

TALLINNA POLÜTEHNILISE
INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

№ 388

**СБОРНИК ТРУДОВ ПО ИЗУЧЕНИЮ
ЗОЛЫ СЛАНЦА-КУКЕРСИТА
VII**

ТАЛЛИН 1975

Ер.6.7

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

№ 388

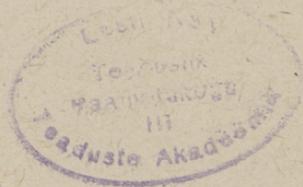
1 9 7 5

УДК 666

СБОРНИК ТРУДОВ ПО ИЗУЧЕНИЮ ЗОЛЫ
СЛАНЦА-КУКЕРСИТА

VII

Т а л л и н 1 9 7 5



УДК 666.942

В.Х.Кикас, А.А.Хайн, К.А.Оясте,
 А.М.Турецкий, И.А.Лаул

СВОЙСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТОВ С МИНЕРАЛЬНЫМИ
 ДОБАВКАМИ

В производстве цемента по техническим и экономическим соображениям часто используются минеральные добавки. Их использование позволяет изменять свойства цемента в нужном направлении и без ущерба для марки цемента увеличивать его производство. Однако при этом необходимо учитывать влияние минеральных добавок на свойства цемента. В связи с вышесказанным в настоящей статье рассмотрено влияние используемых в качестве добавок кварцевого песка, трепела и мельчайшей фракции летучей сланцевой золы на активность цемента в растворах и бетонах при твердении в нормальных условиях и при пропаривании.

Для изготовления цементов использовались молотые клинкера цементного завода "Пунане Кунда", имевшие следующие содержания SO_3 и щелочей и удельные поверхности:

	SO_3 , %	R_2O , %	Удельная поверх- ность, $см^2/г$
клинкер I	1,70	1,25	1820
клинкер II	1,40	1,08	1670
клинкер III	0,89	0,86	2030

Минеральные добавки вводились в цементы в следующих количествах:

кварцевый песок	5, 10 и 15 %
трепел	5, 10 и 15 %

удельной поверхности 3200 см²/г. В зависимости от вида минеральной добавки и ее количества удельная поверхность цемента составляла 3200–5070 см²/г (фиг. I).

Свойства цемента определялись в растворах и бетонах.

В растворах (образцы изготовлялись размерами 4x4x16 см) испытывались цементы на основе всех трех клинкеров. Растворы изготавливались при равном водоцементном отношении ($V/C = 0,40$) и твердели при +20 °С в воде или при пропаривании при 60, 80 и 95 °С. После пропаривания дальнейшее твердение протекало при +20 °С в воде и во влажном воздухе.

В бетонах (образцы изготавливались размерами 10x10x10 и 7x7x28 см) использовались цементы только на основе клинкера Ш. При изготовлении бетонных смесей цемент, песок и щебень брались в соотношении 1:1,38:2,67, причем расход цемента составлял 450 кг/м³. Использовался кварцевый песок из карьера Мяннику с модулем крупности 2,03 и фракция доломитового щебня из карьера Анелема 5–20 мм. Удобоукладываемость смесей в оценке по осадке стандартного конуса поддерживали в пределах 4–6 см. Образцы твердели при +20 °С во влажном воздухе или при пропаривании при +80 °С. После пропаривания дальнейшее твердение протекало при +20 °С во влажном воздухе.

I. Активность цемента с разными минеральными добавками в растворах

Активности цемента с 5, 10 и 15-процентным содержанием трепела при разных температурах твердения приводятся в таблице I.

Из приведенного видно, что трепел увеличивает 28-суточную прочность раствора на сжатие в основном лишь тогда, когда его содержание в цементе не превышает 10 %. При дальнейшем увеличении добавки трепела прочность на сжатие уже существенно не увеличивается и даже начинает уменьшаться. При этом послепропарочное твердение раствора тем интенсивнее, а прочность на сжатие в возрасте 28 суток тем выше, чем ниже температура пропаривания и больше добавка трепела.

Т а б л и ц а I

Активность цементов с добавками трепела при разных температурах твердения

Содержание трепела в цементе, %	Распływ раствора, мм	Средняя прочность раствора на сжатие в кгс/см ² при температуре твердения			
		20 °С	60°С	80 °С	95 °С
0	I26	<u>370</u>	<u>296</u>	<u>355</u>	<u>333</u>
		453	434	452	431
5	II8	<u>397</u>	<u>311</u>	<u>373</u>	<u>376</u>
		495	461	449	464
10	III2	<u>420</u>	<u>312</u>	<u>386</u>	<u>387</u>
		529	492	475	465
15	IO7	<u>416</u>	<u>324</u>	<u>396</u>	<u>405</u>
		530	487	475	460

П р и м е ч а н и е: В таблицах I-4 в числителе дроби дается прочность раствора на сжатие при пропаривании - в возрасте I сутки и при нормальном твердении - в возрасте 7 суток, а в знаменателе - прочность этих образцов в возрасте 28 суток.

С увеличением содержания трепела в цементе уменьшается распływ раствора. Для обеспечения одинакового распльва раствора или одинаковой удобоукладываемости бетона необходимо увеличивать водоцементное отношение. Это же сопровождается снижением прочности на сжатие. Видимо, 10-процентная добавка трепела является пределом, при превышении которого уже начинает проявляться отрицательное влияние трепела.

Добавление кварцевого песка к цементу приводит при всех рассмотренных температурах твердения к снижению прочности раствора, и тем большому, чем больше цемент содержит добавки (табл. 2). В случае пропаривания растворов наилучшие результаты получены при +80 °С. При этом прочность на сжатие в основном была на уровне показателей, полученных при +20 °С. Добавление кварцевого песка существенно не меняет распльва раствора на встряхивающем столике.

Т а б л и ц а 2

Активность цементов с добавками кварцевого песка
при разных температурах твердения

Содержание кварцевого песка в цементе, %	Расплыв раствора, мм	Средняя прочность раствора на сжатие в кгс/см ² при температуре твердения			
		20 °С	60 °С	80 °С	95 °С
0	I26	<u>370</u>	<u>296</u>	<u>355</u>	<u>333</u>
		453	434	452	431
5	I24	<u>355</u>	<u>279</u>	<u>338</u>	<u>319</u>
		440	428	436	400
10	I25	<u>345</u>	<u>275</u>	<u>334</u>	<u>308</u>
		423	407	425	394
15	I31	<u>319</u>	<u>256</u>	<u>322</u>	<u>288</u>
		406	381	413	370

Увеличение содержания мельчайшей фракции летучей золы в цементе при равном водоцементном отношении сопровождается увеличением распыла раствора, однако прочность на сжатие при этом практически не меняется (табл. 3). При испытании же растворов равной подвижности, что имеет решающее значение в технологии бетона, прочностные показатели цементов с добавками золы существенно возрастают. При наличии мельчайшей фракции летучей золы в цементе наиболее благоприятная температура твердения - пропаривание при +80 °С.

Добавление 5-10 % кварцевого песка в цемент, содержащем 5 % трепела, не ухудшает удобоукладываемости раствора, однако существенно тормозит рост прочности на сжатие, обусловленный добавлением трепела (табл. 4). Если твердеющий при +20 °С раствор на цементе с 10-процентной добавкой кварцевого песка еще имеет прочность на сжатие в возрасте 28-суток на 1-2 % выше, чем бездобавочный цемент, то при 95 °С положение обратное - активность цемента с добавкой уже на 4 % ниже активности бездобавочного цемента. При пропаривании при 60 и 80 °С активность цемента с содержанием 5 % трепела и 10 % кварцевого песка примерно равна активности бездобавочного портландцемента.

Т а б л и ц а 3

Активность цементов с добавками мельчайшей фракции летучей золы при разных температурах твердения

Содержание мельчайшей фракции летучей золы в цементе, %	Расплав раствора, мм	Средняя прочность раствора на сжатие в кгс/см ² при температурах твердения			
		20 °С	60 °С	80 °С	95 °С
0	I26	<u>370</u>	<u>296</u>	<u>355</u>	<u>333</u>
		453	434	452	431
5	I33	<u>365</u>	<u>270</u>	<u>355</u>	<u>331</u>
		441	405	449	419
10	I40	<u>368</u>	<u>276</u>	<u>355</u>	<u>340</u>
		448	415	447	412
15	I47	<u>373</u>	<u>279</u>	<u>358</u>	<u>351</u>
		456	435	458	427
20	I52	<u>372</u>	<u>281</u>	<u>365</u>	<u>354</u>
		458	433	464	430
25	I57	<u>372</u>	<u>283</u>	<u>370</u>	<u>361</u>
		461	434	469	433
30	I62	<u>365</u>	<u>282</u>	<u>368</u>	<u>366</u>
		459	445	465	435

При одновременном введении трепела и мельчайшей фракции летучей золы выяснилось, что наилучшие результаты получаются тогда, когда оба названных компонента содержатся в цементе в количестве по 5 % (табл. 4). Раствор на таком цементе в нормальных условиях твердения и при пропаривании при 80 °С в возрасте 28 суток имеет на 7 % большую прочность на сжатие в сравнении с бездобавочным цементом. Несмотря на присутствие трепела, удобоукладываемость раствора при этом даже немного улучшилась. Однако пропаривание при 60 и 95 °С в сравнении с предыдущим дает заметно худшие результаты.

Добавление 5-10 % мельчайшей фракции летучей золы к цементу, содержащему 5 % кварцевого песка, повышает лишь

удобоукладываемость раствора; активность же существенно уменьшается (прочность на сжатие только в лучшем случае на 2-3 % отстает от соответствующего показателя бездобавочного цемента).

Добавление 5 % кварцевого песка в цемент, содержащий 10 % трепела, при пропаривании еще существенно не понижает обусловленную добавкой трепела сравнительно высокую активность.

Добавление 5 % мельчайшей фракции летучей золы к цементу, содержащему 10 % кварцевого песка, существенно увеличивает удобоукладываемость раствора, однако активность при этом существенно отстает от активности бездобавочного цемента.

При введении трехкомпонентной добавки (5 % трепела, 5 % кварцевого песка и 5 % мельчайшей фракции летучей золы) активность цемента возрастает на 3-5 % в сравнении с активностью бездобавочного цемента.

2. Свойства цементов с различными минеральными добавками в бетонах

Оценка цементов с различными минеральными добавками только по активности, определяемой стандартным испытанием, затруднена, так как при этом не учитывается ряд факторов, определяющих поведение цемента в бетонах.

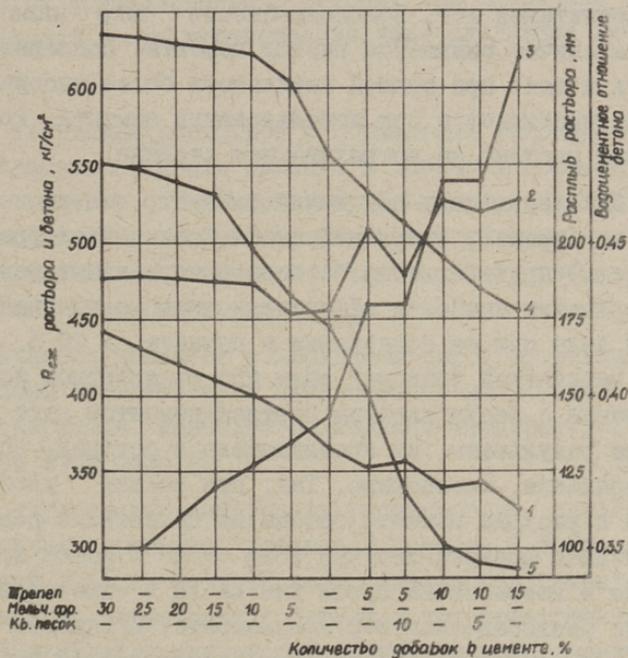
Как известно, стандартное испытание происходит при постоянном водоцементном отношении. При этом не учитывается удобоукладываемость раствора, если она не падает ниже 105 мм. Судя по полученным данным, этому требованию соответствовали средние величины расплывов раствора при всех комбинациях добавок в цементе. Однако в бетонах формуемость смеси становится определяющим фактором. В связи с этим в настоящем случае при исследовании свойств цементов с различными минеральными добавками в бетонах исходили из равной удобоукладываемости бетона при равном расходе цемента. Конкретной основой для оценки свойств цементов и здесь оставалась прочность на сжатие бетонов, твердевших в нормальных условиях или при пропаривании. При этом из цементов с различными минеральными добавками рассмотрению подлежали лишь

Т а б л и ц а 4

Активность цементов с добавками трепела, кварцевого песка и мельчайшей фракции летучей золы при разных температурах твердения

Содержание добавки в цементе, %	Расплав раствора, мм	Средняя прочность раствора на сжатие в кгс/см ² при температурах твердения			
		20 °С	60 °С	80 °С	95 °С
Без добавок	I26	<u>370</u>	<u>296</u>	<u>355</u>	<u>333</u>
		453	434	452	431
5 % трепела + 5 % кварцевого песка	II8	<u>378</u>	<u>309</u>	<u>365</u>	<u>367</u>
		481	459	469	447
5 % трепела + 10 % кварцевого песка	I2I	<u>375</u>	<u>288</u>	<u>354</u>	<u>331</u>
		464	435	545	415
5% трепела + 5 % мельчайшей фракции летучей золы	I28	<u>403</u>	<u>296</u>	<u>387</u>	<u>371</u>
		487	445	484	457
5 % трепела + 10 % мельчайшей фракции летучей золы	I34	<u>391</u>	<u>295</u>	<u>378</u>	<u>359</u>
		468	431	472	438
5 % трепела + 5 % кварцевого песка + 5 % мельчайшей фракции летучей золы	I26	<u>392</u>	<u>299</u>	<u>362</u>	<u>365</u>
		474	456	466	447
5 % кварцевого песка + 5 % мельчайшей фракции летучей золы	I34	<u>353</u>	<u>273</u>	<u>345</u>	<u>331</u>
		432	413	445	413
5 % кварцевого песка + 10 % мельчайшей фракции летучей золы	I38	<u>351</u>	<u>261</u>	<u>347</u>	<u>325</u>
		436	408	440	395
10 % трепела + 5 % кварцевого песка	II4	<u>402</u>	<u>318</u>	<u>380</u>	<u>377</u>
		520	491	468	450
10 % трепела + 5 % мельчайшей фракции летучей золы	II7	<u>421</u>	<u>326</u>	<u>399</u>	<u>410</u>
		533	498	485	479
10 % кварцевого песка + 5 % мельчайшей фракции летучей золы	I36	<u>337</u>	<u>260</u>	<u>341</u>	<u>299</u>
		409	396	434	382

наиболее типичные, которые помимо всего прочего достаточно хорошо характеризовали и прочность соответствующих растворов на сжатие, и распыл раствора на встряхивающем столике (фиг. 2)



Фиг. 2. Прочности на сжатие и водопотребности растворов и бетонов на цементах, содержащих различные минеральные добавки:

- 1 — распыл раствора на встряхивающем столике;
- 2 — прочность на сжатие растворов, твердевших 28 суток в нормальных условиях;
- 3 — водоцементное отношение бетона;
- 4 — прочность на сжатие бетонов, твердевших 28 суток в нормальных условиях;
- 5 — прочность бетонов на сжатие после пропаривания.

Из приведенных опытных данных отчетливо видно, что при равном расходе цемента в условиях равной удобоукладываемости бетонов прочность на сжатие при использовании различных минеральных добавок изменяется в очень широких пределах. Прочность бетона на сжатие в рассмотренных пределах удобоукладываемости тем выше, чем больше распыл раствора на используемом в бтоне цемента. Другими словами, при большем распыле раствора на том же цементе можно получить бетон с существенно меньшим водоцементным отношением и большей прочностью. При этом, как видно из фиг. 2, активность це-

мента, полученная стандартным испытанием, при одинаковой степени формуемости бетонной смеси уже не имеет существенного значения. Поэтому в условиях одинаковой удобоукладываемости бетонов из цементов более-менее равной активности предпочтителен тот, водопотребность чего ниже, так как в этом случае снижается расход цемента. Последнее можно выразить и так: при равной активности более высокая прочность бетона достигается при использовании цемента, который дает больший распыл на встряхивающем столике.

