

АКАДЕМИЯ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР  
ИНСТИТУТ СООРУЖЕНИЙ

---

---

Инженер С. В. СУББОТИН

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В БЕТОНЕ ПЕСКА  
С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЛЁССОВИДНЫХ ПРИМЕСЕЙ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

ТАШКЕНТ 1956

Научный руководитель  
кандидат технических наук Н. С. Гражданкина.

Работа представлена одним томом и содержит 129 страниц машинописного текста, 57 таблиц и 91 рисунок.

## ВВЕДЕНИЕ

Широкое распространение песчано-гравийных залежей в Узбекистане позволяет, как правило, организовать заготовку песка для бетона непосредственно в районе строительства. Однако песок значительной части месторождений загрязнен глинистыми и пылевидными примесями сверх норм, установленных ГОСТ.

Повышенная загрязненность песка требует организации его промывки. Эта на первый взгляд простая операция осложняет производство работ в зимнее время, вследствие чего, при наличии материала буквально в котловане сооружения, строители вынуждены организовывать подвозку более качественного песка по железной дороге или автотранспортом, иногда на десятки и сотни километров. Вместе с тем при использовании выпускаемых в настоящее время высокоактивных цементов в бетонах средних и низких марок необходимо вводить в бетон добавки-уплотнители, одним из видов которых могут быть глина или лёсс, обеспечивающие в совокупности с цементом минимально-допустимый расход «вяжущего». В большинстве случаев отмытые из песка примеси по своему составу очень схожи с искусственно вводимыми добавками. Поэтому вполне естественен интерес, который проявляют строители к использованию песка, имеющего загрязнение сверх допускаемого ГОСТ.

Исследования Хуторянского М. С., Сизова В. П., Алексева К. В. и др. показывают возможность использования в бетонах песка с повышенным содержанием глинистых и лессовидных частиц, имеющих естественную измельченность до крупности искусственно вводимых добавок.

Опыт применения «загрязненных» песков без промывки имеется и в Узбекистане, однако, получаемый в отдельных случаях успех объяснялся специфичностью примесей в местных песках, а не их структурным состоянием. Естественное измельчение примесей в песках УзССР является довольно редким случаем, вследствие чего вопрос об использовании песка с повышенным загрязнением может рассматриваться только в связи с способностью примесей диспергироваться в момент приготовления бетона. Умение влиять на процесс диспергирования позволило бы расширить возможности использования «загрязненного» песка.

В решении данной задачи могут быть использованы некоторые положения физической и коллоидной химии. В трудах академика

П. А. Ребиндера, Н. Н. Серб-Сербиной, В. С. Шарова, К. Царевича, А. И. Цюринова и др. освещены вопросы теории и практики использования поверхностно-активных добавок при бурении. Являясь «понижителями твердости» горных пород, некоторые добавки повышают гидрофильность как частиц глины в промывочных растворах, так и частиц выбуренной породы, препятствуя этим хлопьеобразной коагуляции их друг с другом. Использование добавок облегчает диспергирование глины в момент приготовления промывочных растворов.

В нашем случае примеси в песке объединяются в агрегаты за счет цементации, главным образом, глиной. Это позволяет провести некоторую аналогию между приготовлением промывочных глинистых растворов, употребляемых при бурении на нефть, и диспергированием примесей в момент перемешивания бетона. В случае наличия более устойчивых цементов, объединяющих частицы примесей, поверхностно-активные вещества будут играть роль добавок «понижителей твердости», обеспечивающих проникновение воды в микротрещины агрегата, вследствие чего усилится расклинивающее действие водных пленок. Присутствие в растворе или бетоне поверхностно-активных веществ исключит коагуляцию мельчайших частиц примесей, получаемых за счет механического диспергирования и пептизации, а также предохранит песчинки от обволакивания их глиной.

Проверке высказанных предположений и посвящена работа автора.

## I. Материалы, принятые для исследования

### А. Песок

Основные месторождения песка «нормальной» крупности в Узбекистане представляют собой современные аллювиальные отложения рек и саев. Большая часть отложений состоит из смеси песка и гравия и связана с деятельностью рек республики: Сыр-дарьи, Чирчика, Ангrena, Зеравшана, Кара-дарьи и др. Учитывая сравнительную однотипность примесей как по их генезису, так и по составу, для исследования были выбраны пески 4-х месторождений:

1. Поймы р. Чирчик в районе ж. д. ст. Сергели;
2. Поймы р. Ангрен в районе ж. д. ст. Ахан-Гаран;
3. Карьера «Придоново», расположенного на левом берегу р. Сыр-дарьи, в западной части Ферганской долины;
4. Карьеров на трассе канала «Иски-Ангар», представляющих собой конусы выноса небольших саев.

Анализ загрязненного песка по методике, рекомендуемой ГОСТ 4795-53, не дает истинного представления о его качестве. Частицы, находясь в агрегатах, завышают модуль крупности, значительно снижают фактическую величину удельной поверхности, а также искажают определяемый объем пустот в песке. В этом случае более правильно рассматривать отдельно промытый песок (табл. 1) и частицы, удаленные из песка в момент промывки.

По гранулометрическому составу выбранные пески приближаются к большинству встречающихся в Узбекистане песков «нормальной» крупности. Содержание в песке органических примесей и SO<sub>2</sub> находится в пределах, допускаемых ГОСТ. По минералогическому составу пески относятся к разряду полиминеральных и только песок Иски-Ангарского месторождения приближается к кварцевым пескам. В их составе в основном преобладают легкие минералы (кварц, полевые шпаты, аргилит и др.). Большинство минералов, в той или иной степени, покрыто карбонатной корочкой. В песке Придоновского месторождения корочки, помимо карбонатов, содержат и окислы железа. Несколько слабее ожелезнены минералы песка Ангренского месторождения.

