

УДК 691.33

**Юдина Л.В.** – кандидат технических наук, профессор

**Турчин В.В.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [gism@istu.ru](mailto:gism@istu.ru)

**Ижевский государственный технический университет**

## **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ КОНТАКТНОГО ТВЕРДЕНИЯ НА ОСНОВЕ ШЛАКОВ, ЗОЛ И ГРУНТОВ**

### **АННОТАЦИЯ**

Приводятся результаты исследований композиций строительного назначения, основанных на принципе «контактного твердения», способных образовывать прочный, водостойкий камень в момент сближения частиц при уплотнении. Рассматриваются шлакощелочные вяжущие и бетоны на сталеплавильных шлаках, шлаках и золах ТЭЦ, активированные золошлаковые смеси для дорожного строительства, а также грунты, стабилизированные органическими добавками. Результаты исследований подтверждены как лабораторными испытаниями, так и практикой строительства в Удмуртской Республике.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** «контактное твердение», шлакощелочные вяжущие (ШЩВ) и бетоны (ШЩБ), гидравлические вяжущие, шлаки, золы, прессование, оптимальная влажность, дорожная одежда, грунты, стабилизация, СОИЛ-2000, прессование.

**Yudina L.V.** – candidate of technical sciences, professor

**Turchin V.V.** – candidate of technical sciences, associate professor

**Izhevsk State Technical University**

## **CONTACT SETTING CONSTRUCTION MATERIALS BASED ON SLAGS, ASHES, AND SOILS**

### **ABSTRACT**

The investigation results of compositions of constructing purposes based on the principium «contact setting», prone for creating a solid and waterproof stone at the moment of rapprochement of particles when contracting are shown. The following components were also examined: slag-caustic bonding substance and concretes on steelmaking slags, and ashes TATS, activated ash-slag mixtures for road construction, as well as soils stabilized with organic admixtures. The investigation results are both proved by laboratory investigations and real construction works in the Udmurt Republic.

**KEYWORDS:** «contact setting», slag-caustic bonding substances (SSBS) and concretes (SSC), hydraulic bonding substances, slags, ashes, pressing, optimal humidity level, road coating, soils, stabilization, SOIL-2000, pressing.

### **Введение**

Принцип «контактного твердения» основан на способности дисперсных силикатных и алюмосиликатных веществ, находящихся в аморфном состоянии, образовывать прочный водостойкий материал в момент сближения частиц при уплотнении. «Эффект упорядочения структуры минеральных веществ», открытый в 50-е годы XX столетия, обуславливает получение искусственного камня в момент уплотнения при формировании конструкций, что принципиально отличает вяжущие и бетоны контактного твердения от вяжущих и бетонов гидратационного твердения. При этом образующиеся структурные связи хорошо противостоят диспергирующему действию воды [1, 2].

Наиболее характерным представителем этой группы являются шлакощелочные вяжущие (ШЩВ) и бетоны (ШЩБ). Приоритет в создании, разработке и внедрении ШЩВ, бетонов, изделий и конструкций принадлежит научной школе профессора В.Д. Глуховского. С 1957 года в Киевском инженерно-строительном институте ведутся исследования по разработке научных основ и методов направленного твердофазового синтеза щелочных и щелочноземельных веществ, по составу и

структуре моделирующих пороодообразующие минералы земной коры, для получения на их основе различных строительных материалов [3].

В настоящих исследованиях ШЩВ представлены композиции, на которые можно распространить принцип контактного твердения – это, прежде всего, минеральные материалы, получаемые методом прессования при оптимальной влажности, а также грунты, стабилизированные минеральными вяжущими и химическими добавками. Исследования проведены в разные годы в ИжГТУ на композициях строительного назначения с использованием попутных продуктов промышленных предприятий УР [1, 6].