Из приведенных положений следует, что из исследованных добавок (трепел, кварцевый песок, мельчайшая фракция летучей золы) при твердении бетонов в нормальных условиях и при пропаривании наиболее эффективна лишь мельчайшая фракция летучей золы при ее содержании в цементе $\geq 20\%$. Хотя цементы с мельчайшей фракцией золы при стандартном испытании в сравнении с бездобавочным портландцементом дают лишь чуть лучшие результаты, их преимущество в бетонах, особенно при пропаривании, неоспоримо. Так, при равных удобоукладываемости и расходе цемента бетоны на цементах с содержанием мельчайшей фракции летучей золы $\geq 20\%$ имеют прочность на сжатие в возрасте 28 суток уже на 13% выше прочности бетонов на бездобавочном портландцементе. Прочность на сжатие пропаренных бетонов на цементах с мельчайшей фракцией летучей золы после пропаривания возрастает даже до 23%. Получаемый при этом эффект возрастает с увеличением содержания летучей золы в цементе.

Несмотря на то, что при стандартном испытании достаточно хорошие результаты дают и цементы с содержанием трепела $\geq 10\%$, их использование в бетонах ввиду большой водопотребности и сопутствующего снижения прочности нецелесообразно (фиг. 2). По этим же причинам не рекомендуется и использование цементов, содержащих одновременно 10% трепела и 5% кварцевого песка (или наоборот). Нецелесообразно также одновременное введение трепела, кварцевого песка и мельчайшей фракции летучей золы, так как это усложняет технологию производства цемента и малоэкономично.

В ы в о д ы

Стандартное испытание цементов с различными добавками (трепел, кварцевый песок, мельчайшая фракция летучей золы) в растворах и их использование в бетонах при твердении в нормальных условиях и при пропаривании дало следующие результаты:

1. При твердении растворов в нормальных условиях наибольшую активность показали цементы с добавкой трепела, а наименьшую — цементы с добавкой кварцевого песка. Активность цемента с добавкой мельчайшей фракции летучей золы при постоянном водоцементном отношении осталась на уровне активности бездобавочного цемента.

2. Активность цементов с добавками при пропаривании растворов в общем соответствует показателям, полученным при нормальном твердении. Наиболее подходящей температурой пропаривания при этом была 80°C .

3. При определении активности растворов из комбинаций добавок наилучшей оказалась добавка к цементу 5 % трепела и 5 % мельчайшей фракции летучей золы. Активность цемента с такой добавкой в нормальных условиях и при пропаривании при 80°C на 7 % превысила активность бездобавочного цемента.

4. Из цементов с добавками при использовании в бетонах наиболее предпочтителен портландцемент, содержащий $\geq 20\%$ мельчайшей фракции летучей золы.

5. Использование в бетонах цементов, содержащих трепел и кварцевый песок, нецелесообразно ввиду их большой водопоглощаемости и сопутствующего этому падению прочности на сжатие.

The Properties of Portland Cements with Mineral Additions

Summary

The paper sets forth the influence of quartz sand, tripolite and the first fraction of oil-shale fly ash, used as additions, on the activity of cement in mortars and concretes in their hardening in normal conditions and by steam curing.

The results of the tests showed that in mortars the highest activity was given by cements with tripolite addition, the lowest activity by those with quartz sand addition.

Of the cements with additions the Portland cements containing the finest fraction of oil-shale fly ash 20 per cent have the greatest advantages for being used in concretes. The use of cements containing tripolite and quartz sand is not expedient because of their great water requirement and the pressure resistance accompanying it.

И.А.Лаул, В.Х.Кикас, А.А.Хайн

СРЕДНЕМАРОЧНЫЙ СЛАНЦЕЗОЛЬНЫЙ ЦЕМЕНТ С МИКРОНАПОЛНИТЕЛЯМИ

Огромный рост объема строительных работ предполагает всестороннее развитие производства строительных материалов, среди которых существенная роль принадлежит цементам. Наряду с производством высокомарочных цементов необходимо уделять должное внимание организации производства среднемарочных цементов с использованием местных добавок. Нехватка цементов низких марок приводит к тому, что цементы высоких марок расходуются на низкомарочные бетоны и строительные растворы, что обуславливает большой перерасход цемента и неполное использование его активности.

В научно-исследовательской лаборатории строительных материалов Таллинского политехнического института разработана технология изготовления среднемарочных вяжущих — кукурмит-цемента и сланцезольного цемента с микронаполнителями.

Кукурмит-цемент, получаемый совместным помолом 65–75 % мелкой фракции летучей золы и 35–25 % цементного клинкера, является расширяющимся цементом и требует более тщательного соблюдения условий изготовления и использования при повышенной влажности, чем обычные или безусадочные цементы. Это обусловило необходимость разработки состава безусадочного сланцезольного вяжущего. В случае среднемарочных сланцезольных вяжущих не будет ограничений ни на степень обжига золы, ни на вид используемой фракции, если создать условия, при которых содержание $CdSO_4$ и CdO_{cb} в вяжущих может быть понижено. Это можно обеспечить путем введения третьего компонента, например какой-нибудь молотой инертной добавки — известняка, кварцевого песка и др.

В данной статье рассматриваются вяжущие, полученные совместным помолом в лабораторной шаровой мельнице 30 % портландцементного клинкера, 0-70 % летучей золы сланца-кукерсита и 70-0 % кварцевого песка. Продолжительность помола всех вяжущих была одинаковой - 90 мин. При такой продолжительности помола бездобавочный портландцемент (молотый клинкер) достигает удельной поверхности $3000 \pm 50 \text{ см}^2/\text{г}$.

Физико-химические показатели использованной летучей золы приведены в таблице I.

Т а б л и ц а I

Физико-химические показатели использованной летучей золы

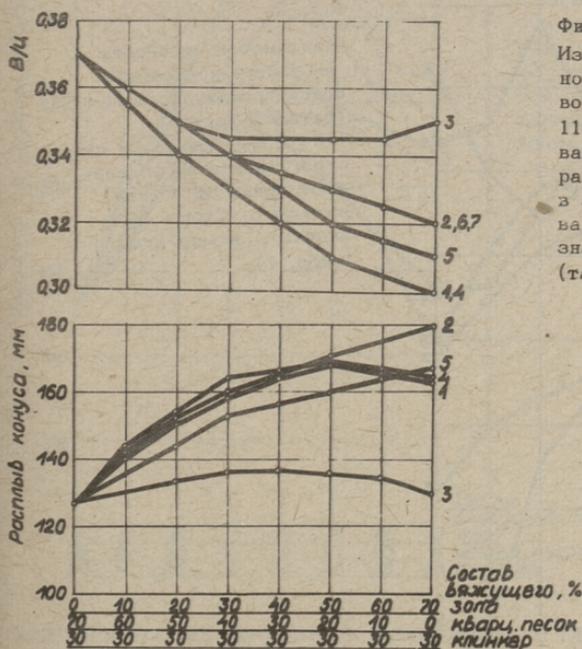
№ п/п	Наименование тепло-электростанции	Удельная поверхность, $\text{см}^2/\text{г}$	Содержание $\text{CaO}_{\text{св}}$, %	Модуль качества золы $\text{м}^2/\text{г}$
1.	Прибалтийская ГРЭС	3400	9,8	3,5
2.	Прибалтийская ГРЭС	3200	10,0	3,2
3.	Ахтмеская ТЭЦ	1770	14,6	1,2
4.	Эстонская ГРЭС	2820	14,2	2,0
5.	Эстонская ГРЭС	2090	21,5	1,0
6.	Прибалтийская ГРЭС	1800	13,6	1,3
7.	Прибалтийская ГРЭС	1800	11,1	1,6

При изготовлении вяжущих использовался клинкер завода "Пунане Кунда" с содержанием $\text{SO}_3 = 0,8\%$. Гипс добавлялся только при изготовлении цемента без добавки золы. Он вводился в таком количестве, чтобы содержание SO_3 в цементе составляло 3 % от веса клинкера.

Исследования проводились с образцами размером $4 \times 4 \times 16 \text{ см}$, изготовленными на растворе 1:3 (вяжущее : вольтский песок). Для изучения деформаций, возникающих в результате расширения растворов, образцы изготовлялись со специальными упорами-фиксаторами на торцах. Деформация измерялась при помощи индикаторных часов на специально изготовленном штативе.

На фиг. I приведено изменение В/Ц при равной консистенции раствора (распływ конуса $110 \pm 2 \text{ мм}$) и распльва конуса при равном расходе воды ($\text{В/Ц} = 0,40$) в зависимости от

состава вяжущего. Из приведенного видно, что добавка золы к цементу понижает его водопотребность.



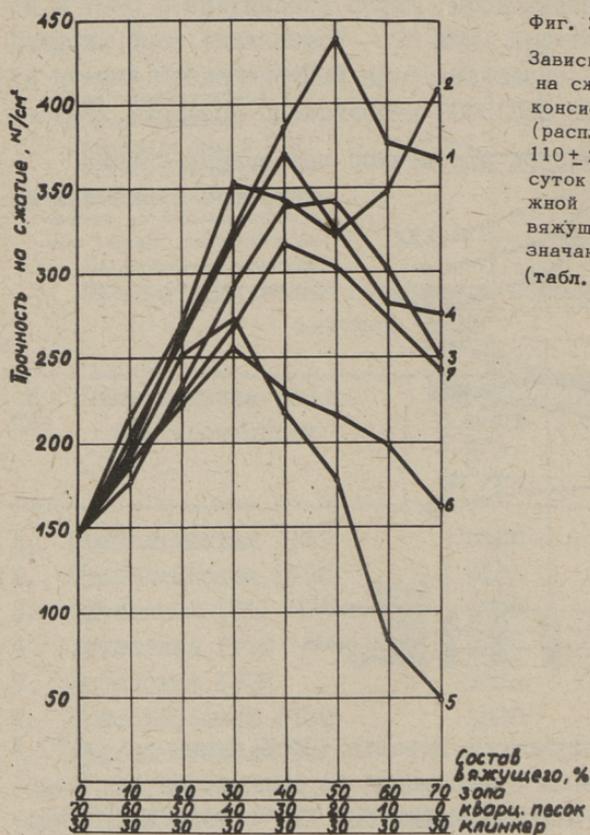
Фиг. 1.
Изменение В/Ц при равной консистенции раствора (расплив конуса 110 ± 2 мм) и расплива конуса при равном расходе воды (В/Ц=0,40) в зависимости от состава вяжущего. Цифры обозначают номер золы (табл. 1).

Водопотребность песчанистого цемента (30 % клинкера и 70 % песка) без добавки золы существенно не отличается от водопотребности обычных портландцементов. При замене же в песчанистом цементе кварцевого песка золой в количестве 10, 20 ... 70 % от веса вяжущего водоцементное отношение при распливе конуса 110 ± 2 мм уменьшается соответственно на 0,01... 0,07 (В/Ц = 0,37...0,30).

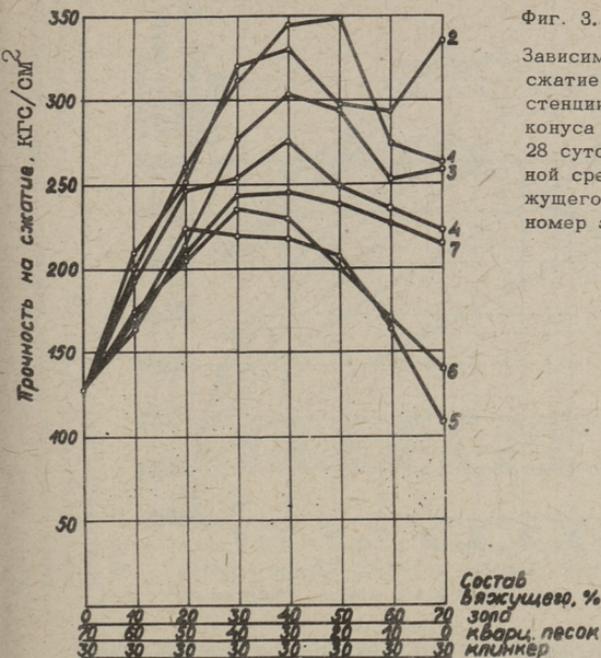
Наименьшее влияние на уменьшение водопотребности наблюдается при применении слабо обожженных зол из малых котельных агрегатов Ахтмеской ТЭЦ (зола № 3). Слабо обожженные золы содержат сравнительно меньше плотных зерен с оплавленной поверхностью и поэтому не наблюдается такого заметного снижения водопотребности, как в случае сильно обожженных зол из крупных котельных агрегатов Прибалтийской и Эстонской ГРЭС.

На фиг. 2 и 3 приведены зависимости прочности на сжатие при равной консистенции раствора (расплив конуса 110

± 2 мм) после 28 суток твердения во влажной или водной среде от состава цемента.



Как видно из фигур 2 и 3 оптимальное содержание цемента по прочности раствора зависит от качества цемента и от среды твердения. С увеличением содержания цемента в растворе прочность раствора возрастает до определенного предела, после чего она начинает уменьшаться. Падение прочности начинается тем раньше, чем больше цемент содержит свободной извести. Падение прочности обусловлено чрезмерным расширением. Величины расширения при равной консистенции раствора (расплыв конуса 110 ± 2 мм) после 28 суток твердения во влажной среде приведены на фиг. 4, а при твердении в водной среде — на фиг. 5. Как видно из этих фигур, при использовании разных



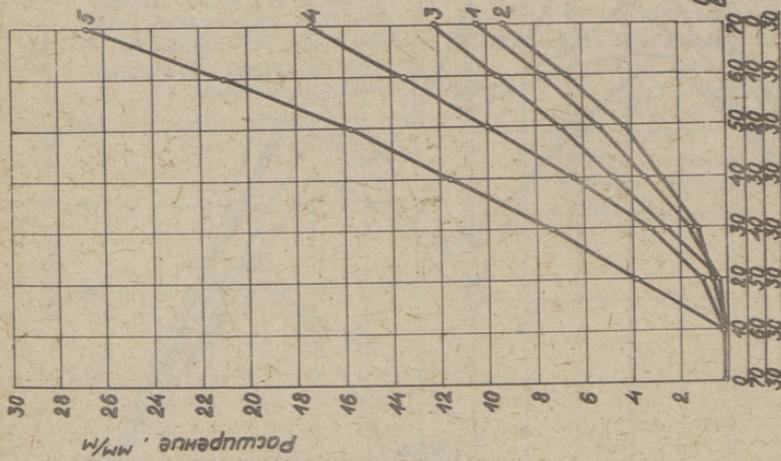
Фиг. 3.

Зависимость прочности на сжатие при равной консистенции раствора (распływ конуса 110 ± 2 мм) после 28 суток твердения в водной среде от состава вяжущего. Цифры обозначают номер золы (табл. 1).

зол расширения растворов колеблются в больших пределах. Таким образом, использование зол широкого диапазона ограничено чрезмерным расширением, особенно в случае вяжущих с большим содержанием золы.