Таблица 1  
Основные характеристики промытого песка

№№ п. п.	Характеристика	Единица измерения	Месторождения			
			Чирчик	Ангрен	Придоново	Иски-Ангар
1	Удельный вес	кг/л	2,60	2,57	2,73	2,57
2	Объемный вес	"	1,50	1,52	1,79	1,56
3	Объем пустот	%	42,00	41,00	34,50	39,30
4	Модуль крупности	—	1,70	2,16	2,74	3,36
5	Ср. диаметр частиц	мм	0,34	0,36	0,42	0,73
6	Величина уд. поверх.	см <sup>2</sup> /г	150,00	120,00	60,00	40,00
7	Количество отмученных частиц	%	8,50	11,30	11,50	8,30

Б. Частицы, удаляемые из песка в момент промывки («примеси»)

В момент промывки в основном удалялись «отмучиваемые» частицы, однако, в их составе имеется незначительное количество и более крупных частиц (табл. 2).

Таблица 2  
Фракционный состав отмытых из песков примесей

Месторождение	Фракционный состав в % по диаметрам в мм						
	1,00 - 0,50	0,50 - 0,25	0,25 - 0,13	0,13 - 0,05	0,05 - 0,01	0,01 - 0,005	< 0,005
Чирчик	1,88	0,45	0,69	20,38	53,50	10,10	13,20
Ангрен	0,60	0,57	1,05	14,28	65,50	7,50	10,50
Придоново	0,00	0,05	0,04	14,62	46,32	14,79	24,18
Иски-Ангар	0,80	0,20	0,40	3,70	33,00	19,90	42,00

Месторождение	Валовой состав в % на абс. сухой вес								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>1050</sub>	П. П. П.	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O
Чирчик . . .	49,96	10,35	3,00	14,84	3,25	1,560	—	15,92	1,12
Ангрен . . .	63,40	14,16	3,24	4,57	2,90	0,680	1,39	6,19	3,47
Придоново . . .	31,80	7,30	2,60	26,18	4,10	1,380	0,20	25,92	0,52
Иски-Ангар . . .	48,16	13,10	4,40	11,90	3,50	0,880	0,30	14,80	2,97

В песках месторождений Чирчик, Ангрен и Придоново химический состав примесей (табл. 3), хотя и очень близко подходит к лёссам соответствующего района, однако, остается более родственным составу самого песка. Это указывает на то, что примеси, по сравнению с песком, являются продуктом только более полного разрушения горных пород. В Иски-Ангарском месторождении химический состав песка и примесей резко различается, в то же время состав примесей близко подходит к химическому составу самаркандского лёсса. В этом случае загрязнение песка, повидимому, происходило за счет наносов, содержащихся в воде, разрушающей на своем пути лёссовую толщу.

Такое генетическое деление примесей в песке подтверждается и их минералогическим составом. В песках Чирчикского, Ангренского и Придоновского месторождений в составе примесей повторяются в основном те же минералы, что и в песке: кварц, полевые шпаты, аргилит. В песке Иски-Ангарского месторождения примеси образуют слюдисто-глинистую массу с примесью алеврита, состоящего преимущественно из кварца. В примесях отсутствуют активные формы кремнезема, кремнекислота которого могла бы вступать в химическую реакцию со щелочами, как содержащимися в цементах, так и вводимыми в бетоны в качестве диспергирующих добавок, а также минералы, считающиеся вредными примесями к глинам, идущим в цементно-глиняные растворы (пирит, марказит, мелантерит, гипс и др.).

Микроскопическое изучение структуры примесей показало, что большая часть их объединена в агрегаты различной величины: от мельчайших крупинок до комочков размером 5 мм и более. В современных аллювиальных отложениях цементация агрегатов обуславливается в основном коллоидными связями глинистых фракций. В более древних отложениях, помимо глины, цементирующим веществом могли явиться коагели полуторных окислов и соли [mR<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · n H<sub>2</sub>O]; CaCO<sub>3</sub> и др.] .

Примеси обладают небольшой емкостью обмена (табл. 4) при значительном преобладании обменных катионов кальция и магния. В силу этого можно предполагать качественный дефицит коллоидных фракций и нахождение их в коагулированном состоянии с частичным образованием «псевдопылеватости».

Сравнительная оценка гранулометрического, химического и минералогического составов, а также состава обменных катионов (емкости поглощения), дает основание отнести примеси к категории лёссовидных и сравнивать их влияние на цементные растворы и бетоны с влиянием лёссовых, а не глинистых добавок.

Таблица 4

## Обменные катионы в составе примесей

Месторождение	В %			В мгр/экв.			Ёмкость поглощения
	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup> + Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup> + Na <sup>+</sup>	
Чирчик . . .	0,1320	0,0360	0,0150	6,6	1,3	0,6	8,5
Ангрен . . .	0,1920	0,0080	0,0115	9,6	0,5	0,5	10,6
Придоново . . .	0,1080	0,0430	0,0115	5,4	1,2	0,5	7,1
Иски-Ангар . . .	0,1860	0,0040	0,0140	9,3	0,5	0,6	10,4

## В. Цемент, гравий, вода

При проведении опытов были использованы четыре вида цемента: портландцемент, глиеж-портландцемент (16,97% глиежа), шлако-портландцемент и глиноземистый цемент (табл. 5).

Таблица 5

## Удельная поверхность и активность цемента

Вид цемента	Удельная поверхность см <sup>2</sup> /гр	Активность кг/см <sup>2</sup>
Портландцемент . . .	2740	475
Глиеж-портландцемент . . .	2680	368
Шлако-портландцемент . . .	2500	364
Глиноземистый цемент . . .	3550	514

Для приготовления бетона использовался гравий Чирчикского месторождения, отвечающий требованиям ГОСТ.

Вода бралась из Ташкентского водопровода, имеющая водородный показатель рН = 7.2—7.3.

