

МЕЛКОДИСПЕРСНЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ В СТРУКТУРЕ ДОРОЖНОГО БЕТОНА

Бусел А.В., д-р техн. наук, профессор (БНТУ),
Кротов Р.Г., директор ЗАО «Прогрестех»

Основываясь на теоретических положениях бетоноведения [1], разработанных профессором Ахвердовым И.Н., и при непосредственном его участии в 1985-1988 годах, была создана технология введения мелкодисперсного крупнотоннажного отхода калийного производства глино-солевого шлама (ГСО) в дорожный бетон с целью экономии цемента.

Гранулометрический анализ соленосных шламов глин Старобинского калийного месторождения показал, что они относятся к полидисперсным материалам в которых содержание фракции меньше 1 мкм колеблется в пределах 20,5- 42,8 мас. %, фракции 5-1мкм – 17,7 – 37,5 мас. %, фракции 10-5 мкм – 8,4-27,7 мас. %. При этом в крупных фракциях глин содержание алюмосиликатных минералов уменьшается, а содержание доломита, кальцита и ангидрита возрастает. Присутствующие в нерастворимом остатке карбонатные и сульфатные минералы, действуя коагулирующим образом на тонкие глинистые фракции, цементируют их в более крупные агрегаты.

ГСО содержат в своём составе, масс. %: хлорид натрия 19-35, хлорид калия 15-17, сульфат кальция 0,1-2,0, сульфат магния 0,1-2,0, нерастворимый в воде остаток 40-70. По минералогическому составу нерастворимый остаток представлен смесью 60-85% алюмосиликатных минералов (гидрослюды с примесью монтмориллонита и гидрохлорита) и 15-40 % карбонатосодержащих пород (доломит, кальцит).

Известно [2], что глины обычно используются в количестве 15-30% в составе сырьевой смеси при получении цемента. В основном применяют каолиновые, монтмориллонитовые и гидрослюдистые глины. ГСО содержат оксиды, необходимые для образования клинкерных минералов: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 (см. табл. 1), поэтому их присутствие в составе бетонов может быть оправдано.

Таблица 1 – Химический состав проб ГСО

Пробы	Содержание оксидов, масс.%										
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	п.п.п.	Сумма
1	29,84	6,89	3,52	0,38	9,80	6,25	2,23	5,85	15,32	20,00	100,08
2	19,90	4,51	2,84	0,25	7,84	3,63	1,33	17,38	13,97	27,93	99,58

Принимая решение об использовании ГСО в качестве добавки в дорожный бетон, учитывалось, что введение монтмориллонита и гидрослюды предполагает улучшение удобоукладываемости бетонной смеси и снижение водвяжущего отношения. Мелкие глинистые частицы способны удерживать вла-

гу, постепенно отдавая её цементу, это способствует его равномерному твердению. При этом потеря воды приводит к усадке глинистых частиц и образованию замкнутых пор.

Вторым фактором, способствующим данному техническому решению, явилось наличие в составе ГСО мелкодисперсных частиц доломита и кальция, которые могут служить инициаторами ускоренного твердения цемента (центрами кристаллизации). Кроме того эти частицы снижают усадку цементного камня при твердении.

В третьих учитывалось наличие в составе ГСО хлоридов натрия и калия, способствующих ускорению процесса набора прочности бетона, что позволяет расширять строительный сезон за счет возможности зимнего бетонирования. Присутствие незамерзающего раствора солей (при температуре до $-18 \dots -21^\circ\text{C}$) в порах бетона увеличивает его морозостойкость при воздействии суточных перепадов температуры.

Для получения максимального эффекта необходимо было равномерно распределить ГСО в объеме бетона и обеспечить высокую площадь его контакта с цементом, поскольку нарушение данного требования могло привести к дефектообразованию в структуре цементного камня и снижению его прочности.