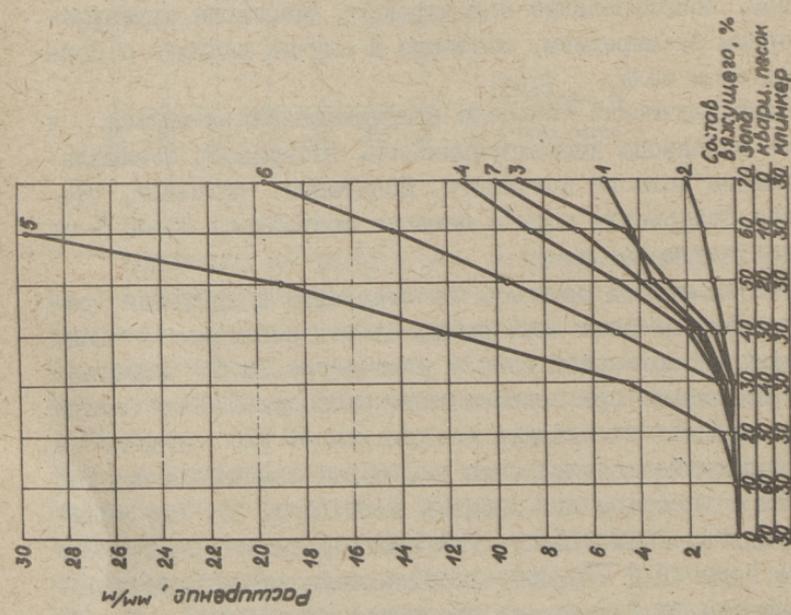
С целью улучшения качества среднемарочных цементов и расширения диапазона используемых зол, выбиралось оптимальное содержание золы по прочности. Испытания показали, что оптимальное содержание золы в цементе составляет 30–40 % от общего веса вяжущего.

В зависимости от методики изготовления и хранения растворов влияние добавки золы на прочность различно. Так, добавка низкокачественной золы в количестве 30 % повышает прочность на сжатие при консистенции раствора 110 мм после 28 суток твердения во влажном воздухе на ~ 100 кгс/см², а добавка высококачественной золы уже более чем на 200 кгс/см² в сравнении с цементом без добавки золы (фиг. 2). При испытании вяжущих по ГОСТ 310–60, где раствор имеет постоянное содержание воды ($V/C = 0,40$), добавка низкокачественной золы в количестве 30 % повышает прочность на сжатие на 40 кгс/см², а добавка высококачественной золы – на 100 кгс/см² (фиг. 6).



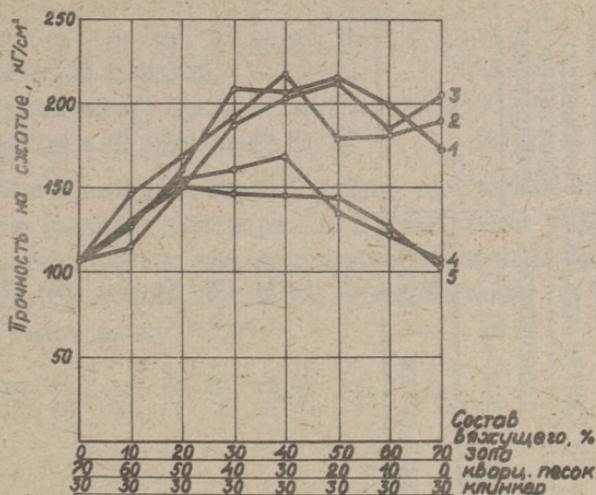
Фиг. 5.

Зависимость расширения при равной консистенции раствора (распыль конуса 110 ± 2 мм) после 28 суток твердения в воде от состава вяжущего. Цифры обозначают номер зоны (табл. 1).



Фиг. 4.

Зависимость расширения при равной консистенции раствора (распыль конуса 110 ± 2 мм), после 28 суток твердения во влажной среде, от состава вяжущего. Цифры обозначают номер зоны (табл. 1).



Фиг. 6.
Зависимость прочности на сжатие при равном расходе воды ($B/C = 0,40$) в растворе после 28 суток твердения в водной среде от состава вяжущего. Цифры обозначают номер золы (табл. 1).

Приведенные результаты опытов показывают, что стандартное испытание цемента недостаточно характеризует эффективность добавки золы.

На основе разностороннего исследования найден следующий оптимальный состав трехкомпонентного сланцезольного цемента:

- портландцементный клинкер 25-35 %
- мелкая или мельчайшая фракция летучей золы 30-40 %
- кварцевый песок или известняк 30-40 %

Цемент нового вида может применяться для изготовления кладочных и штукатурных растворов марок до "200", а также для изготовления бетонов марок до "300".

Результаты испытания бетонов на цементе, содержащем 40 % золы № 2, приведены в таблице 2. Как показывают данные таблицы 2, бетоны на этом цементе имеют высокую эффективность пропаривания. Например коэффициенты эффективности пропаривания k_1 и k_2 соответственно в 1,9 и 2,3 раза больше, чем в случае обыкновенного портландцемента.

Выводы

I. С целью использования широкого диапазона летучих зол сланца-кукерсита в среднемарочных цементах разработан сле-

Прочностные показатели бетонов разных составов

Состав цемента	Состав бетонной смеси по весу (цемент: песок: известняк)	Расход цемента, кг/м ³	В/Ц	Удобукладываемость бетонной смеси	Прочность на сжатие, кгс/см ²				Коэффициент эффективности пропаривания	
					нормальное твердение при +20 °С		пропаривание при +80 °С		К ₁	К ₂
					7 суток	28 суток	1 сутки	28 суток		
30 % клинкера + 40 % золы № 2Ж + 30 % известняка	1:3,2:4,2	250	0,81	3,0 см	35	98	101	164	1,03	1,68
"	1:2,0:3,4	350	0,58	3,0 см	63	142	160	271	1,13	1,91
"	1:1,4:2,7	450	0,48	4,5 см	92	183	207	303	1,13	1,65
"	1:3,2:4,2	250	0,63	15 сек	74	163	139	244	0,85	1,50
"	1:2,0:3,4	350	0,45	15 сек	120	208	232	354	1,12	1,70
"	1:1,4:2,7	450	0,38	13 сек	157	242	261	374	1,08	1,55
95 % клинкера + 5 % гипса	1:2,0:3,4	350	0,60	4,0 см	280	376	214	301	0,57	0,80
"	1:2,0:3,4	350	0,47	15 сек	369	485	298	380	0,61	0,78

Ж) физико-химические показатели использованной легучей золы приведены в таблице 1.

дующий оптимальный состав трехкомпонентного сланцезольного цемента:

портландцементный клинкер	25-35 %
мелкая или мельчайшая фракция летучей золы	30-40 %
кварцевый песок или известняк	30-40 %

2. Цементы вышеуказанного состава при равной консистенции раствора (расплав раствора 110 ± 2 мм) имеют марку "200" и "300" соответственно при использовании воды с модулем качества 1,2...3,0 и выше 3,0 м²/г. При испытании по ГОСТ 310-60 цемент имеет марку "200".

I. Laul, V. Kikas, A. Hain

Medium Brand Oil Shale Ash Cement with Microfillers

Summary

The paper examines the binding materials which have been obtained by grinding together 30 per cent Portland cement clinker, 0 - 70 per cent oil shale kukersite fly ash and 70 - 0 per cent quartz sand. On the basis of the investigation the following optimum composition of medium brand oil shale ash cement has been worked out:

Portland cement clinker	25-35 per cent,
fine or finest fraction of fly ash	30-40 per cent,
quartz sand or limestone	30-40 per cent.

УДК 691.327:691.322

А.А.Хайн, К.А.Оясте, В.Х.Кикас, И.А.Лаул

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА

Основными факторами, определяющими прочность раствора и бетона, являются активность используемого цемента, водоцементное отношение и качество заполнителя. При использовании цемента одинаковой активности прочность раствора и бетона, в зависимости от водоцементного отношения и заполнителя, может изменяться в очень больших пределах. Однако водоцементное отношение в свою очередь зависит от состава и свойств используемого цемента, а также от гранулометрического состава и формы зерен заполнителя. Гранулометрический состав и форма зерен заполнителя при условии, что прочность находится на требуемом уровне, влияют на прочность раствора и бетона не только через водоцементное отношение, но и через плотность раствора и бетона и через сцепление между цементным камнем и заполнителем.

Несмотря на то, что сфера влияния названных факторов на прочность раствора и бетона в отдельности известна, при практическом использовании сделанных на такой основе обобщений возникают определенные трудности. Суть этих трудностей заключается в том, что активность цемента, водоцементное отношение и заполнитель влияют на прочность раствора и бетона комплексно, в связи с чем непосредственное влияние каждого отдельного фактора без глубокого анализа проблемы оценить трудно. Так, например, в производстве бетона достаточно хорошо известна роль состава и свойств цемента, но сравнительно мало еще учитываются факторы, обусловленные используемым

в качестве заполнителя природным песком. Однако, как показывает практика Эстонской ССР, эта проблема требует намного более широкого и многостороннего рассмотрения, чем практиковалось до этого.

С учетом вышесказанного, для испытания были выбраны пески, используемые в качестве заполнителя на бетонных заводах Эстонской ССР (в городах Таллин, Тарту, Кохтла-Ярве, Нарва), так как их качество по имеющимся данным менялось в очень больших пределах. Для получения сравнительных данных был выбран также вольский песок. В качестве крупного заполнителя в бетонах использовался гранитный щебень крупностью зерен 5–15 мм. У песка определялся гранулометрический состав, форма зерен, модуль упругости, объемная масса и содержание пылевидных и глинистых частиц. У щебня форма зерен не определялась, а вместо нее определялась марка. Показатели основных физико-механических свойств песков и щебня приводятся в таблице I.

Т а б л и ц а I

Показатели физико-механических свойств используемых на бетонных заводах Эстонской ССР песков и гранитного щебня

Месторождение или наименование песка	Остаток на сите № 063, %	Проход сквозь сито № 014, %	Модуль крупности, M_K	Объемная масса, KT/M^3	Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	Марка щебня
Мяннику (Таллин)	37,5	5,5	2,28	1600	1,21	
Кукеметса (Тартуский р-н)	10,6	20,1	1,36	1470	4,30	
Панньяярве (Кохтла-Ярве)	21,2	1,5	2,01	1520	0,70	
Пайковский (Нарва)	7,1	13,6	1,47	1500	1,80	
Вольский песок	36,0	0,0	2,36	1600	0,0	
Гранитный щебень				1340	0,4	600

Оценка свойств песков проводилась в растворах и бетонах. Для изготовления последних использовались обычный и сланцезольный портландцементы, активности которых указаны в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Активность цементов в пластичном растворе

Наименование цемента	В/Ц	Расплав раствора на встраиваемом столике, мм	Прочность, кг/см ²					
			на изгиб			на сжатие		
			возраст раствора, сутки					
			3	7	28	3	7	28
Портландцемент	0,40	II5	43	62	65	252	348	430
Сланцезольный портландцемент	0,40	I58	55	61	69	275	343	410
Сланцезольный портландцемент	0,35	II7	-	70	78	-	448	545

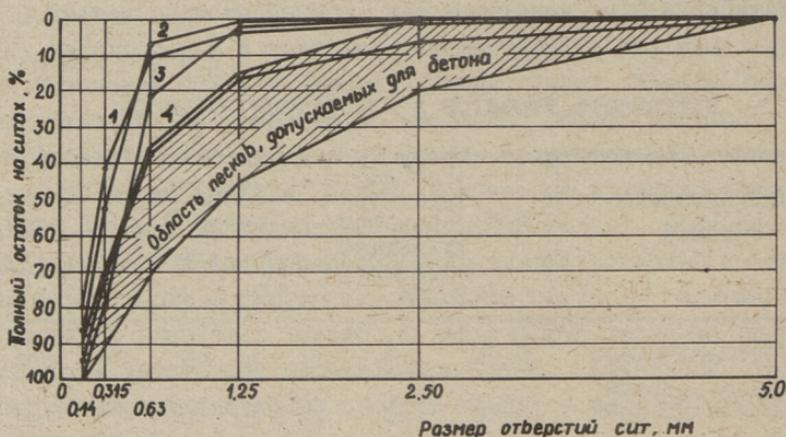
Растворы на основе различных песков изготавливались с постоянным водоцементным отношением и с постоянной консистенцией при составе смеси 1:3. Они твердели в нормальных условиях и при пропаривании при 80 °С. Дальнейшее твердение пропаренных растворов проходило во влажном воздухе при 20 °С.

Бетонные смеси готовились с постоянными расходами цемента (300 и 400 кг/м³) и с постоянной удобоукладываемостью (4-6 см). При расходах цемента 300 и 400 кг/м³ соотношения смесей соответственно были 1:2,35:3,97 и 1:1,51:2,92. Бетоны твердели в нормальных условиях и при пропаривании при 80 °С.

Основы оценки качества песка

Как известно, оценка качества песка, используемого в качестве заполнителя в тяжелых бетонах, производится по ГОСТам 8735-65; 8736-67 и 10268-70. По объемной массе и содержанию органических примесей испытываемые пески полностью соответствовали требованиям указанных норм. Содержание пылевидных и глинистых частиц превышало допустимый предел в 3 % только в песке из Кукуметса. Однако не меньшее значение имеет гранулометрический состав песка, определяющий плотность бетона и водоцементное отношение, а в конечном итоге

вместе с активностью цемента и характеристикой крупного заполнителя и прочностью бетона.



Фиг. 1.

Графики ситового анализа песков из карьеров:

- 1 - Кукеметса, 2 - Пайковского, 3 - Панньярье,
4 - Мяннику.

Используемый в тяжелых бетонах песок должен иметь гранулометрический состав, соответствующий ГОСТ 10268-70. При этом модуль крупности обычно принимается в пределах 2,10-3,25. Этим требованиям полностью отвечал лишь песок из Мяннику (фиг. 1). Песок из Панньярье удовлетворял графику зернового состава лишь в пределах фракции 0,14-0,63 мм. Пески Пайковского и Кукеметса, будучи сравнительно мелкозернистыми и не имея достаточного количества крупных фракций, не соответствовали графику зернового состава ни по одной из фракций. Три последних вида песка не имели также требуемого модуля крупности ($M_k < 2,10$). В вольском же песке отсутствуют фракции $> 0,90$ и $< 0,50$ мм, в связи с чем его несоответствие графику зернового состава очевидно.

Оценка качества песков на основе зернового состава обеспечивает при использовании отвечающего нормам крупного заполнителя получение бетона максимальной плотности, однако не учитывает характера сцепления между цементным камнем и зёрнами песка. Лучшее сцепление и, соответственно, более высокая прочность бетона получаются при шероховатой поверх-

ности зерен песка, которая в свою очередь зависит от степени изношенности зерен и их геометрии.

Геометрию зерен песка, а также стеклянного, мраморного, гранитного и чугунного порошков изучали многие исследователи. Одна из первых фундаментальных работ в этой области принадлежит литологу Л.Рухину. В Таллинском политехническом институте этой проблемой занимались Ю.Тадольдер и Б.Саар.

Б.Саар, изучая износ металлов от абразивных материалов, использовал для характеристики геометрии зерен показатели их окатанности и сферичности [1]. Ю.Тадольдер, подробно изучая в трех проекциях геометрию вольского песка и стеклянного порошка, впервые начал использовать понятие коэффициента формы зерен песка (M), являющегося отношением среднего числа выступов одного зерна песка (N_k) и среднего радиуса кривизны выступов (r_k) [2], то есть

$$M = \frac{N_k}{r_k}.$$

Для вычисления N_k и r_k используются следующие уравнения

$$N_k = \frac{\sum N}{n} \quad \text{и} \quad r_k = \frac{\sum r}{k \sum N},$$

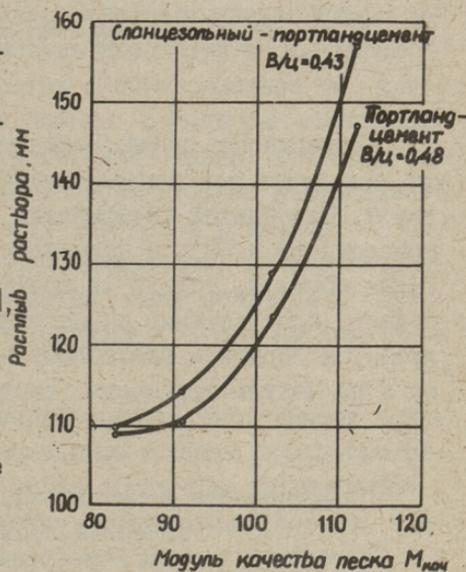
где $\sum N$ — общее число выступов на зернах испытываемого песка,

n — число зерен испытываемого песка

$\sum r$ — сумма радиусов кривизны всех измеренных выступов,

k — увеличение, использованное при перерисовке выступов.

