

6. Дрозд Г.Я., Бреус Р.В. Утилизация осадков сточных вод в дорожном строительстве. // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: Науково-виробничий збірник. АДІ ДонНТУ. – Горлівка, 2009 - №1. – С. 186-193.

7. Дрозд Г.Я., Бреус Р.В., Рогулин В.В. Утилизация осадков сточных вод предприятиями «Водоканала» - новый поход к решению проблемы.// Водопостачання та водовідведення, №5, 2010. – С. 51-57.

Таблица 2

Физико-механические свойства вырубок асфальтобетона

Объект*	Состав асфальтобетона	Объем- ный вес, г/см ³	Водо- насы- щение, %	Набу- хание, %	Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре		Коэффициент водоустойчи- вости
					20°C	50°C	
1	Щебень – 35%; Песок из отсева дробления щебня – 59%; ОСВ – 6%	2,29	1,71	0,13	5,4	2,9	0,88
2	Щебень – 35%; Песок из отсева дробления щебня – 60%; ОСВ – 5%.	2,30	2,1	0	6,6	2,5	1,3
3	Щебень – 35%; Песок из отсева дробления щебня – 58%; ОСВ – 7%.	2,25	2,93	0,8	3,45	2,0	0,91
	Требования ДСТУ Б В.2.7-119- 2003 (марка II, верхние слои)		1,5-3,5	не более 0,85	2,4	1,2	не менее 0,85

*1 – площадка для тяжелой техники в г. Луганске (МДГМК-34). Эксплуатация 6 лет;

2 – экспериментальный участок объездной автодороги вокруг г. Луганска. Эксплуатация 3 года;

3 - Экспериментальная городская улица г. Антрацит. Эксплуатация 1 год.

УДК 691. 316

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ШЛАКОЩЕЛОЧНОГО БЕТОНА НА ЩЕБЕРИТЕ

Павлов А.П.

Исследованы свойства шлакощелочного бетона на щеберите по прочности, морозостойкости, коррозионной стойкости, к воздействию попеременного увлажнения и высыхания, деформациям усадки и набухания; свойства вяжущих и их регулирование; обобщен технологический опыт приготовления бетонной смеси.

Щеберит – это отходы Глуховского щебеночного карьера в Сумской области. Щеберит представляет собой песчано-щебеночную смесь, состоящую из кварцевого песка и остроугольных зерен раздробленного кварцитового щебня, содержащихся в количестве 12...17 % в старых отвалах, запасы которых

оцениваются в 10 млн. м³. В составе щеберита присутствуют также тонкодисперсные частицы в количестве в среднем 12 %, в том числе глинистые – до 5 %. Гранулометрический и химический составы составляющих щеберита представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Гранулометрический состав щеберита

Остатки в %	Размеры отверстий сит, мм							
	10	5	3	1,2	1,63	0,315	0,15	дно
Частные	1	7	7	3	2	3,2	64	12,5
Полные	1	8	15	18	20	23,2	87,5	100

Минералогический состав щебня представлен в основном кварцем. Временное сопротивление сжатию щебня находится в пределах 1200...2300 кгс/см²; пористость 5,18 %; водопоглощение 0,36...4,43 %; сопротивление удару 50...140 ударов, износ в барабане Деваля 5,8...9,5 %, абсолютная плотность 2,64 г/см³.

Песок в основном состоит из кварца,

содержит некоторое количество гранита, ильманита, термалина и ставролита.

Тонкодисперсная составляющая щеберита представлена минералами кварца, гидрослюда, каолинита, кальцита и гидроокислами железа.

Содержание ее в составе щеберита значительно превышает запусаемое по ГОСТ

8736 – 85 для тяжелых бетонов, что является основной причиной складирования щеберита в отвалы. Как комплексный заполнитель в тяжелых

бетонах на клинкерных цементах щеберит непригоден.

Таблица 2

Химический состав компонентов щеберита

Наименование	п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	Сумма
Щебень		98,79	0,14	0,16	0,10	0,12			99,31
Песок	0,53	95,7	0,61	0,80		0,56	0,4	следы	98,07
Глина	6,86	79,54	8,72	3,21	следы	0,76	0,45	следы	99,44

Вязущее – шлакощелочное, двухкомпонентное: тонкомолотый гранулированный шлак и щелочной компонент.