### 1. Шлакощелочные вяжущие и бетоны на сталеплавильных шлаках

Шлакощелочные вяжущие (ШЩВ) – это гидравлические вяжущие, получаемые затворением молотых металлургических шлаков растворами соединений щелочных металлов. В производстве шлакощелочных вяжущих и бетонов наибольшее применение нашли доменные шлаки. В ИжГТУ разработаны ШЩВ на сталеплавильных шлаках ПО «Ижсталь» [4]. Трудности использования сталеплавильных шлаков состоят в значительных колебаниях химического состава от ультракислых до ультраосновных. Воздушное охлаждение ведет к практически полной их кристаллизации и, как следствие, весьма незначительным вяжущим свойствам. Для повышения гидравлической активности производственная смесь шлаков, прошедшая двухстадийную переработку (магния сепарация + дробление), подвергалась помолу до удельной поверхности  $S_{уд} = 3000...5000 \text{ см}^2/\text{г}$ . В качестве щелочного компонента использовалось растворимое натриевое стекло (в виде отходов промышленного производства). Вводились также корректирующие добавки: золы и шлаки ТЭЦ, шламы гальванического производства, отсеы дробления шлаков.

Образцы, отпрессованные под давлением 20...40 МПа из пресс-порошка оптимальной влажности, очень быстро набирали прочность. Прессование способствовало увеличению активности вяжущего за счет повышения степени сближения дисперсных частиц и действия поверхностных сил притяжения. Динамическое прессование под нагрузкой 230 МПа способствовало повышению прочности в 2...2,3 раза. Для сравнения наряду с методом прессования исследовались образцы, изготовленные по литьевой технологии.

Для составов: шлак 100 % + ж.с. 15 % (при плотности жидкого стекла  $\rho = 1,3 \text{ г/см}^3$ ) прочность при сжатии в возрасте 7 суток ( $R_{сж}$ ) составила, МПа:

- для образцов, отпрессованных под нагрузкой 20 МПа.....7,2
- для образцов, отпрессованных под нагрузкой 40 МПа.....9,2
- для образцов, полученных динамическим прессованием под нагрузкой 230 МПа.....21,1
- для образцов, полученных по литьевой технологии.....2,3

Таким образом, исследование ШЩВ на основе сталеплавильных шлаков показало существенное влияние на их прочность способа уплотнения композиций. Метод прессования дает более высокие показатели физико-механических свойств, чем способ литья. Это подтверждает проведенные ранее исследования. В результате прессования цементация вяжущего осуществляется мгновенно, сопровождается появлением достаточно прочных водостойких связей между его частицами, возникающих в результате действия поверхностных сил притяжения за счет повышения степени сближения дисперсных частиц. Это и обеспечивает высокое качество синтезируемого искусственного камня. Электронно-микроскопические исследования показали высокое сцепление между частицами шлака и новообразованиями в виде круглых и игольчатых кристаллов, прорастающих в поры материала, что, несомненно, способствует повышению плотности и прочности композиции.

На основе проведенных исследований разработана технология получения шлакощелочного кирпича контактно-конденсационным способом. В основу технологии ШЩ – кирпича положена традиционная технология производства силикатного кирпича с заменой в технологической линии отделения помола извести отделением помола шлака и введением емкости для жидкого стекла. Предусмотрена обработка изделий в пропарочных камерах. Выпущена опытная партия ШЩ-кирпичей. Кирпич рекомендован для строительства малоэтажных неотапливаемых зданий. Позднее в составе технологического цикла на ТЭЦ-2 г. Ижевска был построен цех для производства ШЩ – кирпича на основе золы уноса.

## 2. Золоминеральные смеси для оснований дорожных одежд

На основе принципа «контактного твердения» в ИжГТУ разработаны минеральные золошлаковые композиции для оснований дорожных одежд автомобильных дорог [1]. В качестве компонентов использовались следующие материалы: природная песчано-гравийная смесь, золошлаковая смесь гидроудаления ТЭЦ кислого состава, активаторы – воздушная негашеная известь и портландцемент. В соответствии с планом эксперимента в лаборатории готовились смеси оптимальной влажности, из которых прессовались образцы – цилиндры ( $H = D = 71,4$  мм,  $H = D = 101$  мм) под давлением 20 МПа. Оптимальную влажность устанавливали подбором с помощью прибора для стандартного уплотнения СоюздорНИИ. Образцы сразу после изготовления имели хороший внешний вид, не имели трещин, выкрашиваний и других видов деформаций. Прочность в возрасте 7 сут. в среднем составила 60-70 % от R28. Во всех составах наблюдается неуклонный рост прочности с течением времени (рис. 1), причем форма кривых дает основание предположить, что прочность будет возрастать; в возрасте 360 сут. она достигала двух-четырёхкратной прочности R28.