Для определения коэффициента формы зерен, выбранных для испытания песков, они разделялись на фракции 0,14–0,315; 0,315–0,63; 0,63–1,25 и 1,25–2,5 мм. Из каждой фракции было отделено и измерено по 50 зерен и по полученным данным



Фиг. 2.
Зависимость консистенции раствора от модуля качества песка.

вычислялся средний коэффициент формы зерен фракций. Средний коэффициент формы зерен рассматриваемого песка вычислялся по средним коэффициентам формы зерен его фракций и остаткам на ситах, соответствующих нижним границам фракций, по уравнению

$$M_{\text{сред}} = \frac{A_{1,25} \cdot M_{1,25} + A_{0,63} \cdot M_{0,63} + A_{0,315} \cdot M_{0,315} + A_{0,14} \cdot M_{0,14}}{A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}}$$

где $A_{1,25}$; $A_{0,63}$; $A_{0,315}$; $A_{0,14}$ — остатки на ситах, соответствующие нижним границам фракций;

$M_{1,25}$; $M_{0,63}$; $M_{0,315}$; $M_{0,14}$ — средние коэффициенты формы зерен фракций.

Поверхность зерна песка тем более шероховатая и сцепление тем лучше, чем больше среднее значение коэффициента формы зерен. Наибольший коэффициент формы зерен у песка из Пайковского ($M = 62$), а наименьший — у песка Мяннику ($M = 49$). Таким образом, исходя из коэффициента формы зерен качество песков, используемых на бетонных заводах Эстонской ССР, получается обратным найденному по результатам ситового анализа и по модулю крупности (таблица 3).

Т а б л и ц а 3

Коэффициенты формы зерен, модули крупности и качества песков

Месторождение песка	Модуль крупности, M_k	Коэффициент зерен, M	Модуль качества, $M_{\text{кач}}$
Кукеметса	1,36	61,0	83
Пайковский	1,47	62,0	91
Панньярве	2,01	50,5	102
Мяннику	2,28	49,0	112
Вольский	2,36	27,7	65

Вольский песок, по причине его крайне малой величины коэффициента формы зерен ($M = 27,7$) и неблагоприятного гра-

нулометрического состава (хотя модуль крупности и соответствует предъявляемым требованиям), был исключен из дальнейшего рассмотрения.

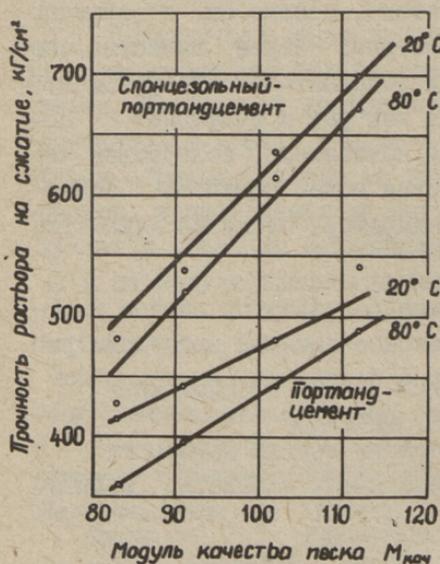
Влияние качества песка на прочность раствора и бетона

При изучении взаимосвязей между модулем крупности и коэффициентом формы зерен песка с физико-механическими свойствами раствора и бетона выяснилось, что ни по одному из этих показателей качества песка, взятых в отдельности, невозможно достаточно объективно прогнозировать прочностные свойства раствора и бетона, обусловленные мелким заполнителем. Действительно, модуль крупности песка характеризует гранулометрический состав и обусловленные им плотность и прочность раствора и бетона, однако он совершенно не учитывает обусловленное геометрией зерен качество сцепления между цементным камнем и заполнителем. Коэффициент же формы зерен в первую очередь как раз и учитывает последний, но не учитывает первый показатель, вследствие чего песок одного и того же качества может получить совершенно противоположные оценки (например, пески из Кукметса и Мяннику).

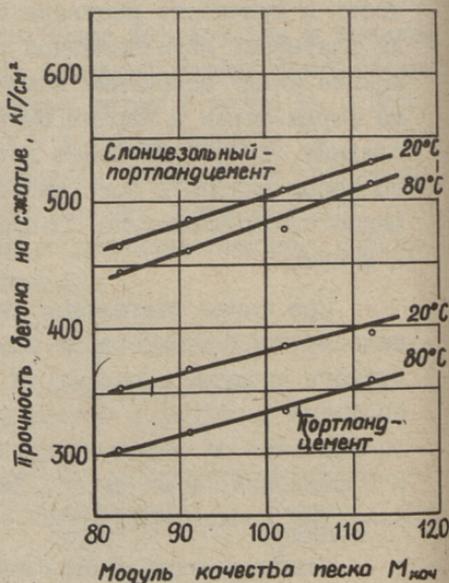
При более тщательном анализе результатов опытов выяснилось, что одновременно комплексное влияние гранулометрического состава и геометрии зерен песка на прочностные свойства раствора и бетона можно сравнительно хорошо прогнозировать по величине произведения модуля крупности и коэффициента формы зерен, которые проще называть модулем качества песка (табл. 3).

Для выявления взаимосвязи модуля качества песка с прочностными свойствами целесообразно вначале проанализировать результаты опытов в части водопотребности растворов. Из фиг. 2 видно, что с увеличением модуля качества песка при постоянном водоцементном отношении расплыв раствора на встряхивающем столике существенно возрастает. Эта зависимость не линейна — положительное влияние модуля качества проявляется сильнее при больших его значениях. Для обеспечения заданного уровня консистенции раствора при большом

модулю качества, то есть при использовании лучшего песка, можно водоцементное отношение портландцементного раствора снизить на 0,05, а водоцементное отношение сланцезольно-портландцементного раствора – даже на 0,07. При прочих равных условиях с увеличением модуля качества плотность раствора возрастает. В итоге одновременно со снижением водоцементного отношения и увеличением плотности раствора растет его прочность на сжатие. Ввиду того, что модуль качества через коэффициент формы зерен содержит информацию и об обусловленном геометрией зерен песка сцеплении с цементным камнем, очевидно, что прочностные свойства раствора с увеличением модуля качества должны возрастать. Для растворов, как видно из фиг. 3, рассматриваемая зависимость линейная. При этом с увеличением модуля качества песка прочность на сжатие сланцезольно-портландцементного ра-



Фиг. 3.
Зависимость прочности раствора на сжатие от модуля качества песка.



Фиг. 4.
Зависимость прочности бетона на сжатие в возрасте 28 суток от модуля качества песка при расходе цемента 400 кг/м³.

створа в сравнении с портландцементным раствором возрастает значительно интенсивнее при больших значениях модуля. Так, в нормальных условиях твердения прочность на сжатие сланцезольно-портландцементного раствора на песке с малым модулем качества ($M_{\text{кач}} = 83$) превышает тот же показатель портландцементного раствора на $\sim 80 \text{ кгс/см}^2$, а при использовании песка с высоким модулем качества ($M_{\text{кач}} = 112$) — уже на 180 кгс/см^2 . Этот факт свидетельствует о том, что при использовании сланцезольного портландцемента качеству песка необходимо уделять значительно большее внимание, чем ему уделялось раньше.

Пропаривание растворов существенно не изменяет взаимосвязи между модулем качества песка и прочностными свойствами раствора.

При оценке качества песков в бетонах в принципе получены аналогичные результаты. Удобоукладываемость и прочность на сжатие бетонов с увеличением модуля качества песка также существенно возрастают (фиг. 4). Однако в сравнении с растворами влияние модуля качества песка на прочность бетонов все же уменьшилось. Это можно объяснить положительным влиянием качества крупного заполнителя (щебня). Так, если при твердении в нормальных условиях прочность на сжатие портландцементных растворов за счет увеличения модуля качества песка с 83 до 112 возрасла на $\sim 100 \text{ кгс/см}^2$, а в случае сланцезольного портландцемента даже на $\sim 200 \text{ кгс/см}^2$, то в бетонах те же показатели значительно ниже — 45 и 65 кгс/см^2 .

В портландцементных бетонах на песке из Кукметса удельный расход цемента для 28 суток в среднем составляет $1,21 \text{ кг/кгс/см}^2$, а при использовании песка из Мяннику — $1,06 \text{ кг/кгс/см}^2$. Таким образом, замена низкокачественного песка из Кукметса высококачественным песком из Мяннику позволяет на каждую единицу прочности сэкономить $0,15 \text{ кг}$ или $12,4 \%$ цемента.

При использовании сланцезольного портландцемента средний удельный расход цемента в бетонах на песке из Кукметса — $0,88 \text{ кг/кгс/см}^2$, а в бетонах на песке Мяннику — $0,77 \text{ кг/кгс/см}^2$, то есть в этом случае удельный расход цемента снижается на $0,11 \text{ кг/кгс/см}^2$ и получаемая эконо-

мия составляет 12,5 %, что практически совпадает с тем же показателем для портландцемента.

Обобщая результаты оценки качества песков, используемых в Эстонской ССР в растворах и бетонах, можно заключить, что качественным является лишь песок из Мяннику. Песок из Кукеметса имеет низкое качество и его использование в высококачественных растворах и бетонах себя не оправдывает. Пески из Панньярве и Пайковского являются промежуточными по качеству. Их недостатки по части гранулометрического состава и форме зерен можно в определенных пределах компенсировать путем использования в бетоне высококачественного щебня.

В ы в о д ы

1. Оценка качества используемого в растворах и бетонах песка по графику зернового состава и модуля крупности недостаточно объективна, так как эти показатели характеризуют прочностные свойства растворов и бетона, обусловленные лишь зерновым составом песка.

2. Геометрию зерен песка, от которой зависит характер сцепления цементного камня с заполнителем, можно учесть при помощи коэффициента формы зерен песка, являющегося отношением среднего числа выступов песчинки и среднего радиуса кривизны выступов.

3. Одновременно комплексное влияние гранулометрического состава и геометрии зерен песка на прочностные свойства растворов и бетонов можно оценить по модулю качества песка, являющемуся произведением модуля крупности и коэффициента формы зерен.

4. Чем выше модуль качества песка, тем ниже водопотребность раствора и бетона и больше прочность на сжатие. Влияние модуля качества на прочность бетона в сравнении с растворами несколько снижается. Это обусловлено положительным влиянием щебня, который в определенных пределах может компенсировать недостаточное качество песка.

5. По модулю качества из песков, используемых в Эстонской ССР в бетонах, лучшим является песок из Мяннику

(гор. Таллин). Качество песка из Кукеметса (Тартуский район) самое низкое и его использование в высокомарочных бетонах нецелесообразно. При замене в бетоне песка из Кукеметса на песок из Мяннику для получения той же прочности бетона можно уменьшить расход цемента на 12,5 %.

Л и т е р а т у р а

1. Саар Б. Лепиксон Х. Исследование изнашивания в массе уплотненного абразива. — "Тр. Таллинск. политехн. ин-та", серия А, № 219, 1965.

2. T a d o l d e r, J. Tehniliselt puhaste metallide kulumisest abrasiivjoas (Dissertatsioon). Tallinna Polütehniline Instituut, 1966.

A. Hain, K. Ojaste, V. Kikas, I. Laul

The Influence of the Properties of Fine Aggregate on the Strength of Concrete

Summary

The simultaneous and complex influence of the granulometric composition of sand and of the geometry of grains on the strength properties of concretes can be estimated by the quality modulus of sand, which is the product of fineness modulus and shape factor (the ratio of the average number of protrusions of sand grains and of the average radius of curvature of protrusions). With the increase of quality modulus the quality of sand improves and the pressure resistance of the mortar and of the concrete made on the basis of the sand grows.

According to quality modulus the sand obtained from Männiku quarry is the best fine aggregate used in concretes in the Estonian SSR.

УДК 691.316

С.И. Грабко, В.Х. Кикас

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО СЛАНЦЕЗОЛЬНО-ПЕСЧАНОГО АВТОКЛАВНОГО БЕТОНА

В условиях непрерывного роста масштабов и повышения технического уровня промышленного и гражданского строительства постоянно растет потребность в качественных бетонах, обладающих высокой прочностью и долговечностью в различных условиях эксплуатации. Такие бетоны находят все более широкое применение в несущих конструкциях зданий и сооружений.

При получении качественных бетонов очевидно необходимо не только добиваться их высокой плотности, но также обеспечивать оптимальный фазовый состав цементирующей связки бетонов. Этот вопрос, применительно к сланцезольно-песчаным бетонам автоклавного твердения, и рассматривается в настоящем исследовании.

С целью изменения фазового состава цементирующей связки сланцезольно-песчаного бетона здесь варьировался состав бетона - расход вяжущего и удельная поверхность песка-заполнителя. Вяжущее готовилось на основе сланцевой золы Прибалтийской ГРЭС с содержанием реакционноспособной извести $CaO_p = CaO_{общ} - CaO_{CaSO_4} - CaO_{CaCO_3} = 46,4\%$, $CaO_{C_60S} = 26,1\%$, $CaSO_4 = 9,5\%$, без добавления молотого песка. В соответствии с РСТ ЭССР 90-72 эта зола пригодна для производства сланцезольных автоклавных бетонов. Перед гашением зола размалывалась до удельной поверхности $2660 \text{ см}^2/\text{г}$. Гашение золы проводилось при 10 ати в течение 45 мин. с добавкой 10 % воды от веса золы.

Э.Г. Оямаа [1] в производстве сланцезольно-песчаных бетонов рекомендует применять пески с модулем крупности 2,4 -

3,0. В данном исследовании модуль крупности песка изменяли в пределах 2,0-3,4, то есть использовались пески в диапазоне от мелкого до крупного. Изменяли также однородность зернового состава песка. В этих условиях вычисленная по зерновому составу (в предположении шарообразности частиц) удельная поверхность песка-заполнителя варьировалась в пределах 25-100 см²/г. Пески разного зернового состава были получены рассеиванием природного песка из карьера "Мянику" с помощью стандартного набора сит на фракции и смешением их в требуемых соотношениях, обеспечивающих задаваемые уровни удельной поверхности при непрерывном зерновом составе заполнителя. Содержание вяжущего в бетонных смесях варьировалось в пределах 15-35 %.

Бетонные смеси готовились постоянной подвижности, обеспечивающей качественное заполнение форм при виброуплотнении. Добавка воды подбиралась с таким расчетом, чтобы после перемешивания на бегунах в течение 5 мин. смесь имела расплыв конуса (ГОСТ 310-60) 115 ± 5 мм. Размер образцов был принят 40x40x160 мм, благодаря чему наблюдение за стойкостью до 2,5 лет моделировало стойкость реальных конструкций в течение более длительного периода эксплуатации. Формование образцов проводилось по ГОСТ 310-60. Автоклав емкостью 2,2 м³ сразу после установки форм герметизировался. Автоклавная обработка проводилась по режиму 2+3+2 часа при 12 атм.

После автоклавной обработки часть образцов шла на определение прочностей на сжатие и на изгиб, а другая часть - на определение показателей морозостойкости и стойкости в водных и воздушных условиях хранения. Показатели водостойкости и воздухоустойкости вычислялись как отношения конечных прочностей бетонов на сжатие или на изгиб в заданных условиях хранения к прочности бетонов после автоклавной обработки (начальной прочности). После испытаний на прочность и соответствующей подготовки проб проводился фазовый анализ бетонов, для чего использовался рентгеновский дифрактометр ДРОН-I при CuK_α -излучении, возбуждавшемся при напряжении на трубке 35 кв и силе тока 34 ма. Содержание отдельных гидратных фаз в бетоне оценивалось по интенсивности соответствующих дифракционных линий. Полученные в опытах результаты приводятся в таблице.