## II. Влияние примесей в песке на свойства цементного раствора и бетона

### А. Прочность

При изучении влияния примесей на прочность раствора песок брался различной степени загрязнения: 0; 5; 10 и 15%. Тот или иной процент загрязнения получался за счет смешивания в определенной пропорции естественного и промытого песка, что позволяло сохранить агрегатное состояние примесей и проследить его влияние на свойства цементного раствора. Только в одном случае, при повышении загрязнения сверх естественного, приходилось добавлять в песок небольшое количество примесей, собранных в момент промывки. Влияние примесей на прочность бетона наблюдалось только при использовании промытого песка и песка с естественным загрязнением.

Изготовление, хранение и испытание образцов велось в соответствии с указаниями ГОСТ 4795—53.

Проведенные опыты показали, что присутствие примесей в песке приводит к снижению прочности бетона и раствора при сжатии, растяжении и изгибе (табл. 6, 10). Вместе с тем наблюдается нормальное нарастание прочности во времени, указывающее на то, что примеси в песке по своему химическому и минералогическому составу не являются вредными по отношению к цементу.

Снижение прочности вследствие загрязнения песка может быть объяснено влиянием ряда факторов. Существенное значение имеет величина водоцементного отношения. Наблюдение над свежесозданными смесями показало, что водопотребность раствора одинаковой подвижности увеличивается пропорционально проценту загрязнения песка, однако, зависимость между В/Ц и прочностью не остается постоянной.

Таблица 6

Зависимость водоцементного отношения и прочности бетона от качества песка

Месторождение песка	Ц:(П+Г)	В/Ц		R <sub>28</sub> в кг/см <sup>2</sup>	
		Песок промытый	Песок естественного загрязнения	Песок промытый	Песок естественного загрязнения
Ангрэн	1:4	0,44	0,53	404,0	320,0
	1:6	0,56	0,65	300,0	231,0
	1:8	0,66	0,77	221,0	170,0
	1:10	0,90	0,96	129,0	111,5
Придоново	1:5	0,42	0,50	435,0	313,0
	1:7	0,55	0,62	270,0	255,0
	1:9	0,62	0,69	242,0	234,0
	1:11	0,74	0,90	150,0	142,0

Опытами установлено, что в жирных составах раствора (1:2, 1:1) присутствие примесей снижает прочность более обус-

лавливаемого повышением водоцементного отношения. В малоцементных же составах (1:4), наоборот, фактическая прочность оказывается выше той, которую можно было ожидать, исходя из расчетной зависимости между В/Ц и прочностью.

Немаловажное значение имеют гранулометрия и пустотность песка. Растворы с песками, обладающими меньшей густотностью, более чувствительны к присутствию примесей. В этом случае примеси ухудшают общую гранулометрию смеси, создавая избыток образующегося «сложного вяжущего» (цемент + примеси), имеющего по сравнению с чистым цементом пониженную прочность.

В случае наличия на песчинках глинистых оболочек происходит снижение сил сцепления между песком и цементным камнем. Одним из факторов, вызывающих снижение прочности раствора или бетона вследствие загрязнения песка, является уменьшение площади цементного камня в сечении образца за счет малопрочных агрегатов, частично сохраняющихся в момент перемешивания. Объясняется это тем, что насыщенность глинистой части примесей кальцием затрудняет диспергирование частиц и приводит, в лучшем случае, лишь к образованию «псевдозоля». Возможна также коагуляция мельчайших частиц за счет ионов-коагуляторов, появляющихся в растворе в момент гидролиза клинкерных минералов. Коагуляция будет носить лиофобный характер и приводить к образованию хлопьев. Подобное явление наблюдалось в одном из определений гранулометрического состава примесей, когда в качестве среды был использован известковый раствор, содержащий 1,19 г. СаО на литр, что примерно соответствовало возможной концентрации извести в цементном растворе (табл. 7).

Таблица 7

Коагуляция тонких фракций за счет ионов кальция

Месторождение песка	Фракционный состав в % по диаметрам в мм					
	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	V
Чирчик	0,47	0,71	20,67	53,50	10,47	12,30
	0,48	0,67	20,22	76,32	0,59	1,72
Ангрэн	0,58	0,92	20,80	60,00	7,50	9,60
	0,59	0,96	18,29	77,77	1,84	0,55
Придоново	0,03	0,07	15,63	47,18	12,44	24,65
	0,04	0,06	20,22	75,81	3,87	0,00
Иски-Ангар	0,20	0,50	2,80	35,20	20,00	40,50
	0,20	0,50	11,56	85,16	2,19	0,39

Примечание: В числителе показан фракционный состав, определенный в чистой воде, в знаменателе — в воде, содержащей 1,19 г. СаО на 1 л.

Значительное влияние агрегатного состояния примесей на прочность раствора подтверждается следующим опытом: одновременно изготавливались образцы из раствора одинаковой подвижности с песком естественного загрязнения (10 проц.) и из раствора с промытым песком, искусственно загрязненным таким же количеством диспергированных примесей, собранных в момент промывки песка. Механическое диспергирование примесей значительно повысило прочность раствора с «загрязненным» песком (табл. 8).

Необходимо отметить, что присутствие в растворе примесей из песка снижает водоотделение и внутреннее расслаивание раствора, однако, при агрегировании примесей это лишь несколько затормаживает влияние остальных факторов.

Режим хранения образцов не оказал существенного влияния на соотношение прочностей растворов с промытым и загрязненными песками.

Таблица 8  
Зависимость прочности цементного раствора от агрегатного состояния примесей в песке (состав 1:3, О.К. = 2,5 см).

Месторождение	Качество песка, В/Ц и R <sub>28</sub> в кг/см <sup>3</sup>					
	Песок промыт		Примеси в естеств. состоянии		Примеси диспергиров.	
	В/Ц	R <sub>28</sub>	В/Ц	R <sub>28</sub>	В/Ц	R <sub>28</sub>
Ангрен	0,74	171	0,84	142	0,78	181
Придоново	0,55	390	0,62	310	0,57	377

Изучение влияния естественных примесей в песке на прочность растворов с различными видами цемента показало, что лучшие результаты можно получить при использовании портландцемента (табл. 9).