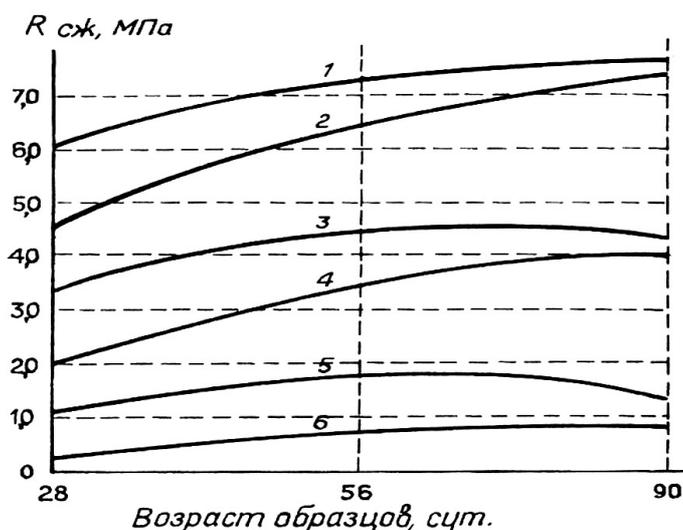


Рис. 1. Изменение прочности во времени золоцементных образцов, содержащих: 20 % золы и цемента 5 (1), 3 (3), 1 (5), %; 30 % золы и цемента 5 (2), 3 (4), 1 (6), %.

Наибольший прирост прочности наблюдался после 90 сут. твердения, что подтверждает пуццолановый эффект материалов на основе золы. Получены активированные золошлаковые смеси с гравием марок 20, 40, 50, 60, рекомендуемые для оснований дорожных одежд 3, 4, 5 категорий. Микроскопический анализ показал (рис. 2), что новообразования в золоминеральных композициях носят гелевый и слабозакристаллизованный характер. Но при этом отмечается плотный контакт на границах «вяжущее – песок», «вяжущее – гравий» (рис. 3).

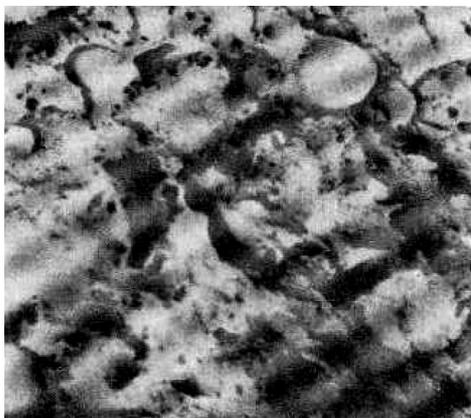


Рис. 2. Микроструктура золоцементного образца, общий вид  $\times 600$

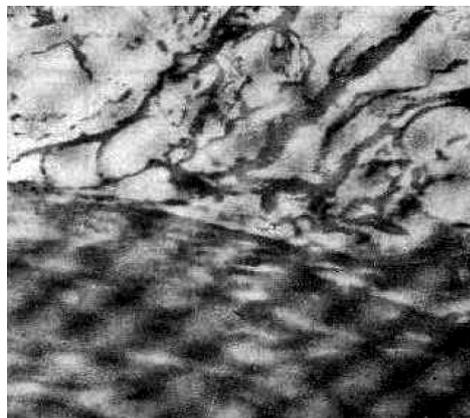


Рис. 3. Микроструктура золоцементного образца: (а) – контактная зона «вяжущее – песок»  $\times 3000$ ; (б) – контактная зона «вяжущее – гравий»  $\times 120$