Расчеты показали, что введение ГСО в состав бетона в количестве 10 % от массы цемента при водоцементном отношении 0,3-0,4 приводит к концентрации в воде затворения NaCl около 10 мас. %, а KCl – около 5 мас. %. Это значит, что ионная сила раствора такова, что он относится к концентрированным. При этом активность ионов натрия составляет $a_{\text{Na}}=0,48$, ионов калия – $a_{\text{K}}=0,12$, ионов хлора – $a_{\text{Cl}}=0,60$ моль/л, что свидетельствует о необходимости учёта взаимодействия этих ионов с минералами портландцементного клинкера. При увеличении ионной силы раствора при затворении растворимость минералов повышается.

При наличии NaCl в воде затворения в процессе обменной реакции с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ образуется хлорид кальция. Комбинированная добавка NaCl+CaCl₂ резко ускоряет гидратацию минералов портландцементного клинкера. Появление в растворе CaCl₂ и увеличение концентрации Ca^{+2} изменяет пресыщение жидкой фазы относительно гидросульфатоалюмината кальция, ускоряя его кристаллизацию на ранних стадиях твердения. Так в течение первого часа твердения гидросульфатоалюмината кальция образуется столько же, сколько его образуется за сутки при затворении цемента водой без добавок.

Образовавшийся хлорид кальция вступает во взаимодействие с алюминатной и алюмоферритной составляющими портландцементного клинкера, а также повышает растворимость алита и белита. В первые часы наряду с гидросульфатоалюминатом образуется гидрохлоралюминат кальция ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), гидрохлоралюмоферрит ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) и гидрохлорферрит кальция ($2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

Мелкодисперсные частицы глины сорбируют из раствора значительное количество воды, что снижает водоцементное отношение (В/Ц) при требуемом уровне подвижности бетонной смеси и способствует увеличению проч-

ности бетона (R_b) которая, согласно данных И.Н. Ахвердова [4], напрямую зависит от количества связанной воды на частицах цемента:

$$R_b = \alpha C R_{ц} \sqrt{1 - \eta_x} \left[\frac{1 + 2,0 K_{нг}}{1,22 K_{нг}} (В/Ц) - 2 K_{нг} \right]^{-1},$$

где $R_{ц}$ – активность цемента,

$\alpha, C, \eta_x, K_{нг}$ – коэффициенты, характеризующие технологические параметры, непосредственно влияющие на прочность бетона.

Изменение пористости цементного камня в процессе его фазовых превращений происходит вследствие увеличения объема новообразований в цементном геле. Присутствие частиц глины в составе ГСО, обладающих способностью уменьшаться в объеме в процессе водоотделения, способствует снятию внутренних напряжений при формировании устойчивой структуры бетона.

Для реализации указанных предпосылок получения требуемой структуры бетона было предложено глино-солевой шлам диспергировать в воде затворения путем его кавитационной обработки в центробежном насосе-диспергаторе [5]. С помощью института «Белгорхимпром» была создана технологическая линия, схема которой приведена на рис.1.

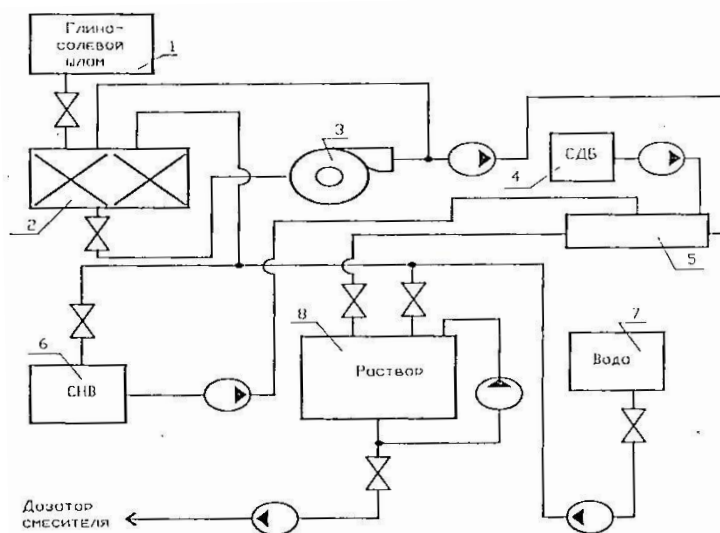


Рисунок 1 – Технологическая схема введения глино-солевого шлама в цементнобетонную смесь

- 1 – приемная емкость глино-солевого шлама; 2 – смесительная ёмкость;
3 – насос-диспергатор; 4 – емкость для СДБ; 5 – мерная емкость; 6 – емкость для СНВ; 7 – резервуар для воды; 8 – ёмкость для раствора добавок.