Фазовый состав и свойства глинецеольно-песчаных бетонов первой серии опытов

Номера оп- тов	Рас- ход вяжущего, %	Уд. по- ность песка, см ² /г	Водо- потре- бность смеси, %	Объем- ная масса, т/м ³	Твер- дит, I счт., I, 3 А нат. I счт.	Гидро- гра- нат. 5,0 А I счт.	Эле- стадия 2, 85 А I счт.		Рож I счт ки кгс/см ²	Морозо- стой- кость, циклов	R _и I счт ки кгс/см ²	R _{ож} 2,5 г в воде по R _{ож} кгс/см ²	Водо- стой- 2,5 г в воде по R _и кгс/см ²	R _{ож} 2,5 г в воде по R _и кгс/см ²	Возду- хостой- кость по R _{ож}	
							И	П / сек								
1	15	25	9,8	2,10	380	75	340	355	3	47,0	325	1,16	52,0	1,29	415	1,17
2	15	50	10,0	2,06	465	70	295	385	8	53,0	350	1,10	54,5	1,14	440	1,14
3	15	75	10,2	2,03	510	70	260	400	12	55,5	365	1,06	56,0	1,05	465	1,16
4	15	100	10,4	2,00	515	75	240	400	10	55,5	365	1,04	56,5	1,01	485	1,21
5	20	25	10,1	2,12	245	90	430	410	5	54,5	405	1,24	61,0	1,32	490	1,20
6	20	50	10,3	2,09	330	80	380	450	12	61,5	435	1,15	65,0	1,20	525	1,17
7	20	75	10,4	2,06	375	75	340	475	15	65,0	445	1,09	68,0	1,13	560	1,19
8	20	100	10,6	2,04	385	80	315	480	12	67,0	445	1,04	70,0	1,12	595	1,24
9	25	25	10,8	2,11	145	105	490	415	10	57,0	445	1,32	63,0	1,28	515	1,23
10	25	50	10,9	2,08	235	90	440	465	18	65,5	475	1,20	68,5	1,18	560	1,21
11	25	75	11,1	2,06	290	85	395	495	20	70,5	490	1,11	73,0	1,14	610	1,22
12	25	100	11,2	2,05	300	85	370	510	20	73,0	490	1,06	76,5	1,15	650	1,27
13	30	25	11,9	2,07	90	120	535	375	14	54,0	445	1,45	57,5	1,17	490	1,30
14	30	50	12,0	2,05	185	100	475	430	28	64,0	475	1,29	64,5	1,10	550	1,27
15	30	75	12,1	2,03	240	90	430	470	40	70,5	485	1,17	70,5	1,08	605	1,28
16	30	100	12,3	2,03	260	90	400	495	42	74,0	485	1,08	75,5	1,12	660	1,33
17	35	25	13,4	1,99	80	135	555	285	16	46,0	405	1,72	45,0	0,98	420	1,46
18	35	50	13,5	1,98	175	110	490	350	40	57,0	430	1,43	53,0	0,93	490	1,39
19	35	75	13,6	1,97	235	95	440	400	62	65,0	445	1,25	60,5	0,94	555	1,39
20	35	100	13,7	1,97	255	90	405	445	80	70,0	440	1,10	67,0	1,00	620	1,40

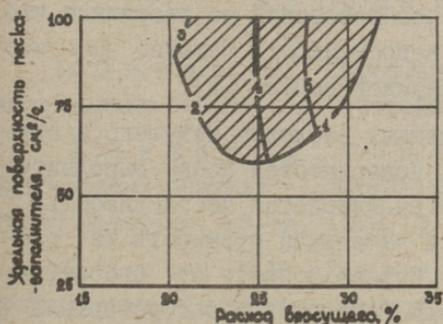
Ранее нами было показано [2], что при автоклавном твердении сланцезольных вяжущих сначала, в период связывания свободной извести, происходит образование первичных соединений — гидрограната и элlestадита. После связывания свободной извести в присутствии реакционноспособного кремнезема первичные богатые известью фазы начинают растворяться, а из раствора выделяются стабильные в данных условиях вторичные новообразования — низкоосновные гидросиликаты кальция.

Результаты фазового анализа бетонов показали, что при варьировании рассматриваемых факторов в исследованном диапазоне наибольшее влияние на фазовый состав оказывает расход вяжущего. Это видно из того, что экстремальные содержания основных компонентов фазового состава сланцезольного автоклавного бетона — тоберморита и элlestадита — отмечаются при крайних значениях расхода вяжущего — 15 и 35 %, см. таблицу. Из полученных данных видно, что увеличение расхода вяжущего, так же как и уменьшение удельной поверхности песка-заполнителя, ведет к уменьшению содержания в бетоне тоберморита и увеличению содержания элlestадита.

Изменение фазового состава сланцезольно-песчаного бетона при варьировании рассматриваемых факторов объясняется участием определенной части кремнезема песка-заполнителя в процессах автоклавного твердения бетона. При этом увеличение удельной поверхности песка-заполнителя ведет к увеличению участия кремнезема заполнителя в указанных реакциях. Уменьшение расхода вяжущего также приводит к увеличению относительного количества участвующего в реакциях кремнезема заполнителя, что при неизменном режиме автоклавной обработки и приводит к понижению основности цементирующего вещества и, следовательно, к увеличению степени перевода первичных новообразований — гидрограната и элlestадита — во вторичные — низкоосновные гидросиликаты кальция.

На фигуре приводится найденная по опытным данным область оптимальных составов сланцезольно-песчаных бетонов, в которой одновременно обеспечиваются высокие уровни прочностных показателей, морозостойкости, водостойкости и воздухоустойкости по прочности на сжатие. Область оптимальных составов найдена наложением друг на друга областей, в которых обеспечиваются задаваемые уровни отдельных свойств. Для ус-

тановления пределов изменения технологических параметров, обеспечивающих задаваемый уровень каждого конкретного свойства сланцезольно-песчаного бетона, зависимость данного свойства от параметров технологии аппроксимировалась поверхностью отклика второго порядка с использованием метода наименьших квадратов, а затем проводился численный анализ полученного уравнения регрессии.



Фиг. 1.

Область оптимальных составов сланцезольно-песчаных бетонов при CaO_p в вяжущем 46,4 % и режиме твердения 2+3+2 часа при 12 ати:

- 1 - $R_{сж}$ (одни сутки) 480 кгс/см²
 - 2 - $R_{сж}$ (2,5 г. в воде) 70 кгс/см²,
 - 3 - морозостойкость 15 циклов,
 - 4 - морозостойкость 20 циклов,
 - 5 - морозостойкость 30 циклов,
- $R_{сж}$ (2,5 г. в воде) > 450 кгс/см²,
 Водостойкость по $R_{сж}$ > 1,05,
 R_n (одни сутки) > 65 кгс/см²,
 водостойкость по R_n > 1,05,
 $R_{сж}$ (2,5 г. на возд.) > 450 кгс/см²,
 воздухостойкость по $R_{сж}$ > 1,05.

Из фигуры видно, что качественный сланцезольно-песчаный бетон при давлении в автоклаве 12 ати можно получить, используя песок-заполнитель с удельной поверхностью выше 60 см²/г. При удельной поверхности заполнителя 75 см²/г для этого необходим расход вяжущего 22-29 %, а при удельной поверхности заполнителя 100 см²/г - расход вяжущего 21-31 %.

В целом в рассматриваемой области оптимальных составов сланцезольно-песчаного бетона обеспечивается морозостойкость не менее 15 циклов. Однако из фигуры видно, что увеличение расхода вяжущего в указанных пределах позволяет существенно увеличить морозостойкость бетона - с 15 до 45 циклов. Из литературных данных [3,4] известно, что такое первичное новообразование автоклавного бетона, как $C_2SH(A)$, обладает значительно более высокой морозостойкостью, чем низкоосновные гидросиликаты кальция - соответственно 75-100 и 10-18 циклов. Очевидно увеличение содержания первичных новообразований при одновременном снижении содержания вторичных новообразований и в наших условиях обеспечивает увели-

чение морозостойкости сланцезольно-песчаного бетона при увеличении расхода вяжущего.

Со стороны малых расходов вяжущего указанная на фигуре область оптимальных составов в основном ограничивается необходимостью обеспечения достаточно высокой водостойкости сланцезольно-песчаных бетонов - прочность на изгиб после 2,5-летнего хранения бетонов в воде должна быть не менее 70 кгс/см^2 . Снижение расхода вяжущего ведет к увеличению степени перевода первичных новообразований во вторичные, что и является причиной снижения водостойкости бетона, на что мы указывали в ранее опубликованной работе [5].

Справа, со стороны повышенных расходов вяжущего, и снизу, со стороны малых удельных поверхностей песка-заполнителя, рассматриваемая область ограничивается необходимостью обеспечения достаточно высокой начальной прочности на сжатие - не менее 480 кгс/см^2 . Справа и снизу от рассматриваемой области степень перевода первичных новообразований во вторичные уже недостаточна для обеспечения заданного уровня начальной прочности.

Данные результаты свидетельствуют о том, что получение качественного бетона обеспечивается лишь при вполне определенных соотношениях содержаний первичных новообразований и тоберморита в цементирующей связке бетона. Принимая во внимание тот факт, что интенсивности главных линий синтезированных в лаборатории проб тоберморита, элестадита и гидрограната при съемке в одинаковых условиях оказываются весьма близкими, мы можем ориентировочно рассчитывать содержание первичных новообразований в цементирующей связке сланцезольно-песчаного бетона оптимального состава. Средние интенсивности линий определяемых фаз для бетонов оптимальных составов следующие: тоберморит $11,3 \text{ \AA} - 285 \text{ имп/с}$, гидрогранат $5,0 \text{ \AA} - 85 \text{ имп/с}$, элестадит $2,85 \text{ \AA} - 390 \text{ имп/с}$, а относительные интенсивности измеряемых линий соответственно 41, 30 и 100 %. Таким образом, ориентировочное соотношение содержаний первичных новообразований и общего содержания первичных новообразований и тоберморита составит

$$\left(\frac{285}{0,41} \right) : \left(\frac{285}{0,41} + \frac{85}{0,30} + \frac{390}{1,00} \right) \approx 50 \%$$

На этом основании можно заключить, что для получения качественного сланцезольно-песчаного бетона необходимо путем соответствующего выбора технологических параметров обеспечить наличие в цементирующей связке бетона помимо низкоосновных гидросиликатов кальция порядка 45-55 % первичных новообразований - элестадита и гидрограната.

Л и т е р а т у р а

1. О я м а а Э.Г. Строительные детали из сланцезольных автоклавных бетонов. Л., Стройиздат, 1969.

2. К и в а с В.Х., Г р а б к о С.И. Процессы твердения автоклавных вяжущих, содержащих сульфат кальция. - "Тр. Таллинского политехн. ин-та", 1972, № 335.

3. Б у т т Ю.М., К у а т б а е в К.К. Долговечность автоклавных силикатных бетонов. - М., Стройиздат, 1966.

4. Б у т т Ю.М., Р а ш к о в и ч Л.Н. Твердение вяжущих при повышенных температурах. М., Стройиздат, 1965.

5. К и к а с В.Х., Г р а б к о С.И. Влияние добавки гипса на водостойкость автоклавных силикатных бетонов. - "Тр. Таллинск. политехн. ин-та", 1972, № 335.

An Investigation of the Conditions of Obtaining
Qualitative Oil-Shale Ash-Sand Autoclave Concrete

Summary

In the paper the conditions are shown for obtaining qualitative oil-shale ash-sand concretes which simultaneously with high strength possess a high durability in various maintenance conditions. For determining these conditions the technological production parameters of such concretes - the expenditure of the matrix and the specific surface of the sand aggregate - were modified. Observation of the durability of the concretes in water and air mediums proceeded for up to 2,5 years. In the course of the investigation the phase composition of the concretes was continually watched, which permitted to determine the reasons of changing the qualities of the concretes when changing the parameters of technology.

УДК 666.973.6.017.620.17

Т.А. Лаур

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛАНЦЕЗОЛЬНОГО ГАЗОБЕТОНА

Широкое применение индустриальных строительных материалов из сланцезольного газобетона в республике началось после внедрения выпуска крупных панелей на Ахтмеском комбинате строительных материалов в 1963 году.

Крупные панели Ахтмеского КСМ используются в основном для строительства животноводческих и промышленных зданий. Опыт эксплуатации конструкций по стойкости сланцезольного газобетона и исследования подтвердили достаточность физико-механических свойств этого материала [1,2,3].

В настоящей статье приведены результаты по исследованию некоторых физико-механических свойств сланцезольного газобетона, изготовленного на Ахтмеском КСМ. Также приведены результаты по исследованию физико-механических свойств газобетона, изготовленного из разных фракций летучей золы Ахтмеской ТЭЦ.

1. Применяемые материалы и методика исследований

Для сланцезольного газобетона заводского изготовления применяли летучую золу сланца-кукерсита, свойства которой колебались в следующих пределах:

содержание $\text{CaO}_{\text{сб}}$	— 21,6...24,4 %
удельная поверхность	— 1020...1440 $\text{см}^2/\text{г}$,
фракционный состав:	
частиц > 90 μ	— 9,5...15,6 %
60-90 μ	— 14,2...27,0 %
< 60 μ	— 62,7...85,5 %

При лабораторных исследованиях использовали фракции летучей золы, улавливаемые в узле приема золы Ахтмеского КСМ.

Основные свойства фракции золы следующие:

Вид золы	Содержание $\text{CaO}_{\text{св}}$ в %	Удельная поверхность в $\text{см}^2/\text{г}$
мелкая фракция	16,2	2010
летучая зола	20,0	1620
крупная фракция	24,6	1090

Заполнителем использовали кварцевые пески карьеров ПАНИ-Ярве и Мяннику. Образцы (10x10x10) для определения прочности на сжатие газобетона заводского изготовления выпиливали из теплоизоляционных плит и из деталей КСП-12-12-3 по 3 образца в направлении вспучивания. Испытания проводились с образцами, высушенными при +105...110 °С.

При лабораторном изготовлении газобетона золопесчаную смесь изготавливали в лабораторной шаровой мельнице. Для частичного гашения свободной извести в золе при помоле добавляли 4 % воды от веса песка. Золопесчаную смесь изготавливали с содержанием свободной CaO в смеси 11,5 и 14,0 %, что соответствовало активностям смеси при изготовлении газобетона с объемной массой 700 $\text{кг}/\text{м}^3$ и 500 $\text{кг}/\text{м}^3$ (таблица 1)

Т а б л и ц а 1

Применяемые золопесчаные смеси

№ смеси	Содержание в смеси	$\text{CaO}_{\text{св}}$, в % в золе	Соотношение золы и песка в смеси
1		16,2	1 : 0,41
2	11,5	20,0	1 : 0,74
3		24,6	1 : 1,14
4		16,2	1 : 0,16
5	14,0	20,0	1 : 0,43
6		24,6	1 : 0,76

Для лабораторных исследований изготавливали образцы 7x7x7 см и 7x7x22 см, режим запарки 2,5+6+2,5 часа при 8 атм.

Физико-механические свойства сланцезольного газобетона, изготовленного в лабораторных условиях, приведены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Физико-механические свойства сланцезольного газобетона

№ смеси	Объемная масса в высушенном виде, в кг/м ³	Прочность на сжатие, в кгс/см ²	Коэффициент качества 100 R/γ ₀ ²
1	750	57,7	1,03
2	748	64,9	1,16
3	759	71,2	1,24
4	744	49,2	0,89
5	782	59,3	0,97
6	819	77,8	1,16

Стойкость сланцезольного газобетона при переменном увлажнении и высыхании определили по методике Е.Силаенкова [4]. Общая продолжительность одного цикла 24 часа. Стойкость газобетона оценивалась визуально по 5-балльной шкале. Стойкость сланцезольного газобетона при искусственной карбонизации определили по методике НИИЖБ: в 100-процентной среде CO₂ под давлением 200 мм водяного столба [5].

Усадку определили при помощи прибора, снабженного индикатором с точностью измерения 0,01 мм. Усадку от высыхания определили образцами 7x7x22 см после погружения образцов в воду на 48 часов в комнатных условиях при температуре +17...20°C и при относительной влажности воздуха 70...90 %.