Наблюдения за строительством опытных участков дорог показали важную роль уплотнения смеси при оптимальной влажности в получении качественного основания, особенно в начальные сроки твердения. Уже на следующий день формируется плотное прочное основание, а через 3 дня можно укладывать асфальтобетонное покрытие. Для определения деформативных характеристик дорожной одежды в натуральных условиях на опытных участках были проведены штамповые испытания. Модуль упругости дорожной одежды на участках с избыточным увлажнением при укладке смеси на 14 % ниже, чем на участках с укладкой смеси при оптимальной влажности, что свидетельствует о различном характере твердения укрепленных гравийно-песчаных смесей. По данной технологии в Удмуртии построено несколько участков дорог, показывающих хорошие эксплуатационные характеристики оснований из золоминеральных смесей. Модуль упругости новой конструкции дорожной одежды составил 440...510 МПа. Мониторинг состояния опытных участков в течение 20 лет показал отсутствие каких-либо деформаций, разрушений, связанных с работой основания. Проведено испытание образцов в возрасте 20 лет: наблюдается неуклонный рост прочности в возрасте 28, 56, 90, 360 суток; в последующие годы прочность стабильная, не наблюдается её снижения. По данным микроскопического анализа, образцы имеют более плотную однородную структуру, свидетельствующую об отсутствии деструктивных процессов, упорядочении структуры с течением времени, что гарантирует высокие эксплуатационные качества исследуемого материала.

### 3. Укрепление грунтов органическими стабилизаторами

Важной особенностью глинистых грунтов (супесей, суглинков и в особенности глин) является то, что при увлажнении они образуют систему, для которой характерны такие явления, как коагуляция, адсорбция, ионный обмен. С ростом дисперсности резко возрастает гидрофильность. В увлажненном состоянии грунт представляет собой дисперсную систему, в которой минеральные частицы являются дисперсной фазой, а растворы и вода – дисперсной средой. Всякая дисперсная система обладает поверхностной энергией. Поверхностная энергия грунтов, обусловленная, главным образом, удельной поверхностью его зерен, является источником энергии для процессов, протекающих в грунтах. Это играет большое значение в структурообразовании укрепленных грунтов. Чем больше удельная поверхность зерен ( $S_{уд}$ ), тем больше их поверхностная энергия, тем выше их поверхностная энергия, тем выше их адсорбция, т.к. молекулы, лежащие в поверхностном слое, способны притягивать из окружающей среды и удерживать молекулы коллоидных частиц и других веществ. Коллоидные частицы несут в себе электрический заряд, который возникает в результате электрической среды, образующейся в природе за счет растворения и распада некоторых веществ на ионы.

Большинство грунтовых частиц в естественном состоянии заряжены отрицательно (анионы). Анионы окружены катионами, образуя двойной электрический слой. Чем больше заряд частиц, тем устойчивее коллоидная система. Потеря заряда (нейтрализация) ведет к разрушению системы (коагуляции).

Грунты обладают ярко выраженной поглотительной способностью. Особенно важна обменная (физико-химическая) поглотительная способность, в результате которой грунт резко меняет свои химические, физические и механические свойства. Это явление наблюдается при химическом укреплении грунтов. Если в грунтах имеются катионы щелочных металлов ( $Na^+$ ,  $K^+$ ), то при избытке влажности растворы приобретают щелочную реакцию, а отрицательно заряженные коллоиды стабилизируются в состоянии золя, делаются более устойчивыми. В грунтах, насыщенных двухвалентными катионами ( $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ), коллоиды коагулируют, образуя прочную, водостойкую микроструктуру. При химическом укреплении грунтов образуется коагуляционная структура различной прочности [5].

