташкент, 1978. 485 с.

© Абу Махади М.И., Безбородов А.В., 2017

### История статьи:

Дата поступления в редакцию: 9 марта 2017

Дата принятия к печати: 17 марта 2017

### Для цитирования:

Абу Махади М.И., Безбородов А.В. Применение шлакощелочных вяжущих в строительстве // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Инженерные исследования»*. 2017. Т. 18. № 2. С. 212—218.

### Сведения об авторах:

*Абу Махади Мохаммед Ибрагим*, кандидат технических наук, доцент департамента «Архитектуры и строительства» инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Сфера научных интересов*: механика грунтов, основания и фундаменты, строительные материалы. *Контактная информация*: e-mail: moham\_d@mail.ru

*Безбородов Александр Викторович*, магистрант департамента «Архитектуры и строительства» инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Сфера научных интересов*: повышение качества строительных материалов, эффективные методы закрепления слабых грунтов под основания сооружений. *Контактная информация*: e-mail: avbezb@mail.ru

## APPLICATION SLAG-ALKALI BINDER IN CONSTRUCTION

M.I. Abu Mahadi, A.V. Bezborodov

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)  
*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

Information about slag-alkali binders and the experience of their application in construction of Russia is provided in this article. Structures, types and properties of slag-alkali concrete, and also a benefit the slag-alkali binders over a portland cement are reflected. At the end of article conclusions by results of using materials based on slag-alkali binders in various construction objects and the analysis of properties the slag-alkali binders concrete are drawn.

**Key words:** slag-alkali binder, portland cement, concrete, slag, industrial waste

## REFERENCES

- [1] Glukhovskiy V.D., Pakhomov V.A. Shlakoshchelochnye tsementy i betony. Kiev: Budivel'nik, 1978. 184 s.
- [2] GOST 3476—74. Shlaki domennyye i elektrotermofosfornyye granulirovannyye dlya proizvodstva tsementov, Gosstroy SSSR. M.: Izdatel'stvo standartov, 1988.
- [3] Rekomendatsii po izgotovleniyu shlakoshchelochnykh betonov i izdeliy na ikh osnove, NIIZHБ Gosstroya SSSR, 1986.
- [4] Glukhovskiy V.D. Shlakoshchelochnye vyazhushchie melkozernistyе betony na ikh osnove. Tashkent, 1978. 485 s.

### Article history:

Received: 9 March 2017

Accepted: 17 March 2017

### For citation:

**Abu Mahadi M.I., Bezborodov A.V. (2017) Application slag-alkali binder in construction. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18(2), 212—218.**

### Bio Note:

*Mohammed I. Abu Mahadi*, Ph.D., Associate Professor of the Department of Architecture and Construction, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests*: soil mechanics, foundation engineering, building materials. *Contact information*: e-mail: moham\_d@mail.ru

*Alexander V. Bezborodov*, graduate student of the Department of Architecture and Construction, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests*: improving the quality of building materials, effective methods for stabilization weak soil under the bases of constructions. *Contact information*: e-mail: avbezb@mail.ru