2. Стойкость сланцезольного газобетона при переменном увлажнении и высыхании

Испытания проводились до 60 циклов, после стабилизации состояния образцов (в пределах 30...50 циклов).

Результаты испытаний сланцезольного газобетона из шести составов приведены в таблице 3.

Состояние образцов сланцезольного газобетона
при переменном увлажнении и высыхании

№ смеси	Средняя оценка в баллах после испытания									
	4	5	6	7	10	20	30	40	50	60
	ЦИКЛОВ									
1	5,0	4,8	4,5	3,6	3,3	3,0	2,7	2,7	2,7	2,7
2	5,0	5,0	4,7	4,7	4,0	4,0	3,8	3,8	3,8	3,8
3	5,0	5,0	4,8	4,2	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
4	5,0	4,7	4,0	4,0	3,5	3,2	3,0	2,7	2,7	2,7
5	5,0	4,8	4,5	4,5	4,0	4,0	3,5	3,5	3,3	3,3
6	5,0	5,0	5,0	5,0	4,7	4,2	3,8	3,8	3,5	3,5

Для сравнения разных видов зол, применяемых для изготовления сланцезольного газобетона, даны средние оценки после стабилизации состояния образцов:

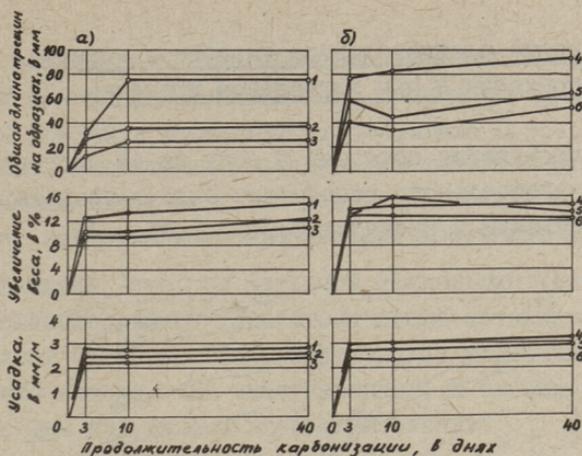
- смеси № 1 и 4 (мелкая фракция) - 2,70
- смеси № 2 и 5 (летучая зола) - 3,50
- смеси № 3 и 6 (крупная фракция) - 3,75

3. Стойкость сланцезольного газобетона при искусственной карбонизации

При карбонизации газобетона происходят заметные объемные изменения, уменьшаются прочности на сжатие и на изгиб.

При искусственной карбонизации образцов из сланцезольного газобетона обнаружилось, что уже через 3 дня карбонизации процессы перекристаллизации завершились почти полностью (таблица 4).

Вследствие полной карбонизации объемная масса сланцезольного газобетона увеличилась на II...I5 %, прочность на сжатие уменьшилась на I4 % и усадка достигла 2,5...3,2 мм/м в зависимости от состава смеси. У сланцезольного газобетона, изготовленного из крупной фракции, усадка при карбонизации несколько меньше по сравнению с газобетоном, изготовленным из мелкой фракции золы (фиг. I).



Фиг. 1. Влияние состава сланцевольного газобетона на его свойства при искусственном карбонизации:
 а - 11,5 %; б - 14,0 %;
 1, 2, 3. . . - номер смеси (табл. 1).

Применяемый вид золы заметно влияет и на общую длину макротрещин, возникающих при карбонизации на боковых поверхностях образцов.

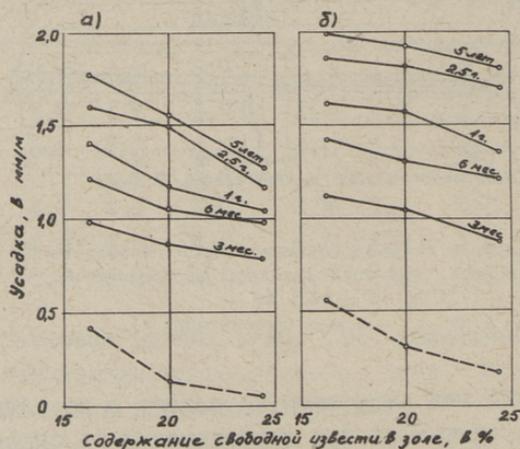
Т а б л и ц а 4

Изменение содержания CO_2 в образцах

№ смеси	Содержание CO_2 в %			
	до карбонизации	после карбонизации		
		3 суток	10 суток	40 суток
1	3,1	13,2	13,3	13,0
2	2,2	12,0	12,1	12,7
3	2,3	12,2	12,4	12,4
4	2,1	14,9	15,5	15,6
5	1,6	14,7	15,2	14,9
6	1,3	13,8	14,4	14,5

4. Усадка сланцезольного газобетона при высушении и при длительном хранении

После погружения образцов в воду на 48 часов весовая влажность сланцезольного газобетона была в пределах 49,0...60,2 % и набухание в пределах 0,90...1,25 мм/м.



Фиг. 2. Усадка сланцезольного газобетона при высушении с водонасыщенного состояния в зависимости от содержания свободной извести в золе и золопесчаной смеси: а - 11,5 %; б - 14,0 %; ----- - усадка при высушении от водонасыщенного состояния до равновесной влажности.

На фиг. 2 приведены зависимости изменения усадки газобетона в зависимости от длительности хранения образцов в воздухе.

Усадка от высухания и от естественной карбонизации зависит от вида применяемой золы и состава смеси. При одинаковой активности золопесчаной смеси усадка сланцезольного газобетона тем больше, чем меньше содержание $CaO_{св}$ в золе.

Аналогично исследованиям других видов газобетона [6] у сланцезольного газобетона при длительном хранении заметны также два этапа усадки: от высухания и от карбонизации. Высухание образцов от водонасыщенного состояния до равно-

весной влажности длится примерно один месяц. При данных опытах длительность высыхания была в пределах 21...50 суток, а величина усадки в этом периоде достигала 0,36...0,85 мм/м. При дальнейшем нахождении в воздухе влажность образцов остается практически стабильной, но усадка постоянно увеличивается и за 5 лет естественной карбонизации достигает 1,27...1,98 мм/м.

Учитывая, что при литьевой технологии фактическая влажность сланцезольного газобетона после автоклавной обработки составляет примерно 25 %, фактические усадочные деформации несколько меньше, чем вышеуказанные. В таблице 5 даны величины усадки при разных этапах высыхания.

Т а б л и ц а 5

Усадка сланцезольного газобетона

№ смеси	Равновесная влажность		Усадка в мм/м				
	время достижения в днях	%	от водонасыщенного состояния			от влажности 25 % до равновесной влажности	при чистой карбонизации
			до W = 25 %	до равновесной влажности	до 5 лет хранения		
1	35	5,8	0,23	0,64	1,77	0,41	1,13
2	28	5,2	0,28	0,41	1,55	0,13	1,14
3	21	4,9	0,32	0,36	1,27	0,04	0,91
4	50	6,6	0,30	0,85	1,98	0,55	0,83
5	35	7,2	0,32	0,64	1,92	0,32	0,96
6	35	4,9	0,33	0,50	1,81	0,17	0,98

Состав золопесчаной смеси значительно влияет на величину усадки при высыхании от водонасыщенного состояния до равновесной влажности. При этом усадка сланцезольного газобетона при высыхании от водонасыщенного состояния до 25 % влажности, а также усадка при естественной карбонизации, практически не зависят от состава золопесчаной смеси.

Т а б л и ц а 6

Изменение прочности на сжатие теплоизоляционного газобетона

Возраст	М а р к а "500"				М а р к а "600"			
	объемная масса ν кг/м ³	прочность на сжатие		коэффици- ент каче- ства $100R/\gamma_0^2$ К/К ₀	объемная масса ν кг/м ³	прочность на сжатие		коэффициент качества $100R/\gamma_0^2$ К/К ₀
		в кгс/см ²	R/R ₀			кгс/см ²	R/R ₀	
0	470	25,6	1,00	1,16	560	38,1	1,00	1,21
6 мес.	460	26,1	1,04	1,23	570	37,6	0,99	1,16
1 год	490	28,6	1,12	1,19	595	43,6	1,15	1,23
3 года	465	23,0	0,90	1,06	585	40,5	1,06	1,18
4 года	485	24,7	0,96	1,05	590	36,2	0,95	1,04
8 лет	505	20,2	0,79	0,79	600	30,7	0,81	0,85

5. Изменение прочности на сжатие при длительном хранении сланцезольного газобетона

По вопросу изменения прочности на сжатие газобетона при длительном хранении результаты исследований многих авторов противоречивы.

По данным Е.Силаенкова [7], после 20 лет эксплуатации прочность на сжатие газобетона понизилась до 75 % от начальной прочности.

По результатам исследований сланцезольного газобетона [8] прочность на сжатие после полугодового хранения немного увеличится.

По данным [9], прочность газобетона, при естественной влажности, после достижения 8-10 % влажности практически не изменяется.

В данной работе приведены результаты по изменению прочности на сжатие сланцезольного газобетона промышленного изготовления до возраста 8 лет (теплоизоляционный газобетон) и 7 лет (теплоизоляционно-конструктивный газобетон). До возраста одного года образцы хранили в комнатных условиях, позже в наружных условиях. Результаты изменения прочности на сжатие теплоизоляционного сланцезольного газобетона с объемной массой 500 и 600 кг/м³ приведены в таблице 6 и теплоизоляционно-конструктивного с объемной массой 800 кг/м³ в таблице 7.

Т а б л и ц а 7

Изменение прочности на сжатие теплоизоляционно-
конструктивного газобетона

Возраст	Объемная масса в кг/м ³	Прочность на сжатие		Коэффициент качества	
		в кгс/см ²	R/R ₀	100R/Y ₀ ²	K/K ₀
0	804	87,3	1,00	1,35	1,00
3 мес.	810	99,5	1,14	1,51	1,12
1 год	826	89,0	1,02	1,31	0,99
3 года	829	73,2	0,84	1,06	0,79
5 лет	855	74,1	0,85	1,01	0,75
7 лет	870	73,0	0,84	0,96	0,71

При всех объемных массах сланцезольного газобетона прочность на сжатие до возраста 1 год немного увеличивается, что соответствует данным других авторов [8]. После этого возраста прочность на сжатие начинает понижаться и к концу исследуемого периода равняется в среднем 80 % от начальной прочности на сжатие.

Коэффициент качества с возраста 1 год постоянно уменьшается и к возрасту 7-8 лет равняется в среднем 70 % от начального показателя. Уменьшение коэффициента качества связано с увеличением объемной массы вследствие карбонизации газобетона. У теплоизоляционно-конструктивного газобетона среднее содержание CO_2 в возрасте 7 лет составило 9,2 %, что соответствует в среднем 73 % от полной карбонизации газобетона данных составов. Учитывая дальнейшую карбонизацию газобетона, можно ожидать также изменения физико-механических свойств.

В ы в о д ы

1. Стойкость сланцезольного газобетона Ахтмеского КСМ при переменном увлажнении и высушении, при искусственной карбонизации, а также при естественной карбонизации зависит от состава золопесчаной смеси, применяемой для изготовления газобетона. Существенно влияет на показатели, характеризующие стойкость, количество кварцевого песка в золопесчаной смеси. Поэтому стойкость сланцезольного газобетона, изготовленного из золопесчаной смеси с одинаковой активностью, тем больше, чем крупнее применяемая летучая зола (больше содержание $CaO_{сб}$).

2. Прочность на сжатие сланцезольного газобетона Ахтмеского КСМ в возрасте 7-8 лет понизилась в среднем на 20 % от начальной прочности на сжатие. В течение этого времени из-за карбонизации объемная масса газобетона увеличилась в среднем на 7 %.

3. В связи с неполной карбонизацией в возрасте 7-8 лет можно ожидать дальнейшее изменение физико-механических свойств сланцезольного газобетона.

Л и т е р а т у р а

1. К р е й с У.И. Опыт эксплуатации конструкций из сланцезольного газобетона. - Сб. Исследования по строительству УГ, НИИ строительства Госстроя ЭССР, Таллин, 1966.

2. О я м а а Э.Г., К р е й с У.И. Исследование стойкости сланцезольных бетонов и долговечности конструкций из них.- Сб.Исследования по строительству УШ, НИИ строительства Госстроя ЭССР, Таллин, 1967.

3. Н и г о л Т.К., К р е й с У.И. О долговечности ячеистобетонных конструкций в животноводческих зданиях.- Сб. Исследования по строительству X. НИИ строительства Госстроя ЭССР, Таллин, 1969.

4. С и л а е н к о в Е.Г. Оценка долговечности крупноразмерных элементов из автоклавного ячеистого бетона. "Бетон и железобетон", 1961, № II.

5. НИИЖБ Лаборатория ячеистых бетонов. Исследование процессов твердения автоклавного газшлакобетона. - НТО, рукопись, М., 1963.

6. Н а у м е н к о А.С., Н а з а р е н к о Е.К. Е г и д а с Г.Г., Б о г у ш е в с к и й Л.А. К вопросу об усадочных явлениях в ячеистых бетонах. - "Строительные материалы", 1962, I № 9.

7. С и л а е н к о в Е.С. Долговечность крупноразмерных изделий из автоклавных ячеистых бетонов. - М., Стройиздат, 1964.

8. К у л ь д м а Х.Я., К р е й с У.И. Исследования воздухоустойкости и усадки сланцезольных ячеистых бетонов автоклавного твердения.- Сб. Исследования по строительству У. НИИ строительства Госстроя ЭССР, Таллин, 1964.

9. К р и в и ц к и й М.Я., Л е в и н Н.И., М а к а - р и ч е в В.В. Ячеистые бетоны (технология, свойства и конструкции). М., Стройиздат, 1972.

An Investigation of the Physical and Mechanical
Properties of Oil-Shale Fly Ash Gas Concrete

Summary

The article deals with the results of the investigation of the durability of oil-shale fly ash gas concrete prepared in the laboratory and manufactured at the Building Materials Combine of Ahtme. The results of the influence of the composition of oil-shale fly ash-sand mixture on some characteristics of the durability of the gas concrete and the results about changing the compressive strength in case of long period storage of the specimens are given.

The oil-shale fly ash gas concrete has a higher durability in case of using coarser fractions of oil-shale fly ash (with more free lime content), which makes it possible to increase the relative quantity of sand in the composition.

After 7 - 8 years storage the compressive strength of the oil-shale fly ash gas concrete reduced 20 % as compared with the initial strength.

УДК 666.9.019.3

И.А.Лаул, В.Х.Кикас, А.А.Хайн

ИЗУЧЕНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ТРОТУАРНЫХ ПЛИТ

Тротуарные плиты в процессе их эксплуатации подвержены интенсивному воздействию внешней среды, включающему многие физические и химические факторы, разрушительно действующие на бетон. Кроме многократной смены замораживания и оттаивания одним из новейших и наиболее трудно учитываемых факторов является удаление снега с помощью солей.

Обеспечение долговечности тротуарных плит относится к наиболее сложным проблемам технологии бетона. Эта сложность обуславливается прежде всего тем, что долговечность бетона является функцией большого числа факторов, часть из которых трудно поддается контролю и учету. Она зависит не только от состава бетона и качества материалов, но и от условий формирования его структуры и ее состояния при замораживании бетона, а также от степени насыщенности бетона водой, условий замораживания и оттаивания и т.д.

Таким образом, изучение морозостойкости позволяет более точно и обоснованно решать многие практические вопросы увеличения долговечности тротуарных плит.

Однако существенным препятствием более детального и быстрого изучения факторов, влияющих на морозостойкость тротуарных плит и строительных материалов вообще, является громоздкость и односторонность методики испытания строительных материалов на морозостойкость. Последнее может привести к тому, что материал, выдержавший испытание на морозостойкость в лабораторных условиях, в натуре может оказаться неморозостойким и наоборот.