В исследованиях принят тонкомолотый доменный основной гранулированный шлак по ТУ 21-20-61-85, поставки Амвросиевского ЦК, химическая характеристика которого приведена в [6]. Изучены свойства «лежалого» шлака. Исследована возможность применения в качестве шлакового компонента кислого гранулированного ваграначного шлака Сумского завода «Центролит». На его основе получены шлакощелочные бетоны классов В 7,5...В 30 [2].

В качестве щелочного компонента в основном использовано жидкое натриевое стекло с силикатным модулем $M_c = 1,8$, получаемое из силикатной глыбы (сваренной по специальному заказу в количестве 180 т) безавтоклавным методом. Меняя силикатный модуль жидкого стекла и плотность раствора затворения можно регулировать как сроки схватывания, так и марку вяжущего в самых широких пределах. Исследованы также щелочные компоненты в виде отходов производств: плав соды кальцинированной по ТУ 113-03-479-86 поставки Черкасского ПО «Азот» и содо-сульфатная смесь марки А по ТУ 113-02-23-19-83 поставки Чирчикского ПО «Электрохимпром». Последние нашли широкое применение в практике внедрения шлакощелочных бетонов на Сумщине.

Связывание тонкодисперсных частиц щеберита. Применение щеберита в бетонах на клинкерных цементах и в асфальтобетонах невозможно из-за высокого содержания тонкодисперсных частиц, особенно гидрослюдисто – каолининовой глины (до 5 %), равномерно обволакивающей зерна песка, что придает щебериту специфический желто – оранжевый цвет. Пылевато – глинистая составляющая была выделена из щеберита и всесторонне изучена (проведены химический, термографический и рентгенографический анализы).

Дальнейшие исследования показали, что тонкодисперсная фракция активно взаимодействует со щелочным компонентом вяжущего, образуя водонерастворимые соединения, что позволяет применять заполнители, содержащие до 20 % тонкодисперсных частиц, в том числе до 10 % глинистых от массы шлака в составе шлакощелочного бетона [1].

Исходя из этого, были разработаны и опробованы в опытно – промышленном производстве шлакощелочные бетоны на щеберите класса В 3,5...В35 с объемной плотностью 2000...2200 кг/м³ [2].

Состав бетона. Разработана методика назначения состава шлакощелочного бетона на щеберите [4]. В проведенных исследованиях в основном принят бетон следующего состава (кг/м³): тонкомолотый гранулированный основной доменный шлак – 408, щеберит – 1632, жидкое натриевое стекло с $M_c = 1,8$ – 245 л. Плотность раствора затворения жидкого стекла 1,10; 1,15 и 1,20 г/см³. Прочность бетона на сжатие к началу испытаний составляла соответственно 190; 278 и 360 кгс/см².

Последовательность назначения номинального (лабораторного) состава бетона на щеберите, корректировка их по удобоукладываемости, расходу щеберита, требуемой прочности, фактической влажности заполнителя с примерами приведены в [4].

Установлено, что рациональный удельный расход тонкомолотого шлака в составе бетона на щеберите должен находиться в пределах 300...500 кг/м³.

Свойства бетона.

Рост прочности с возрастом бетона. Установлено, что прочность бетона, находящегося в различных условиях (нормально-влажностных, воздушно-сухих, водных) со временем увеличивается как на сжатие, так и на растяжение при изгибе. К годовому возрасту прочность на сжатие увеличилась на 11...21 %. Отношение прочности на растяжение при изгибе к прочности на сжатие составляет 9..11 %.

Морозостойкость повышается с увеличением плотности раствора затворения щелочного компонента, т.к. уплотняется структура бетона, повышается количество гелеобразных веществ, уменьшается объем опасных пор в бетоне. В результате морозостойкость повышается от F 50 (плотность раствора затворения 1,10 г/см³) до F 300 и более (плотность 1,20 г/см³). Высокая морозостойкость шлакощелочного бетона связана также с наличием в составе вяжущего морозостойких гидросиликатов и отсутствием неморозостойкого трехкальциевого гидроалюмината.

Результаты испытаний на морозостойкость представлены в таблице 3.

Для шлакощелочных бетонов с маркой по

морозостойкости $F \geq 50$ рекомендуется принимать растворшлаковое отношение $P/Ш \leq 0,6$, а плотность раствора затворения – $Пл \geq 1,15 \text{ г/см}^3$.
Применение щелочных растворов затворения с плотностью $Пл < 1,1 \text{ г/см}^3$ ведет к

существенному снижению морозостойкости, поэтому не рекомендуется для бетонов с нормированным требованием по морозостойкости [5].