Исследование укрепленных грунтов концентратом СОИЛ-2000 – органической жидкостью малой концентрации – слабокислой реакции проводилось на супесчаных и суглинистых грунтах УР. Концентрат вводился в грунт вместе с водой затворения, количество которой соответствовало оптимальной влажности. Из полученных смесей методом прессования изготавливались образцы – цилиндры  $D = H = 50$  мм. Повышение концентрации СОИЛ-2000 способствовало снижению высоты капиллярного подъема воды с 5 до 3 мм. Микроскопические исследования (рис. 4 а, б) показали образование плотной, однородной структуры.

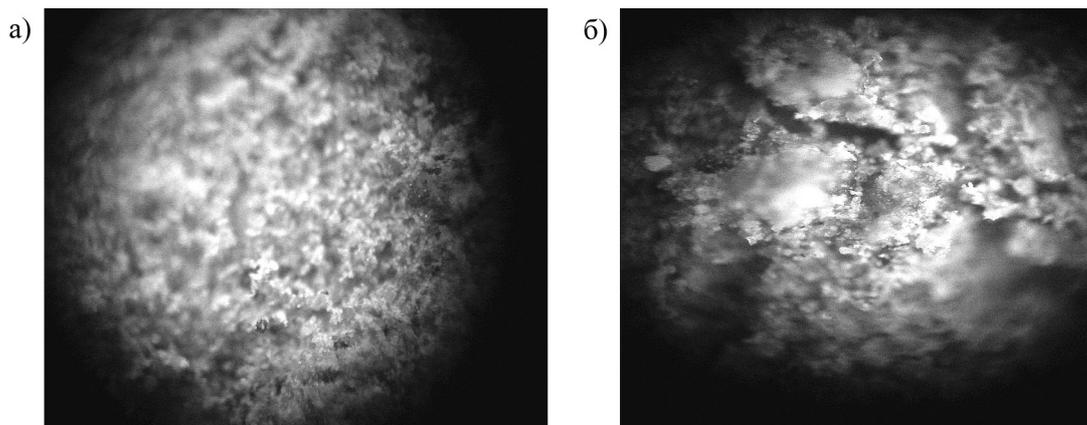


Рис. 4. Микроструктура грунтов, стабилизированных концентратом СОИЛ-2000:  
(а) – суглинка, (б) – супеси

По данным ИК – спектраскограммы, наличие ионов  $\text{OH}$ ,  $\text{Cl}$  в СОИЛ-2000 способствует ионному обмену с грунтами. И, как результат, адсорбция и глубокое проникновение концентрата в структуру грунта. Соблюдение принципа уплотнения при оптимальной влажности, обеспечивающей максимальную плотность, обуславливает повышение несущей способности грунта, его водостойкости, что особенно важно при строительстве автомобильных дорог, зданий, сооружений в сложных грунтово-гидрологических условиях.

Таким образом, исследования композиций, объединённых принципом формирования структуры «контактного твердения», способствуют созданию новых технологий в промышленном, гражданском, дорожном строительстве, обеспечивающих высокую плотность, прочность, водостойкость композиций, особенно в начальные сроки твердения. Все это способствует повышению эксплуатационных показателей материалов и конструкций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юдина Л.В., Юдин А.В. *Металлургические и топливные шлаки в строительстве*. – Ижевск: Удмуртия. – М.: АСВ, 1995. – 160 с.
2. *Щелочные и щелочно-земельные гидравлические вяжущие и бетоны* / Под ред. Глуховского В.Д. – Киев: Высшая школа, 1979. – 232 с.
3. Глуховский В.Д. и др. *Шлакощелочные цементы и бетоны*. – Киев: Будивельник, 1978. – 200 с.
4. Юдина Л.В., Турчин В.В. *Исследование возможности применения мартеновских шлаков в шлакощелочных композициях. (Доклад) / Труды шестой Национальной конференции*. – София, 1991. – С. 350-353.
5. Юдина Л.В., Орбан Е. *Физико-химические основы укрепления грунтов органическими стабилизаторами / Труды международной конференции*. – Ижевск, 2007. – С. 222-227.
6. Юдина Л.В. *Композиционные строительные материалы контактного твердения / Труды международной научно-технической конференции «Стройкомплекс-2008»*. – Ижевск, 2008.