Таблица 9  
Влияние загрязнения песка на прочность раствора с различными видами цемента (состав 1:3, О.К. = 2,5 см).

Месторождение песка	% загрязнения	Портландцемент			Шлако-портланд цемент			Глинозем. цемент		
		В/Ц	R <sub>28</sub> сжатие кг/см <sup>2</sup>	R <sub>28</sub> растяж. кг/см <sup>2</sup>	В/Ц	R <sub>28</sub> сжатие	R <sub>28</sub> растя- жение	В/Ц	R <sub>3</sub> сжатие	R <sub>3</sub> растя- жение
Чирчик	0	0,81	170	25,4	0,84	127	21,6	0,82	124	19,3
	8,5	0,82	166	27,5	0,83	114	20,9	0,88	67	11,9
Ангрен	0	0,74	171	30,6	0,76	123	22,8	0,77	112	16,3
	11,3	0,83	140	27,3	0,89	77,5	17,0	0,96	46	11,8
Придоново	0	0,55	390	46,0	0,55	210	36,9	0,47	301	34,6
	11,5	0,63	292	42,0	0,63	165	29,4	0,62	254	27,0

Глиноземистый и шлакопортландцемент в растворах с загрязненным песком показали резкое снижение прочности. Такое различие соотношения прочностей раствора с промытым и загрязненным песками при использовании отдельных видов цемента может быть объяснено как степенью увязки тонкости помола данного вида цемента с размерами частиц примесей, так и солевым составом жидкой фазы в период затворения, определяющим возможность и характер коагуляции мелких фракций.

### Б. Морозостойкость и водонепроницаемость

Присутствие примесей в песке отрицательно сказывается на морозостойкости раствора, которая снижается по мере увеличения загрязнения песка (табл. 14). Объясняется это общим падением прочности раствора, быстрым разрушением от действия мороза насыщенных водой агрегатов из частиц примесей, а также уменьшением плотности образцов, делающих их одновременно более проницаемыми для воды.

### III. Влияние поверхностно-активных добавок на свойства цементных растворов и бетонов с загрязненным песком

#### § 1. Выбор типа и концентрации добавок

Поверхностно-активные вещества органического происхождения (типа сульфолигнатов ссб) и электролиты способны изменять агрегатное состояние глины и лёсса. Электролиты, в зависимости от концентрации, могут являться либо пептизаторами, либо коагуляторами глинистых суспензий.

Академик П. А. Ребиндер, обобщая вопрос о влиянии различных реагентов на изменение свойств глинистых растворов, разделяет их на две большие группы:

1. Реагенты, стабилизирующие частицы глины, т. е. препятствующие их лиофобной коагуляции и пептизирующие агрегаты частиц. Эти реагенты при достаточно высокой концентрации могут способствовать лиофильной коагуляции, т. е. образовывать коагуляционные структуры. Обычно эти вещества являются «понижителями твердости» горных пород.

2. Реагенты, ухудшающие глинистые растворы, вызывающие дегидратацию и лиофобную коагуляцию их.

При выборе типа добавок было бы желательно получить благотворное влияние их не только на примеси в песке, но и на цемент. Во всяком случае добавки не должны быть агрессивны по отношению к цементу. При возможной химической реакции использованного электролита с продуктами гидролиза цемента не должно образовываться соединений, способных вызвать коагуляцию глины в растворе. Учитывая имеющийся опыт по использованию поверхностно-активных веществ, в качестве добавок в цементные растворы и бетоны с загрязненным песком были выбраны:

1) едкий натр, 2) раствор аммиака, 3) пирофосфат натрия, 4) сульфитно-спиртовая барда (сб), 5) смеси сб с электролитами.

В первый период работы были опробованы соапсток, хлопковое мыло и водная вытяжка мыльного корня. Однако введение веществ, способствующих вовлечению воздуха, не могло дать большой эффективности в бетонах, в которых, кроме цемента, содержалось значительное количество пылевидных частиц.

Оптимальная концентрация добавок (в расчете на воду) выбиралась путем пробных затворений раствора. Наибольшая прочность раствора состава 1:3 получалась при концентрациях: сб 0,7—0,8 проц., NaOH 0,1—0,25 проц.; NH<sub>4</sub>OH (10 проц. раствор) 2,0—2,5 проц.; Na<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,1—0,4 проц.

В процессе подбора отмечено, что пептизирующее влияние добавок на примеси в водной среде проявляется при меньших концентрациях по сравнению с теми, при которых была получена максимальная прочность раствора.

Дозирование добавок на воду затворения представляло удобство в том отношении, что при увеличении загрязненности песка в растворе одного и того же состава происходило увеличение потребного объема воды и, следовательно, увеличение количества введенной добавки. При использовании добавок электролитов указанные концентрации с достаточной для практики точностью могли быть приняты и в других составах раствора. В случае применения сб для каждого состава необходим пересчет концентрации на суммарный вес цемента и примесей.

## § 2. Свойства свежезатворенных смесей

Введение в воду поверхностно-активных добавок позволяло получать заданную подвижность раствора и бетона при пониженных водоцементных отношениях (табл. 10, 11).

Наибольший пластифицирующий эффект оказывают сб и ее смеси с электролитами, позволяющие снизить В/Ц на 10—15 проц. Отдельно взятые добавки-электролиты дают незначительное снижение водоцементного отношения. В опытах по определению нормальной густоты цементного теста установлено, что введение в воду затворения едкой щелочи и аммиака почти не изменяет водопотребность цемента и, следовательно, снижение В/Ц в пластичных растворах с загрязненным песком объясняется в основном за счет взаимодействия электролитов с примесями.