Бетон с ГСО имел более высокую прочность в сравнении с обычно применяемым бетоном для дорожных покрытий (см.табл. 2, 3).

Таблица 2 – Состав бетонной смеси

Наименование материалов	Расход материалов, масс. %	
	Состав №1 (обычный)	Состав №2 (с ГСО)
Щебень 5-20 мм	18,37	18,48
Щебень 20-40 мм	27,40	27,53
Песок	31,55	31,78
Цемент	14,53	13,08
Вода	6,15	5,67
Глино-солевой отход	-	1,46
СНВ	0,18	0,18
СДБ	1,82	1,82

Прочность бетона на сжатие оценивали по результатам испытания образцов-кубов с размером ребра 100 мм, прочность на растяжение при изгибе призм квадратного сечения размером 100×100×400 мм, прочность на растяжение при раскалывании образцов-кубов с ребром 100 мм.

Таблица 3 – Прочностные показатели бетона на 28 сутки твердения

Состав № п/п	Прочность на сжатие, МПа	Прочность на растяжение при изгибе, МПа	Прочность на растяжении при раскалывании, МПа
1	23,9	4,1	1,2
2	39,1	5,7	2,3

Из приведенных данных следует, что при замене 10 мас. % цемента на ГСО механические характеристики бетона возрастают. Эти положительные результаты послужили основанием для выполнения более детальных исследований по оптимизации состава цементобетона и изучению его свойств в процессе практического применения для строительства местных дорог.

Производственный опыт показал, что введение ГСО в количестве 4-12% от массы вяжущего способствует увеличению скорости твердения бетона (за 14 суток бетон набирает стандартную прочность), обеспечивает повышение морозостойкости (потери прочности и массы после 150 циклов ниже чем у обычного бетона), приводит к улучшению удобоукладываемости цементнобетонной смеси (требуемая осадка конуса равная 2 см наблюдается при содержании воды на 6-9% меньше, чем в контрольном составе).

В течение строительных сезонов 1988-1989 годов в ДСУ-38 Дорожно-строительного реста №3 (г.Могилев) было выпущено 25,5 тыс.м³ бетона (класс В22,5), что позволило сэкономить 765 тонн цемента и построить при этом 21,3 км местных дорог. За покрытиями на дорогах Каменка-Слобода, Левковщина-Красница и Слобода-Сластены было установлено наблюдение, которое показало длительную устойчивость цементобетона (рис. 2) к воздей-

ствию транспорта, погодно-климатических факторов, противогололедных реагентов (срок эксплуатации более 25 лет).

Таким образом, была научно обоснована и практически доказана эффективность введения мелкодисперсного наполнителя в дорожный бетон. За прошедшие годы произошло дальнейшее развитие заложенных профессором Аквердовым И.Н. теоретических основ бетоноведения, что привело к новым техническим решениям по получению высокопрочного дорожного бетона путем введения в его структуру эффективных наполнителей.



Рисунок 2 – Современное состояние бетонного покрытия

Так быстротвердеющие высокопрочные бетоны, разработанные и применяемые в ЗАО «Прогресстех», включающие мелкодисперсные наполнители в виде микрокремнезема и зол уноса (состав 1), имеют явное преимущество (см. рис.3) перед традиционным дорожным бетоном (состав 2). На бетонном покрытии рулежных дорожек Национального аэропорта в мае 2013 года был выполнен ремонт покрытия с применением указанных материалов. За 4 часа прочность бетона достигла 39 МПа, что позволило снять ограждение и открыть движение воздушного транспорта.