Таблица 3

Результаты испытаний шлакощелочного бетона на щеберите на морозостойкость

Плотность раствора, затворения г/см^3	Возраст бетона, суток	Количество циклов замораж отмороз	Изменение веса испытанных образцов, г	Предел прочности при сжатии, кгс/см^2 , $R_{сж}$		Коэффициент морозостойкости $K_{-M} = \frac{R_{сж}^M}{R_{сж}^H}$	Марка бетона по морозостойкости, F
				Подвергнутых замораживанию, $R_{сж}^M$	В нормально-влажных условиях хранения, $R_{сж}^H$		
1.10	42	50	-2,4	154	193	0,80	50
	78	100	-0,4	156	206	0,76	
1.15	42	50	-1,0	236	282	0,84	50
	78	100	-0,9	206	292	0,71	
1.20	42	50	-0,8	358	372	0,96	300
	78	100	-1,3	366	383	0,96	
	113	150	-1,9	375	391	0,96	
	148	200	-2,0	374	402	0,93	
	185	250	-2,4	368	400	0,92	
	220	300	-2,7	372	408	0,91	

Стойкость к агрессивным средам. В проведенных исследованиях учитывалась специфика эксплуатации сельскохозяйственных зданий, характеризующаяся повышенной влажностью воздуха и содержания в нем углекислого газа, наличием агрессивной среды, отрицательно влияющие на обычные бетоны. За конструкциями, выполненными из шлакощелочного бетона и эксплуатируемыми в таких условиях, велись многолетние периодические наблюдения.

Прочность шлакощелочного бетона, находящегося в жидкой агрессивной среде животноводческих зданий, со временем увеличивается, больше в щелочной среде, меньше в кислой. К годовому возрасту прочность возросла: на сжатие – 16...31 %, на растяжение при изгибе – 18...36 %. Наибольшее увеличение прочности приходится на первые 6 месяцев, затем замедляется, а к двухгодичному возрасту увеличивается всего на 2...7 % в сравнении с годовым возрастом [3].

Стойкость шлакощелочного бетона в сульфатной среде аналогична стойкости тяжелого бетона на сульфатостойком цементе.

Стойкость к воздействию попеременного увлажнения и высыхания. Известно, что многократные чередующиеся увлажнения и высыхания вызывают глубокие физико-механические изменения в структуре клинкерного цементного камня в обычных бетонах, ухудшающих его прочностные показатели и другие эксплуатационные свойства. Разрыхление бетона микротрещинами проявляется в виде необратимого приращения объема в его

наружных и внутренних зонах, возникновения растягивающих и скалывающих напряжений, снижения стойкости к агрессивным воздействиям среды сельскохозяйственных зданий и сооружений. Принятый нами комплексный заполнитель – щеберит отличается от кондиционных заполнителей для бетона повышенным содержанием тонкодисперсных примесей, в том числе глинистых частиц, и незначительной долей щебеночной фракции. Как это сказывается на свойствах шлакощелочного бетона, работающего в условиях попеременного увлажнения и высыхания, ранее не исследовалось.

Результаты исследований показали незначительное возрастание прочности на сжатие (до 7 %) с увеличением количества циклов попеременного увлажнения и высыхания от 0 до 100. Вероятнее всего это связано с увеличением возраста бетона. Прочность бетона на сжатие при попеременном увлажнении и высыхании не снижается.

Прочность бетона на растяжение при изгибе с увеличением количества циклов попеременно увлажнения и высыхания от 0 до 100 снижается на 27...30 %. Это вызвано увеличением количества микротрещин в цементном камне с увеличением циклов высыхания бетона.

Изменение прочности бетона при попеременном увлажнении и высыхании приведено на рис. 1.

Масса бетона при чередующемся увлажнении и высыхании меняется следующим образом: уменьшается на 0,5...1,0 % за первые 25 циклов, затем незначительно увеличивается