Несмотря на некоторое снижение, водоцементное отношение в растворах с добавками, так же как и до изменения агрегатного состояния примесей, возрастает по мере увеличения процента загрязнения песка. Объясняется это тем, что наряду с пластифицирующим эффектом добавки проявляется ее пептизирующий эффект. Увеличение же числа частиц в единице объема увеличивает их удельную поверхность и способствует образованию коагуляционных структур. Вместе с тем это приводит к дальнейшему снижению водоотделения и разделяемости раствора, благотворно влияющие на

Таблица 10

Зависимость водоцементного отношения и прочности раствора от процента загрязнения песка и вида поверхностно-активной добавки (состав 1:3, осадка конуса 2,5 см)

Месторождение песка	% загрязнения	В/Ц				R 28 кг/см <sup>2</sup>							
		Без добав-ки	NaOH	NH <sub>4</sub> OH	сб	При сжатии		При растяжении					
						Без до-бавки	NaOH	NH <sub>4</sub> OH	сб	Без до-бавки	NaOH	NH <sub>4</sub> OH	сб
Чирчик	0	0,80	0,78	0,76	0,72	170	187	200	179	25,4	29,1	30,6	30,1
	3	0,80	0,79	0,77	0,72	169	178	205	214	27,0	30,2	30,0	31,7
	5	0,81	0,80	0,77	0,73	169	197	209	231	27,7	29,5	29,2	30,4
	10	0,82	0,83	0,81	0,75	163	194	215	180	28,0	25,5	31,6	30,4
	0	0,74	—	0,72	0,69	171	—	210	262	30,6	—	32,8	29,1
Анреп	5	0,79	—	0,76	0,71	150	—	226	245	30,0	—	30,0	28,3
	10	0,83	—	0,81	0,76	142	—	200	217	25,6	—	28,0	27,9
	15	0,87	—	0,86	0,82	139	—	158	176	25,8	—	24,0	24,5
	0	0,53	0,48	0,47	0,42	390	486	481	458	46,0	50,4	50,8	49,5
Придоново	5	0,56	0,54	0,53	0,48	312	448	437	437	44,4	44,3	45,3	37,3
	10	0,61	0,58	0,58	0,52	310	352	363	434	41,8	45,2	46,4	43,2
	15	0,64	0,62	0,64	0,54	272	339	332	411	41,5	37,8	38,2	42,0
	0	0,57	0,54	0,54	0,48	238	321	319	332	33,1	34,4	32,6	29,8
Иски-Ангар	3	0,58	0,56	0,56	0,49	240	306	311	300	32,0	32,6	34,8	36,0
	5	0,60	0,58	0,58	0,50	246	319	309	332	32,8	34,4	32,3	37,0
	10	0,66	0,62	0,62	0,52	223	309	309	294	32,0	35,6	32,0	34,2

формирование структуры бетона. В большинстве случаев отмечалось уплотняющее действие диспергированных примесей, приводящее к увеличению объемного веса раствора и повышению его плотности.

### § 3. Свойства затвердевшего раствора и бетона

#### А. Прочность

Использование поверхностно-активных добавок приводило к повышению прочности раствора и бетона, и только при применении ссб в некоторых случаях отмечено снижение прочности при растяжении раствора как с промытым, так и загрязненным песками (табл. 10, 11).

Зависимость В/Ц и прочности бетона при сжатии с песком естественного загрязнения от его состава и типа введенной добавки (О. К. = 3 см).

Таблица 11

Месторождения песка	Ц:(П+Г)	В/Ц при использовании добавки				R <sub>28</sub> кг/см <sup>2</sup> при исполь- зовании добавки			
		Без добавки	ссб	NaOH	NH <sub>4</sub> OH	Без добавки	ссб	NaOH	NH <sub>4</sub> OH
Ангрен . . .	1:4	0,53	0,45	0,48	0,48	320	424	341	338
	1:6	0,65	0,56	0,62	0,61	231	320	260	264
	1:8	0,77	0,68	0,77	0,77	170	228	175	194
	1:10	0,96	0,86	0,94	0,94	112	132	117	117
Придоново . . .	1:5	0,50	0,42	0,50	0,48	313	452	376	322
	1:7	0,62	0,52	0,59	0,60	255	381	293	265
	1:9	0,69	0,62	0,70	0,66	234	266	230	232
	1:11	0,90	0,72	0,82	0,81	142	195	172	162

Примечание: Загрязнение песка составляло: Ангрен—11,3% и Придоново—11,5%.

Повышение прочности наблюдалось на различных составах раствора, а также при испытании образцов на изгиб. Исключение составил только раствор состава 1:1 с чирчикским песком, где было получено некоторое снижение прочности при использовании NaOH и NH<sub>4</sub>OH, что объясняется, повидимому, избытком суммарного содержания мелких фракций в растворе. Такое же явление имело место и в бетоне состава 1:4 (1:1,04:2,96) с песком Чирчикского месторождения.

Положительное влияние добавок наблюдалось уже в течение первой недели и сохранялось во все последующие сроки испытания образцов.

Таблица 12

Влияние поверхностно-активных добавок на прочность раствора с различными видами цемента (состав 1:3,0. К. = 2,5 см.)

Месторождения	% загрязнения	Вид цемента, тип добавки и предел прочности в кг/см <sup>2</sup>											
		Глиноземистый цемент				Шлако-портландцемент				Глиеж-портландцемент (16,97% глиежа)			
		Без до- бавки	NaOH	NH <sub>4</sub> OH	ССБ	Без до- бавки	NaOH	NH <sub>4</sub> OH	ССБ	Без до- бавки	NaOH	NH <sub>4</sub> OH	ССБ
Чирчик . . .	8,5	67	81	80	81	114	116	110	135	46	72	64	68
		11,9	13,2	19,0	18,2	20,9	21,0	20,7	21,7	11,8	12,4	12,6	14,0
		27,0	27,6	27,2	27,6	29,4	30,5	30,9	30,0	27,0	27,6	27,6	26,3
		254	253	236	253	165	189	181	198	254	253	236	327
Ангрен . . .	11,3	—	—	—	—	—	—	—	—	63	83	74	104
		—	—	—	—	14,7	15,8	15,5	16,6	14,7	15,8	15,5	16,6
		—	—	—	—	23,1	25,6	26,7	27,0	23,1	25,6	26,7	27,0
		—	—	—	—	110	145	150	262	110	145	150	262
Придоново . . .	11,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание: 1) В числителе показан предел прочности при сжатии, в знаменателе — при растяжении. 2) Для глиноземистого цемента прочность определялась в возрасте 3 суток.