С учетом вышесказанного, в данной работе морозостойкость тротуарных плит оценивалась не только по потере веса,

но и по изменению динамического модуля упругости. Дополнительно изучалась морозостойкость образцов, насыщенных 5-процентным раствором поваренной соли.

Для изучения использовались тротуарные плиты заводского изготовления в возрасте 28 суток, а также длительно находившиеся в эксплуатации плиты.

Из однослойных тротуарных плит вырезали образцы размером $4 \times 4 \times 16$ см, а из двухслойных плит завода "Ээсти Долонийт" образцы вырезали из фактурного слоя размерами $2,5 \times 4 \times 16$ см. Образцы замораживались в термокамере "НЕМА". Температура воздуха в камере была равная -20°C , температура воды для оттаивания $+15^{\circ}\text{C}$. Продолжительность циклов замораживания и оттаивания - 8 часов.

Коэффициент морозостойкости определялся путем сравнения величин динамического модуля упругости образцов после их испытания на морозостойкость с их значениями перед испытанием.

Морозостойкими считались образцы, динамический модуль упругости у которых после испытания снижался не более чем на 25 %, а вес после испытания уменьшался не более чем на 5 %.

I. Морозостойкость тротуарных плит, изготовленных на заводе "Ээсти Долонийт"

Результаты испытаний морозостойкости 35 различных тротуарных плит, изготовленных в 1971 году, показывают, что из 35 проб только 3 % не выдержали 100 циклов замораживания и оттаивания при оценке по потере веса. Однако при оценке по изменению динамического модуля упругости уже 38 % образцов не выдержало 100 циклов замораживания и оттаивания.

Образцы, насыщенные 5-процентным раствором поваренной соли, имели значительно меньшую морозостойкость: из 35 проб 100 циклов замораживания и оттаивания при оценке по потере веса и по изучению динамического модуля упругости соответственно не выдержали 88 и 85 %. Из них 23 % не выдержали даже 15 циклов замораживания и оттаивания.

Результаты показали, что образцы, насыщенные 5-процентным раствором поваренной соли, имели в 3-6 раз меньшую морозостойкость, чем образцы, насыщенные питьевой водой.

В 1972 году качество тротуарных плит значительно улучшилось благодаря использованию нового, более целесообразного состава бетона, в котором использовавшаяся ранее известняковая мука была исключена.

При испытании образцов в питьевой воде все образцы выдержали более 100 циклов замораживания и оттаивания при оценке по потере веса и только 10 % не выдержало 100 циклов при оценке по изменению динамического модуля упругости.

Испытание тротуарных плит, изготовленных в 1972 году, показало возможность изготовления тротуарных плит, обладающих высокой морозостойкостью в растворе поваренной соли. Из испытанных образцов более 100 циклов замораживания и оттаивания выдержало 90 % при оценке по потере веса и 80 % при оценке по изменению динамического модуля упругости. В 1973 году были испытаны 26 тротуарных плит. При испытании образцов с использованием питьевой воды все образцы выдержали более 100 циклов замораживания и оттаивания. Из образцов, испытанных с использованием раствора поваренной соли более 100 циклов при оценке по потере веса выдержало 30 % и при оценке по изменению динамического модуля упругости 46 % образцов.

2. Морозостойкость тротуарных плит после длительной эксплуатации

Изучению были подвергнуты тротуарные плиты из 14 разных мест города Таллина. Плиты старались вынимать попарно с одного места так, чтобы одна была уже повреждена морозом, а другая не имела признаков повреждения.

Исследуемые тротуарные плиты были изготовлены в нашей республике и в Литовской ССР.

При сравнении морозостойкостей исследуемых плит выяснилось, что наиболее морозостойкими являются тротуарные плиты завода "Эсти Доломит" и плиты, изготовленные после Отечественной войны в цехе по ул. Сееби (в Таллине соответственно на Ратушной площади и на Тартуском шоссе). Эти тротуарные плиты

при испытании в питьевой воде выдержали более 250 циклов замораживания и оттаивания.

Изготовленные в последнее время на заводе "Ээсти Доломийт" тротуарные плиты показывают высокую морозостойкость и в растворе поваренной соли. Например, тротуарные плиты с Ра-тушной площади при испытании в растворе поваренной соли выдержали более 150 циклов замораживания и оттаивания.

Интересно отметить, что тротуарные плиты с красным оттенком, изготовленные на заводе "Ээсти Доломийт" (с ул. Лай) имели сравнительно невысокую морозостойкость. Например, плиты с признаками разрушения и без них выдерживали соответственно 30 и 35 циклов замораживания и оттаивания. Аналогичные плиты при испытании в растворе поваренной соли выдерживали соответственно 10 и 5 циклов замораживания и оттаивания. Такая низкая морозостойкость обусловлена сравнительно высоким водопоглощением (7,2 %). Проведенные в лаборатории испытания показали, что добавка в бетон колчедановых огарков с целью придания изделиям красного оттенка, заметно повышает их водопоглощение.

Тротуарные плиты, изготовленные в Литовской ССР, независимо от того, имели они признаки разрушения или нет, характеризовались очень низкой морозостойкостью. Тротуарные плиты из 8 разных мест выдержали в среднем 30 циклов замораживания и оттаивания при оценке по изменению динамического модуля упругости. Из них при испытании в поваренной соли 50 % не выдерживало даже 5 циклов замораживания и оттаивания.

З а к л ю ч е н и е

При изучении морозостойкости тротуарных плит выяснилась необходимость использования разных методик исследования, в частности, необходимость дополнительного испытания морозостойкости образцов, насыщенных раствором поваренной соли.

Исследования показали, что вырезанные из тротуарных плит образцы при насыщении 5-процентным раствором поваренной соли имели в 3-6 раз меньшую морозостойкость, чем образцы, насыщенные питьевой водой.

Односторонняя методика не позволяет судить об истинной морозостойкости тротуарных плит, вследствие чего при изго-

товлении новых материалов или при изменении технологических процессов она может дать дезориентирующие показатели.

I. Laul, V. Kikas, A. Hain

A Study of the Freeze Resistance of
Cement Concrete Pavement Flags

Summary

The paper gives the results of a study of the freeze resistance of the pavement flags made by the plant Eesti Dolomit and of the pavement flags after a prolonged exploitation in the pavements of Tallinn. The test results showed that the specimens cut out of pavement flags saturated with 5 per cent sodium chloride solution were 3 - 6 times less freeze resistant than the specimens saturated with drinking water.

УДК 666.9.019.3

В.Х.Кикас, И.А.Лаул, А.А.Хайн

ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ МОРОЗО- И СОЛЕСТОЙКИХ БЕТОННЫХ ТРОТУАРНЫХ ПЛИТ

Морозостойкость и солестойкость относится к числу важнейших свойств тротуарных плит. Обеспечение достаточной морозостойкости является основной задачей при изготовлении тротуарных плит. Технология изготовления бетонных тротуарных плит должна обеспечивать получение прочного бетона с требуемыми фазовым составом и физической структурой с тем, чтобы он мог противостоять трудным условиям эксплуатации, из которых удаление снега с помощью солей является одним из новейших и наиболее трудно учитываемых факторов.

Лабораторные опыты показали, что вырезанные из тротуарных плит образцы, насыщенные 5-процентным раствором поваренной соли, имели в среднем в 3-6 раз меньшую морозостойкость, чем образцы, пропитанные питьевой водой. Дополнительным вредным фактором при очищении солями улиц от снега является резкое падение температуры в поверхностном слое бетона, влияние которого в описанных лабораторных опытах не учитывается.

Для получения бетона с повышенными морозо- и солестойкостью нужно, во-первых, чтобы компоненты бетонной смеси - цемент и заполнители - соответствовали техническим требованиям, предъявляемым дорожным бетонам. Зерновой состав заполнителя должен быть оптимальным, чтобы обеспечить получение плотного бетона. Песок и щебень должны иметь шероховатую поверхность. Заполнитель должен быть промытым и не должен содержать пыли или других вредных примесей. Применение

чистого заполнителя с шероховатой поверхностью является необходимой предпосылкой для прочного сцепления цементного камня с заполнителем. Во-вторых, дозирование компонентов, перемешивание бетонной смеси, условия уплотнения и твердения должны при наименьшем расходе цемента обеспечивать получение бетона, удовлетворяющего всем требованиям, предъявляемым к бетону в тяжелых условиях эксплуатации.

Как известно, морозо- и солестойкость бетона определяются в основном не его прочностью, а характером его структуры. Наименее опасны мелкие шарообразные замкнутые воздушные поры, например, образующиеся при введении воздухововлекающих добавок. Поскольку в бетоне имеются поры различных размеров, морозо- и солестойкость бетона тем выше, чем меньше общая пористость бетона и больше удельное содержание мелких пор.

Характер пористой структуры зависит от вида и количества порообразователей, состава и дисперсности цемента, состава и консистенции бетонной смеси, а также от температуры и условий перемешивания.

По литературным данным [1] в землистовлажном и жидком бетоне порообразование затруднено, а иногда и невозможно.

Для изучения влияния поверхностноактивных веществ на морозостойкость при разных консистенциях использовался песчаный бетон состава 1:3 (цемент:песок).

При этом использовался цемент заводе "Пунане Кунда" активностью 430 кгс/см^2 ; песок из карьера "Мяннику" ($M_R = 2,3$) и вольский нормальный песок для испытания цемента.

В качестве поверхностно-активных веществ был применен препарат абиетиновой смолы СНВ (смола нейтрализованная, воздухововлекающая) и сульфитнодрожжевая барда (СДБ).

Добавки СНВ и СДБ вводились соответственно в количестве 0,02 и 0,2 % от веса цемента, считая на сухое вещество.

Образцы размерами $4 \times 4 \times 16$ см изготавливались и твердели в соответствии с ГОСТ 310-60.

После 28-суточного твердения образцы подвергались замораживанию в термокамере "Нема". Температура воздуха в камере была -20°C , температура воды для оттаивания $+15^\circ\text{C}$,

Морозостойкими считались образцы, динамический модуль упругости (E_d) у которых после испытания снижался не более чем на 25 %.

В таблицах I и 2 приведено влияние поверхностно-активных веществ на свойства песчаного бетона соответственно при применении вольского песка и песка из карьера "Мянкику".

Т а б л и ц а I

Влияние поверхностно-активных веществ на свойства песчаного бетона состава I : 3 (цемент : вольский песок)

Количество добавок, % к цементу	В/Ц	Рас-плыв, мм	Весовое водопоглощение, %	Прочность на сжатие в возрасте 28 суток, кгс/см ²	Динамический модуль упругости Ед. 10^{-5} кгс/см ²	К-во выдерживаемых циклов замораживания при снижении Ед не более чем на 25 %
-	0,35	I04	7,2	512	4,92	I05
СНВ 0,02	0,35	I05	7,4	493	4,78	II5
СДБ 0,2	0,35	I07	7,3	492	4,81	I75
-	0,40	II2	8,3	448	4,58	20
СНВ 0,02	0,40	I20	8,5	390	4,12	70
СДБ 0,2	0,40	I38	8,6	385	3,94	I50
-	0,45	I44	9,8	364	3,98	I5
СНВ 0,02	0,45	I69	9,9	320	3,80	50
СДБ 0,2	0,45	I90	10,0	299	3,75	25

Результаты испытания морозостойкости бетонов при разных В/Ц показали, что введение поверхностно-активных веществ оказалось весьма эффективным средством для повышения морозостойкости бетона, несмотря на то, что прочностные показатели при их применении понижаются.

Введение поверхностно-активных веществ при равной консистенции смесей позволяет дополнительно повысить прочность и морозостойкость бетонов за счет снижения водоцементного отношения.

Т а б л и ц а 2

Влияние поверхностно-активных веществ на свойства
песчаного бетона состава 1:3 (цемент : песок из
карьера "Мяннику")

Кол-во добавок, % к цементу	В/Ц	Рас- плыв, мм	Весо- вое водо- погло- щение, %	Прочность на сжатие в возраст- е 28 су- ток, кгс/см ²	Динамиче- ский мо- дуль уп- ругости Ед. 10 ⁻⁵ кгс/см ²	Кол-во вы- держиваемых циклов замо- раживания при снижении Ед не более чем на 25 %
-	0,40	104	8,4	564	4,56	350
СНВ 0,02	0,40	107	8,6	497	4,17	> 400
СДБ 0,2	0,40	110	8,6	520	4,36	> 400
-	0,45	115	9,1	514	4,07	225
СНВ 0,02	0,45	130	9,8	419	3,72	> 400
СДБ 0,2	0,45	145	9,5	430	3,80	> 400
-	0,50	145	9,8	450	3,70	50
СНВ 0,02	0,50	162	10,8	346	3,26	> 400
СДБ 0,2	0,50	179	10,4	364	3,40	> 400

При изготовлении тротуарных плит используют преимущест-
венно бетонные смеси жесткой консистенции, но по литературным
данным [1] применение порообразователей в них нецелесообраз-
но.

Для изучения влияния поверхностно-активных веществ на
морозостойкость тротуарных плит при жестких консистенциях бе-
тонных смесей были проведены испытания на заводе "Ээсти До-
ломийт". Изготовление тротуарных плит происходило на специ-
альном прессе фирмы "Enrico Longinotti". Плиты изготавливались
двухслойными. При прессовании из пластичной бетонной смеси
выдавливали часть воды в сухую смесь песка и цемента. Прес-
сующее давление 70 кгс/см² позволяло после прессования смеси
уже укладывать свежесформированные плиты в вертикальном по-
ложении.

При опытном производстве тротуарных плит использовались
два состава бетонной смеси (табл. 3), из которых первый со-
став с расходом цемента 550 кг/м³ являлся составом, принятым
для текущего производства тротуарных плит

Физико-механические показатели опытных тротуарных плит

Состав бетонной смеси по весу (цемент: песок: гранитный щебень)	Расход цемента, кг/м	В/П бетонной смеси перед прессованием	Количество в добавок, %, к цементу	Вид твердения	Объемная масса после высушивания кг/м ³	Весовое водопоглощение, %	Прочность на	
							сжатие кгс/см ²	изгиб кгс/см ²
I : 0,9 : 2,2	550	0,36		нормальное	2340	4,3	450	98
I : 0,9 : 2,2	550	0,34	СНВ 0,02	"	2340	4,3	405	92
I : 0,9 : 2,2	550	0,35	СДБ 0,2	"	2310	4,8	372	78
I : 1,3 : 2,7	450	0,42	-	"	2300	4,4	325	80
I : 1,3 : 2,7	450	0,42	СНВ 0,02	"	2300	3,9	330	82
I : 0,9 : 2,2	550	0,36	-	пропаривание	2340	4,7	427	98
I : 0,9 : 2,2	550	0,34	СНВ 0,02	"	2340	4,3	375	90
I : 0,9 : 2,2	550	0,35	СДБ 0,2	"	2340	4,2	321	86
I : 1,3 : 2,7	450	0,42	-	"	2340	4,3	314	84
I : 1,3 : 2,7	450	0,42	СНВ 0,02	"	2310	3,9	304	80

Морозостойкость опытных тротуарных плит

Состав бетонной смеси по весу (цемент:песок:гравитный щебень)	Расход цемента, кг/м ³	Количество дозавок, % к цементу	Вид твердения	Количество выдерживаемых циклов замораживания при испытании образцов			
				в питьевой воде		в 5%-ном растворе NaCl	
				при снижении Ед не более чем на 25 %	при потере веса не более чем на 5 %	при снижении Ед не более чем на 25 %	при потере веса не более чем на 5 %
I : 0,9 : 2,2	550	-	нормальное	450	430	180	150
I : 0,9 : 2,2	550	СНВ 0,02	"-	> 500	> 500	460	400
I : 0,9 : 2,2	550	СДБ 0,2	"-	> 500	> 500	450	400
I : 1,3 : 2,7	450	-	"-	440	460	220	150
I : 1,3 : 2,7	450	СНВ 0,02	"-	> 500	> 500	400	300
I : 0,9 : 2,2	550	-	пропаривание	400	400	160	110
I : 0,9 : 2,2	550	СНВ 0,02	"-	> 500	480	400	300
I : 0,9 : 2,2	550	СДБ 0,2	"-	> 500	> 500	430	400
I : 1,3 : 2,7	450	-	"-	380	440	190	130
I : 1,3 : 2,7	450	СНВ 0,02	"-	> 500	> 500	380	260

для текущего производства тротуарных плит. Второй состав был выбран с расходом цемента на 100 кг/м^3 меньше.