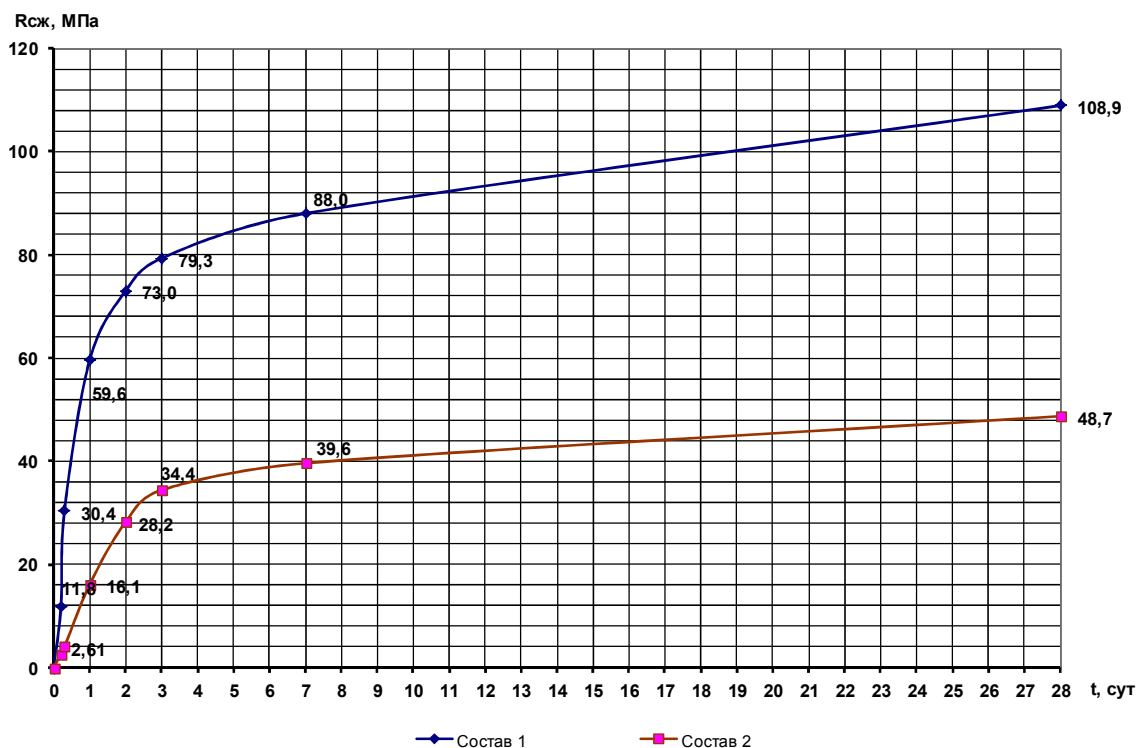


Рисунок 3 – Кинетика набора прочности

Это решение может быть востребовано и при ремонте дорог. Практика показывает, что затраты на ремонт старых бетонных покрытий не превышают 10-12% от стоимости нового строительства. Поэтому в перспективе следует иметь программу восстановления уже построенных бетонных дорог и строительства новых с использованием высокопрочных бетонов, включающих эффективные дисперсные добавки из техногенных отходов.

Литература. 1. Ахвердов И.Н. Теоретические основы бетоноведения – Мн.: Высш.шк. 1991–188с. 2. Микульский В.Г., Сахаров Г.П. и др. Строительные материалы – М.: ИАСТВ, 2007 – с. 196-205. 3. Курбатова И.И., Джумагалиев М.Д. Влияние хлорида натрия на кинетику формирования структур твердения цементных плит / Коллоидный журнал, 1973, т.35, вып 2. – с 370-373. 4. Ахвердов И.Н. Технология железобетонных изделий и конструкций специального назначения – Мн.: Нав.і тэхн., 1993 – 240с. 5. Бусел А.В., Домненко В.М., Кротов Р.Г. Цементобетонные покрытия на местных автомобильных дорогах/ Автомобильные дороги и мосты, 2015, №2(16) – с.109-112.