Действие добавок на прочность раствора с загрязненным песком проверялось и на других видах цемента. Концентрация добавок в этих случаях не подбиралась, а бралась такой же как и для портландцемента. Несмотря на это, полученные результаты можно признать вполне удовлетворительными (табл. 12).

При воздушном хранении образцов из раствора с поверхностно-активными добавками наблюдался относительно большой прирост прочности. Так, например, за счет введения аммиака в раствор с песком Придоновского месторождения, при влажном хранении, прочность при сжатии в возрасте 28 суток возрастала в среднем на 25 проц. (табл. 10). При воздушном же хранении она возросла на 42 проц. Испытание на растяжение образцов из того же раствора после воздушного хранения показало увеличение прочности почти в два раза.

Увеличение прочности раствора при введении добавок связано с их пластифицирующим эффектом, приводящим к снижению водоцементного отношения; однако, только этим нельзя объяснить всей сущности происходящих явлений. Нарастание прочности происходит быстрее, чем можно было ожидать, исходя из расчетной зависимости между прочностью и водоцементным отношением. В большинстве случаев разрыв между фактической прочностью и прочностью, определяемой как  $R = i(V/C)$ , возрастает по мере увеличения загрязнения песка.

Добавка ссб, помимо взаимодействия с примесями в песке, улучшает свойства цементного камня.

Действие щелочных добавок на цемент менее определено. В присутствии щелочей несколько повышается растворимость трехкальциевого алюмината и гипса, в силу чего увеличивается скорость образования гидросульфоалюмината кальция, быстрая кристаллизация которого может привести к ускорению твердения раствора только в начальные сроки.

Проведенные испытания показали, что введение добавок-электролитов в растворы с вольским песком не дало повышения прочности как при испытании трамбованных образцов, так и образцов из пластичной смеси. Следовательно, повышение прочности раствора с загрязненным песком при использовании электролитов (табл. 10) происходило, главным образом, за счет изменения свойств примесей и, в первую очередь, за счет их диспергирования.

Повышение прочности раствора с «промытым» песком объясняется, повидимому, очищением поверхности песчинок, улучшающим сцепление с ними цемента, и более полным диспергированием примесей, остающихся в некотором количестве в песке после промывки.

Значение диспергирования примесей уже было показано ранее (табл. 8). Обратным подтверждением этого положения может служить опыт по использованию ускорителя твердения цементного раствора в виде  $CaCl_2$ , являющегося одновременно сильным коагулятором глины (табл. 13). Как и следовало ожидать, в растворе с чистым песком отмечено его ускоряющее воздействие, в то время

как при использовании загрязненного песка, наоборот, имело место даже некоторое снижение прочности.

Таблица 13

Влияние  $CaCl_2$  на прочность раствора с промытым и загрязненным песками Ангреновского месторождения (состав 1:2. О. К. = 2,5 см, размер образцов 3×3×3 см).

Характеристика песка	В/Ц, концентрация $CaCl_2$ (в % от веса цемента) $R_{28}$ сжатия в кг/см <sup>2</sup>					
	В/Ц			$R_{28}$		
	0%	2%	3%	0%	2%	3%
Песок промыт	0,56	0,55	0,55	250	273	346
Песок с 10% примесей	0,63	0,63	0,63	237	224	226

Приведенный пример заставляет более тщательно проверять качество песка при зимнем бетонировании, так как рекомендуемое в последнее время высокое содержание  $CaCl_2$  в «холодном» бетоне может не дать положительного эффекта даже при загрязнении песка в пределах, допускаемых ГОСТ.

Влияние сульфитно-спиртовой барды не только на цемент, но и на примеси в песке, можно было наблюдать в опыте, в котором сравнивалась прочность раствора с промытым и загрязненным песками при постоянном водоцементном отношении. Введение ссб в раствор с чистым песком увеличивало осадку конуса, но вместе с тем приводило и к снижению прочности. Введение же ссб в раствор с загрязненным песком, при тех же условиях, наоборот, повышало прочность, что объясняется взаимодействием добавки с примесями. Присутствие ссб в растворе увеличивает гидрофильность примесей, в некоторой степени облегчая их диспергирование. Главное же заключается в более полной стабилизации частиц вследствие развития гидратных оболочек.

В отличие от ссб, добавки-электролиты по отношению к глине обладают не только стабилизирующим, но и сильно диспергирующим свойством. Появляющиеся в растворе ионы электролита адсорбируются на частицах, создавая вокруг них мощные сольватные оболочки. В первые моменты будет сказываться стабилизирующее действие гидроксил-иона (ОН-иона), который, наряду с гидрофилизирующим действием, будет увеличивать взаимоотталкивание частиц суспензии, заряженных одноименно с ним.

При увеличении концентрации электролита происходит реакция между сольватным раствором глинистых частиц и внешним раствором. Часть катионов при этом проникает в диффузный слой, вытес-

ния отсюда обменный кальций. Для ионного обмена обычно достаточно всего одной минуты и, следовательно, реакция закончится в первый момент перемешивания раствора. Катион, входя в состав диффузного слоя частицы Са — глины, обратит ее в частицу Na — глины или NH<sub>4</sub> — глины.

В обоих случаях увеличивающаяся по сравнению с закальцованной глиной величина диффузного слоя и связанная с ней величина электрокинетического потенциала, наряду с повышенной гидратацией частиц, облегчит механическое диспергирование глины в момент перемешивания раствора.