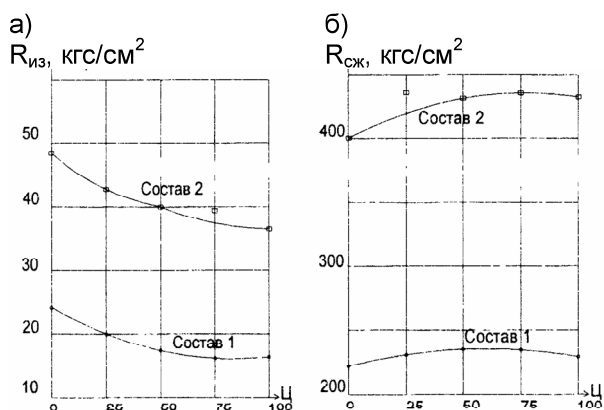


Рис. 1. Изменение прочности бетона при попеременном увлажнении и высыхании от количества циклов: а) при изгибе; б) при сжатии. (на 0,4...0,6 %) к 100 циклам. Уменьшение массы в начальный период можно объяснить усадкой

бетона с обезвоживанием гелевой составляющей цементного камня. Увеличение массы при дальнейшем возрастании циклов связано, вероятно, с накоплением новообразований за счет продолжающейся гидратации.

Внешний вид образцов в процессе испытаний не менялся. Бетон устойчив к воздействию попеременного увлажнения и высыхания в конструкциях, работающих на сжатие. [6]

Усадка и набухание. Деформации усадки и набухания шлакощелочного бетона на щеберите примерно в 2 раза превышают аналогичные деформации обычного тяжелого бетона на гранитном щебне и представлены в табл. 4 и 5.

Таблица 4

Деформации усадки шлакощелочного бетона

Заполнитель	Деформации образцов в возрасте							
	1 месяц		2 месяца		3 месяца		1 год	
	Σ , мм/м	% к год	Σ , мм/м	% к год	Σ , мм/м	% к год	Σ , мм/м	% к год
Щеберит из отвалов	0,68	68	0,84	84	0,91	91	1,00	100
Щеберит отмытый	0,60	71	0,73	85	0,78	92	0,85	100
Песок щеберита отмытый	0,72	68	0,88	84	0,95	90	1,05	100

Изготовление предварительно напряженных железобетонных конструкций из него без проведения дополнительных исследований не рекомендуется.

Таблица 5

Деформации набухания шлакощелочного бетона

Заполнитель	Деформации образцов в возрасте							
	1 месяц		2 месяца		3 месяца		1 год	
	Σ , мм/м	% к год	Σ , мм/м	% к год	Σ , мм/м	% к год	Σ , мм/м	% к год
Щеберит из отвалов	0,23	64	0,26	72	0,27	75	0,36	100
Щеберит отмытый	0,21	64	0,22	67	0,23	70	0,33	100
Песок щеберита отмытый	0,38	73	0,40	77	0,42	81	0,52	100

Защита арматуры. Исследована коррозионная стойкость стальной арматуры в шлакощелочном бетоне на щеберите.

После годичного выдерживания во влажных условиях образцы шлакощелочного бетона, затворенного щелочными растворами

разной плотности, разрушались, а извлеченные из них арматурные стержни изучались под микроскопом, определялось изменение их веса, pH слоев бетона, соприкасавшихся с арматурой. Количественная оценка проведенных исследований представлены в табл. 6.

Таблица 6

Количественная оценка коррозии арматуры в шлакощелочном бетоне на щеберите

Состав бетона по массе шлак/щеберит	Плотность щелочного раствора затворения Пл, г/см ³	pH в суточном возрасте	pH бетона и потеря веса стержней Ев, в возрасте					
			90 суток		180 суток		365 суток	
			pH	Ев	pH	Ев	pH	Ев
1:7	1,10	10,8	10,6	0,081	10,2	0,102	10,1	0,110
	1,15	11,0	10,8	0,042	10,3	0,064	10,2	0,083
	1,20	11,3	10,9	0,032	10,3	0,061	10,2	0,075

По результатам исследований рекомендовано назначать плотность раствора затворения не менее 1,10 г/см³, а толщину

защитного слоя принимать 10 мм и больше [5].

Приготовление растворов затворения. Обобщен опыт внедрения шлакощелочных

бетонов на сільськогосподарських будівлях у всіх районах Сумщини. На цій основі розроблена установка для комплексно-механізованих процесів приготування і подачі в дозатори БСУ щелочних розчинів

затвердіння бетонної суміші, добре зарекомендувала себе в виробничих умовах. Існує робоча документація установки (чертежі стадії КМД).