Распадаясь на первичные частицы, глина уже не сможет выполнять функции вещества, цементирующего агрегаты. Будучи отделена от песчинок и крупной пыли, она не соединяется с ними вновь, т. к. введение в раствор поверхностно-активных веществ создает защитные сольватные оболочки, препятствующие слипанию как более крупных частиц с глиной, так и частиц глины между собой. При достаточно высокой концентрации электролита может проявиться коагулирующее действие катиона, однако, коагуляция глинистых частиц будет носить лиофильный характер и образующаяся структура, обладая тиксотропными свойствами, будет легко разрушаться при продолжающемся перемешивании раствора. К моменту окончания перемешивания концентрация самой цементной суспензии столь значительна, что свободное перемещение частиц примесей уже исключено.

Это дает основание считать, что примеси равномерно распределяются в массе раствора или бетона. При достаточно полном диспергировании примесей в растворе не будет оставаться малопрочных агрегатов. Факт снижения внешнего и внутреннего водоотделения после диспергирования примесей был уже отмечен ранее. Совокупность всех этих явлений оказывает значительное влияние на повышение прочности раствора.

#### Б. Морозостойкость и водопроницаемость раствора

На величину коэффициента морозостойкости влияют структурная плотность раствора, определяемая как гранулометрией растворной смеси, так и процессами водоотделения и седиментационного расслоения, величина водопоглощения, способность сопротивляться растягивающим усилиям, а также характер распределения примесей в общей массе раствора.

Лучшей добавкой явилась сульфитно-спиртовая барда, оказывающая влияние как на свойства цементного камня, так и на характер распределения примесей (табл. 14). Добавки-электролиты оказались менее эффективными; их влияние становится заметным в сравнительно тощих составах (1:3) и только при значительном загрязнении песка.

То же самое можно сказать и о водопроницаемости раствора, заметного снижения которой удавалось добиться только при использовании ссб.

Зависимость коэффициента морозостойкости раствора от степени загрязнения песка при различных видах добавок (О. К. = 2,5 см, 50 циклов замораживания)

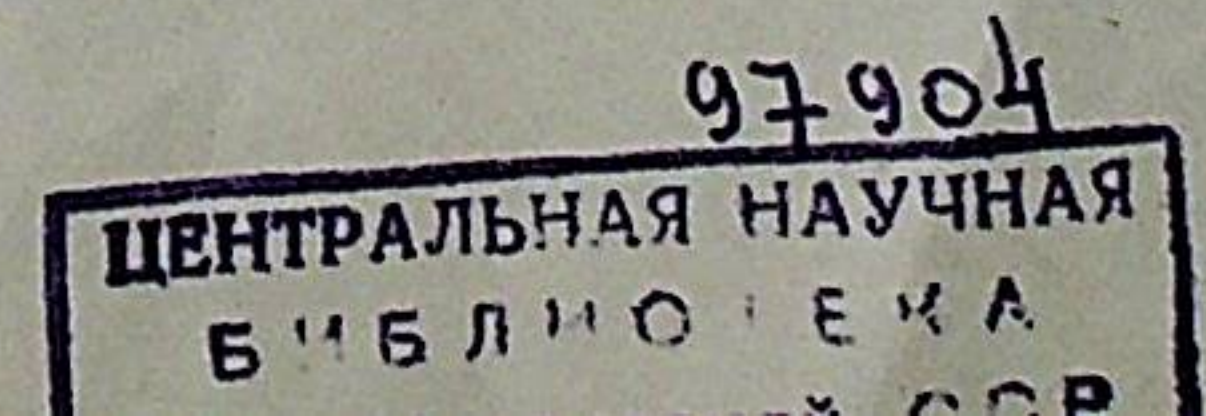
Месторождение песка	Состав раствора	% загряз- нения	Коэффициент морозостойкости при добавке:			
			Без добавки	NH <sub>4</sub> OH	ссб	ссб+NH <sub>4</sub> OH
Ангрен .	1:3	0	0,96	0,90	—	1,00
		3	0,84	0,81	—	1,00
		5	0,74	0,79	—	0,99
		10	0,52	0,66	—	0,98
		15	0,35	0,48	—	0,93
Придоново .	1:3	0	0,90	—	0,96	—
		3	0,85	—	0,94	—
		5	0,80	—	0,93	—
		10	0,73	—	0,90	—
		15	0,69	—	0,90	—

#### § 4. Проверка возможности агрессивного воздействия на цементный раствор добавок электролитов

При употреблении в качестве добавки NaOH, наиболее опасным видом возможной коррозии будет разрушение бетона вследствие карбонизации щелочи при действии углекислоты воздуха и накопления в порах бетона кристаллизующегося с присоединением 10 молекул воды углекислого натрия. Химическое взаимодействие едкого натра с компонентами цемента при обычных условиях может проявляться только в очень слабой степени и, несмотря на возможное увеличение концентрации щелочи после испарения воды, вряд ли можно опасаться коррозии II рода.

Испытание раствора, содержащего NaOH в количестве, превышающем рекомендуемое в три раза, как при наличии у образцов испаряющей поверхности, так и при погружении образцов в воду, насыщенной CO<sub>2</sub> до предела растворимости, показало даже увеличение прочности по сравнению с эталонами, хранящимися все это время в воде. Объясняется это тем, что при сравнительно малом количестве щелочи весь образующийся объем соды свободно размещается в порах раствора и вызывает даже некоторое его уплотнение.

Следует иметь в виду возможное взаимодействие щелочей с опаловидными примесями заполнителя, однако, судя по литератур-



ным данным, проявление коррозионных процессов наблюдалось только при содержании щелочи более 0,6 проц. от веса цемента и, следовательно, рекомендуемая нами концентрация добавки (0,1 проц.) и в этом случае не будет представлять опасности.

При добавке в раствор гидрата окиси аммония происходит разложение последнего на аммиак и воду ( $\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ). Удаление аммиака из раствора может несколько повысить его пористость; однако, опыты показали, что при малых количествах добавки это не приводит к снижению прочности образцов как при воздушном хранении, так и при хранении образцов в слабом растворе азотной кислоты.

#### § 5. Расход цемента для получения заданной прочности бетона

Получение заданной прочности бетона с загрязненным песком требует повышенного расхода цемента. Так, например, при активности портландцемента  $475 \text{ кг/см}^2$  его расход в бетоне марки «300» с загрязненным песком Ангреновского месторождения увеличился на 28 проц., а с песком Придоновского месторождения на 33 проц.

Использование поверхностно-активных добавок позволяет снизить расход цемента. Несмотря на повышенное загрязнение песка (11,3; 11,5 проц.), применение ссб позволило получить заданную прочность бетона даже при меньшем расходе цемента, чем при использовании промытого песка. Другие виды добавок дали возможность снизить расход цемента на 5—10 проц., однако, не могли его уравнивать с расходом цемента в бетоне с чистым песком. Несмотря на это, можно ставить вопрос о целесообразности их применения в бетонах марок «200» и ниже, т. к. в этом случае после промывки песка потребуется ввести в бетон какое-то количество добавок-наполнителей, обеспечивающих требуемые ГОСТ минимальное содержание «вяжущего».

При использовании же добавок, переводящих примеси в состояние раздробления, последние могут быть отнесены к категории уплотнителей и в сумме с цементом не только обеспечат необходимое содержание «вяжущего», но и позволят выдержать предельно допустимое водоцементное отношение. В этом случае расходы на приобретение тонкомолотых добавок и промывку песка уравнивают общую стоимость материалов, идущих на обычное приготовление бетона с промытым песком и бетона с загрязненным песком, в котором использовались добавки-электролиты (табл. 15).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По своему влиянию на свойства цементных бетонов и растворов отмучиваемые примеси в песках УзССР могут быть отнесены к категории лессовидных. Допустимое количество примесей определяется в основном их агрегатным состоянием. Исследование наиболее характерных для Узбекистана месторождений показало, что естественное измельчение примесей является частным и довольно ред-

Таблица 15  
Стоимость материала, идущего на приготовление одного кубометра бетона

Месторождение песка	Марка бетона	Стоимость материала в рублях			
		Песок промыт	Загрязненный песок при добавке		
			ссб	NaOH	$\text{NH}_4\text{OH}$
Ангрэн . . .	100	136—14	130 - 28	129—18	131—09
	150	140 - 85	134 - 53	135 - 95	136 - 44
	200	145 - 11	139 - 29	145 08	143 - 46
	250	151 - 44	145 89	155 - 09	152 - 72
	300	161 - 35	153 82	167 28	166 - 46
Придоново .	150	133 - 90	129 - 48	128 98	127 - 95
	200	137 - 72	133 - 09	134 - 56	135 - 33
	250	141 - 81	137 - 41	142 - 53	146 - 75
	300	146 39	143 - 32	151 - 50	159 - 00
	350	155 18	149 - 77	161 - 63	183 - 71

ким случаем. Как правило, коллоидная часть их находится в свернутом (коагулированном) состоянии и вместе с более крупными частицами объединена в агрегаты различной величины.

Такое состояние примесей в песке отрицательно сказывается на свойствах растворов и бетонов, понижая их прочность и, главным образом, их морозостойкость и водонепроницаемость. Это подтверждает справедливость требований ГОСТ, ограничивающих содержание отмучиваемых частиц в песке. Вместе с тем проведенными исследованиями установлена возможность изменения агрегатного состояния примесей в момент приготовления бетона. Достигается это путем введения в воду затворения поверхностно-активных добавок, увеличивающих гидрофильность частиц примесей и являющихся для глинистых минералов добавками «понижителями твердости». Создание благоприятных условий для механического диспергирования и пептизация коллоидных составляющих примесей обеспечивают распад агрегатов на более мелкие частицы с равномерным распределением их в массе бетона.

Это приводит к повышению прочности растворов и бетонов, а при содержании отмучиваемых частиц до 10 проц. введение поверхностно-активных добавок обеспечивает прочность не меньшую, чем при обычном использовании промытого песка. Наряду с этим значительно улучшаются технологические характеристики смеси: снижается водоотделение и седиментационное расслаивание раствора,

обеспечивающие получение необходимой структурной плотности. В ряде случаев значительно повышаются морозостойкость и водонепроницаемость бетона.

Лучшей добавкой является сульфитно-спиртовая барда, позволяющая при использовании загрязненного песка получать заданную прочность бетона с меньшим количеством цемента по сравнению с тем, которое расходуется в бетоне с промытым песком. В случае наличия сильно уплотненных агрегатов из частиц примесей, трудно поддающихся разрушению в момент приготовления бетона, может быть рекомендовано применение комбинированных добавок ссб и одного из электролитов, в которых совмещаются диспергирующие и стабилизирующие свойства. Применение щелочных электролитов ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$ ) дает увеличение прочности, однако, менее эффективно в отношении повышения морозостойкости и водонепроницаемости растворов и бетонов с загрязненным песком. В силу этого их применение желательно только в бетонах, не подвергающихся замораживанию в насыщенном водой состоянии.

Применение поверхностно-активных добавок особенно целесообразно и экономически выгодно при использовании высокоактивных цементов в бетонах низких и средних марок. В этом случае использование песка с лессовидными примесями не только не требует дополнительной операции по его промывке, но и исключает необходимость вводить в раствор по существу только что отмытые примеси в виде тонкомолотых добавок-уплотнителей, регулирующих водоцементное отношение и содержание вяжущего в бетоне. Помимо экономической выгоды, применение добавок позволяет сократить расход рабсилы и исключить заблаговременное обогащение и складирование песка, т. к. его промывка на строительном объекте в зимнее время весьма затруднительна.

Все вышесказанное уже сейчас позволяет ставить вопрос о создании специальной инструкции, предусматривающей использование естественных примесей в песке, при условии диспергирования их, путем применения поверхностно-активных веществ. Дальнейшие исследования должны быть направлены на отыскание новых видов добавок, разработку более рациональных методов подбора их концентрации, а также на изучение возможности введения добавок в состав цемента в случае его вибро-домола.