Література

1. Васильєва Т. А. Взаємодія шлакосиликатного в'язкого з пиловатими і глинистими добавками. / Т.А. Васильєва, В.В. Константинов, А.П. Павлов // Журнал «Строительные материалы». – г. Подольск. – 1975. – №9. – С. 29-30.
2. Павлов О.П. Про можливість використання кислих ваграночних шлаків, як компоненту шлв/ О.П. Павлов, О. В. Ткачев // Матеріали наукової конференції [МСГП України. ССГП], (Суми). – 1993.
3. Павлов О.П. Довговічність шлакозмішаного бетону в агресивному середовищі тваринницьких будівель / О.П. Павлов, Р.Б. Липницький. – м. Суми : вид-во «Козацький вал» Вісник СНАУ. – 2001. – № 6. – С. 83 – 85.
4. Павлов А.П. Назначение состава шлакощелочного бетона на щебените / А.П. Павлов. – г. Сумы : Изд-во «Козацкий вал» Вісник СНАУ. – 2004. – № 11. – С. 67 – 72.
5. Павлов А.П. Перспективы применения шлакощелочного бетона на щебените в сельскохозяйственном строительстве / А.П. Павлов. – г. Сумы : Изд-во «Козацкий вал» Вісник СНАУ. – 2007. – № 12. – С. 68 – 74.
6. Павлов А.П. Исследование стойкости шлакощелочного бетона на щебените к воздействию попеременного увлажнения и высыхания / А.П. Павлов. – г. Сумы : Изд-во «Козацкий вал» Вісник СНАУ. – 2009. – № 13. – С. 96 – 98.

УДК 631.439.21

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РУХУ ЧАСТИНОК БУДІВЕЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ПО КАСКАДАМ СУШАРКИ КАСКАДНОГО ТИПУ

Скриннік І.О., Богатирьов Д.В., Дарієнко В.В., Яцун В.В.

В статті розглянуто рух частинок матеріалу по каскадам сушарки. Наведені дослідження, які дозволяють теоретично визначити конструктивні параметри сушарки з урахуванням особливостей руху частинок.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Сушіння будівельного матеріалу є основна технологічна операція по приведенню його в стійкий стан.

На сьогодні запропоновано багато технічних рішень для сушіння будівельного матеріалу за фізико – механічними властивостями. Але слід відмітити, що більшість з них не забезпечують відповідних вимог або економічно не ефективні [2, 3, 4, 5].

На кафедрі будівельної, дорожньої машини та будівництва Кіровоградського національного технічного університету розроблено конструкцію сушарки каскадного типу.

Мета дослідження полягає в визначенні положення частинки в залежності від параметрів установки, шару матеріалу та процесу сушки.

Для подальших теоретичних досліджень руху частинки під час сушіння обґрунтовуємо модель сипучого тіла (шару матеріалу, що піддається псевдозрідженню на поверхні решета сушарки). В основу даної роботи покладена узагальнена і розвинена модель сипучого тіла Л.В. Гячева [1], що дозволяє розглядати процес руху сипучих матеріалів в повітряному каналі.

Модель характеризується наступними допущеннями:

1. Сили внутрішнього тертя між частинками і сили тертя частинок об стінку каналу пропорційні відповідним нормальним зусиллям (закон Кулона).
2. Частинки, з яких складається сипуче тіло, являють собою однакові абсолютно тверді кулі з деяким постійним кутом укладання в об'ємі каналу.
3. У процесі руху кулі не обертаються.
4. Рух частинок у потоці відбувається по

пересічним траєкторіям, що являє собою лінії ковзання сипучого тіла.

5. Через малий розмір частинок сипуче тіло можна замінити еквівалентним в механічному змісті суцільним середовищем.

6. Кут природного скосу дорівнює приведеному куту внутрішнього тертя.

7. Величина кута нахилу решітки до горизонту α для кожного каскаду змінюється за наступною залежністю:

$$\alpha_i = \alpha_1 + \Delta\alpha, \quad (1)$$

де α_1 – кут нахилу попереднього (верхнього) решета;

$\Delta\alpha$ – величина зміни кута $\Delta\alpha$.

Розглянемо рух частинки під час процесу сушіння. Спочатку частинки знаходяться у щільній укладці в об'ємі бункера, а потім надходять на каскад. Далі частинка рухається по каскаду в киплячому шарі буд. матеріалу і надходить до клапана. Наступним етапом руху є сходження з каскаду (вільне падіння). Потім етапи руху повторюються, тобто частинка надходить на каскад, рухається по ньому, сходиться і поступає на нижній. Проаналізувавши етапи руху частинки можна дійти до висновку, що детерміновану математичну модель руху можна записати в наступному вигляді:

по осі O_x