Опытные плиты твердели по заводскому режиму в пропарочной камере при температуре $+60^\circ\text{C}$ и дополнительно в нормальных условиях твердения в помещении цеха при температуре $+18 \pm 3^\circ\text{C}$.

Физико-механические показатели и морозостойкость образцов, вырезанных из фактурного слоя тротуарных плит, приведены соответственно в таблицах 3 и 4.

Результаты испытания опытных тротуарных плит показали, что введение поверхностно-активных веществ оказалось также эффективным средством для повышения морозо- и солеустойчивости деталей, формируемых прессованием.

Благоприятное влияние добавок СНВ и СДБ на морозостойкость довольно аналогично, однако наиболее эффективным оказалась добавка СНВ, так как при ее использовании прочность на сжатие снижается меньше, чем при использовании СДБ.

Нормальное твердение обеспечивает получение более высокой морозо- и солеустойчивости изделий, чем пропаривание.

Результаты испытаний опытных тротуарных плит свидетельствуют о возможности получения в производственных условиях тротуарных плит высокой морозо- и солеустойчивости.

В ы в о д ы

1. Лабораторные испытания показали, что поверхностно-активные добавки СНВ и СДБ заметно повышают морозостойкость песчаных бетонов состава 1:3 (цемент:песок) даже жестких и пластичных консистенций.

2. Результаты испытаний опытных тротуарных плит заводского изготовления показали возможности получения в производственных условиях тротуарных плит высокой морозо- и солеустойчивости, если используются поверхностно-активные вещества и плиты твердеют в нормальных условиях. Опытные плиты выдерживали при испытании в питьевой воде более 500 циклов замораживания и в 5-процентном растворе NaCl более 400 циклов замораживания.

Л и т е р а т у р а

I. B o n z e l J. Beton mit hohem Frost- und Tausalz-widerstand. "Betonwerk + Fertigteil-Technik", 1973, 39, Nr. 12, 888-894.

V. Kikas, I. Laul, A. Hain

The Possibilities of Obtaining Freeze and Salt Resistant Concrete Pavement Flags

Summary

In the paper evidence is given of the positive influence of surface active additions on the freeze resistance of sand concretes of hard and plastic consistency.

The results of the tests with experimental factory-made pavement flags showed the possibility to obtain highly freeze and salt resistant pavement flags industrially, if surface active substances are used and the flags harden in normal conditions.

УДК 666.942:666.9.015.42

Э.Ю.Пиксарв, В.Х.Кикас,
А.А. Хайн, В.Э. Нурм

ВЛИЯНИЕ ЩЕЛОЧЕЙ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ПРОПАРЕННОГО ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

В настоящей работе рассматривается влияние щелочей на долговечность портландцементных растворов, твердевших в условиях тепловлажностной обработки.

В исследовании использовался цемент Белгородского завода с общим содержанием SO_3 2,5 и 3,5 %. Щелочь (K_2O) вводилась в виде гидроксида калия в воду затворения, так что общее ее содержание в жидкой фазе (с учетом наличия K_2O в цементе) составляло 0,2; 0,7; 1,2; 1,7; 2,2; 3,2 %.

В соответствии с методикой ГОСТ 310-60 из раствора 1:3 (цемент : вольский песок) с В/Ц = 0,40 были изготовлены образцы размерами 4x4x16 см. Растворы твердели в нормальных условиях и при пропаривании при 80 и 95 °С в режиме 3 + 6 + 2 часа. Дальнейшее твердение протекало при 20 °С в воде и в насыщенном влагой воздухе. У образцов в различные сроки твердения определялись прочностные показатели, динамический модуль упругости, удлинение и проводился рентгеноструктурный анализ.

I. Твердение в нормальных условиях при температуре 20 °С

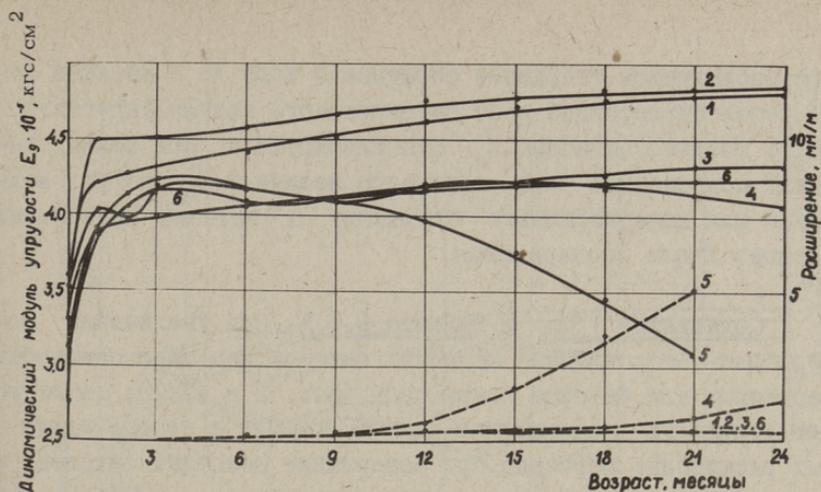
Как показали физико-механические испытания, прочность растворов на сжатие и изгиб при длительном твердении была тем меньше, чем больше раствор содержал щелочей. При увеличении содержания щелочей в цементе на 3 % снижается прочность на сжатие образцов примерно на 23 %. Максимальное расширение образ-

цов при твердении в воде или во влажном воздухе в течение 2 лет не превышает 0,5 мм/м и мало зависит от содержания щелочей. За это время падения динамического модуля упругости и микротрещин в образцах не наблюдалось.

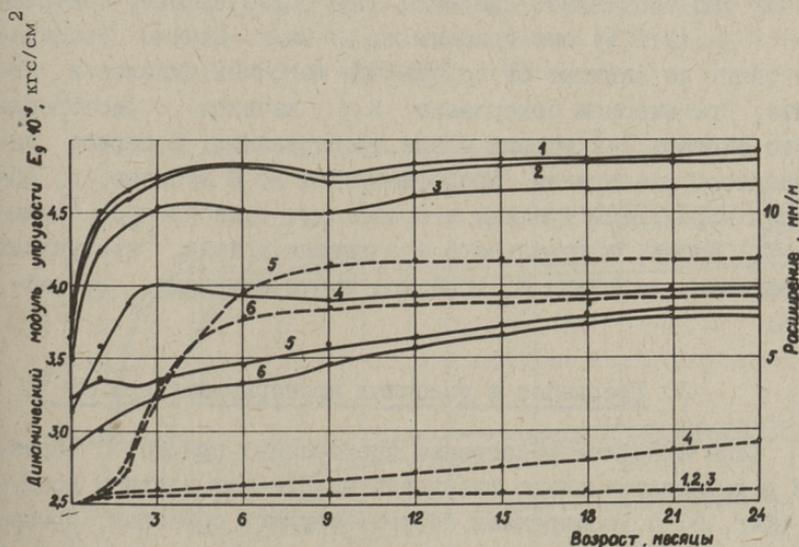
2. Твердение в условиях пропаривания при 80 °С

Содержание SO_3 в цементе 2,5 %. Зависимость расширения и динамического модуля упругости пропаренных образцов от времени последующего твердения и содержания щелочей в цементе приводится на фиг. 1 и 2. Из фиг. 1 видно, что расширение образцов, твердеющих после пропаривания в насыщенном влагой воздухе, за 2 года не превышает 0,5 мм/м, если содержание K_2O в цементе не превышает 1,2 %. При дальнейшем увеличении содержания щелочных окислов расширение образцов возрастает. При содержании K_2O в цементе 1,7 % расширение образцов за 2 года составляет 1,3 мм/м, а при содержании K_2O в цементе 2,2 % расширение уже больше 5 мм/м. Одновременно в последнем из упомянутых образцов образуются трещины. Расширение сопровождается снижением динамического модуля упругости.

При последующем твердении в воде расширение пропаренных образцов больше зависит от содержания щелочных окислов, чем при твердении во влажном воздухе. Так, при содержании K_2O в цементе 1,7 % расширение за два года составляет 2,1 мм/м, а при содержании K_2O в цементе 2,2 % — уже 8,4 мм/м. Начало расширения зависит от содержания щелочных окислов в цементе и среды твердения. Если при содержании K_2O в цементе 2,2 % можно считать началом расширения образцов в насыщенном влагой воздухе 9–12 месяцев, то при последующем твердении в воде расширение начинается уже после 1–2 месяцев. В последнем случае расширение практически достигает своего максимального значения примерно за месяц. В ходе чрезмерного расширения в образцах образуются трещины и происходит снижение динамического модуля упругости. При твердении в воде с течением времени трещины заполняются продуктами гидратации и E_d образцов опять начинает возрастать. При твердении же во влажном воздухе трещины в образцах остаются открытыми. При содержании щелочных окислов до 1,7 %



Фиг. 1. Зависимость расширения и динамического модуля упругости при последующем твердении во влажном воздухе пропаренных при 80°C образцов от содержания K_2O в цементе: Содержание SO_3 в цементе 2,5 %:
 1 - 0,2 % K_2O ; 2 - 0,7 % K_2O ; 3 - 1,2 % K_2O ;
 4 - 1,7 % K_2O ; 5 - 2,2 % K_2O ; 6 - 3,2 % K_2O .
 - - - - - дин. модуль упругости 10^{-5} кгс/см²;
 - - - - - расширение, мм/м



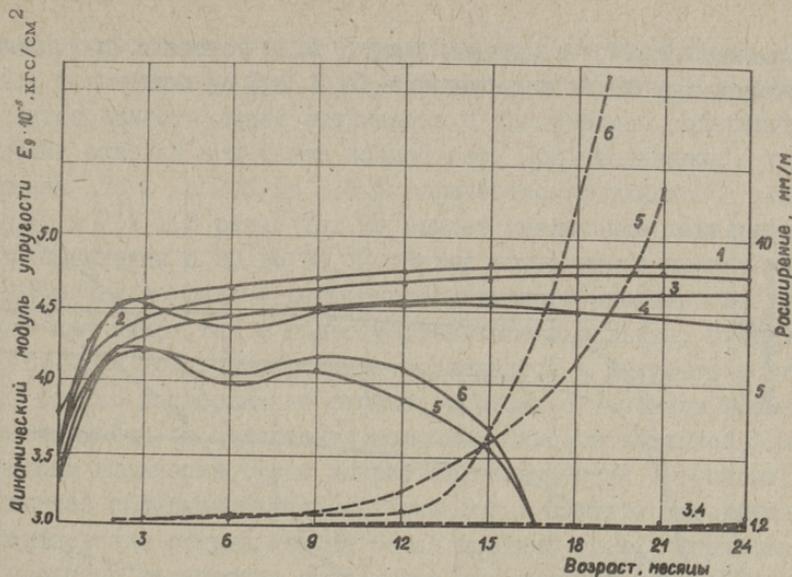
Фиг. 2. Зависимость расширения и динамического модуля упругости при последующем твердении в воде пропаренных при 80°C образцов от содержания K_2O в цементе. Содержание SO_3 в цементе 2,5 %:
 1 - 0,2 % K_2O ; 2 - 0,7 % K_2O ; 3 - 1,2 % K_2O ;
 4 - 1,7 % K_2O ; 5 - 2,2 % K_2O ; 6 - 3,2 % K_2O .
 - - - - - дин. модуль упругости 10^{-5} кгс/см²;
 - - - - - расширение, мм/м

при последующем твердении образцов в воде до 3 месяцев отмечается интенсивный рост динамического модуля упругости (E_D). Позднее величины E_D стабилизируются. При более высоких содержаниях K_2O в цементе величины E_D растут медленно или даже несколько снижаются в течение нескольких месяцев после пропаривания.

Содержание SO_3 в цементе 3,5 %. При увеличении содержания SO_3 влияние щелочных окислов на долговечность растворов или бетонов возрастает (фиг. 3 и 4). При последующем твердении в насыщенном влагой воздухе в течение двух лет расширение образцов при содержании щелочных окислов в цементе 2,2 и 3,2 % находится в пределах 12 и 20 мм/м. Расширение начинается примерно в тот же период, что и при использовании цементов с содержанием $SO_3 = 2,5 %$. Сильное расширение сопровождается растрескиванием образцов и резким снижением динамического модуля упругости. При последующем твердении образцов в воде заметное расширение происходит начиная с содержания 1,7 % K_2O в цементе. За 2 года оно составляет 2,8 мм/м. При более высоком содержании K_2O (3,2 %) оно доходит до 13 мм/м. Начало расширения опять же зависит от содержания щелочных окислов в цементе. При высоком содержании K_2O началом расширения можно считать 1-2 месяца после пропаривания. В период интенсивного расширения, продолжающийся до 6 месяцев, в образцах образуются трещины и происходит существенное снижение E_D . Далее, в результате заполнения трещин продуктами гидратации, величины E_D образцов вновь начинают возрастать.

3. Твердение в условиях пропаривания при 95 °С

Если сравнить расширение пропаренных при 95 °С образцов в ходе длительного твердения в воде или влажном воздухе (фиг. 5) с расширением соответствующих образцов, пропаренных при 80 °С, то можно заметить, что содержание K_2O в цементе при высоких температурах пропаривания оказывает влияние уже при малых содержаниях K_2O и в более ранних возрастах. Несмотря на малое содержание SO_3 в цементе (2,5 %), нельзя допускать пропаривания при 95 °С, если со-



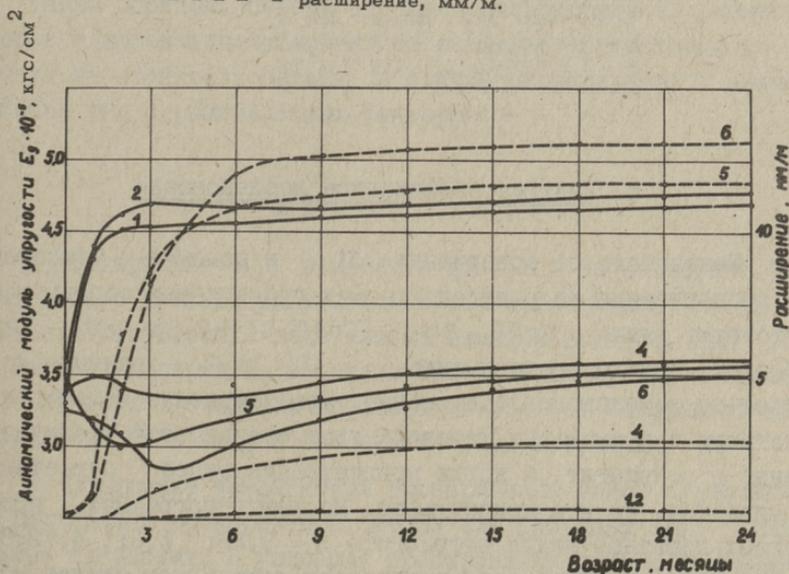
Фиг. 3. Зависимость расширения и динамического модуля упругости при последующем твердении во влажном воздухе пропаренных образцов от содержания K_2O в цементе.

Содержание SO_3 в цементе 3,5 %:

1 - 0,2 % K_2O ; 2 - 0,7 % K_2O ; 3 - 1,2 % K_2O ;

4 - 1,7 % K_2O ; 5 - 2,2 % K_2O ; 6 - 3,2 % K_2O .

— дин. модуль упругости 10^{-5} кгс/см²;
 - - - - - расширение, мм/м.



Фиг. 4 Зависимость расширения и динамического модуля упругости при последующем твердении в воде пропаренных при 80 °С образцов от содержания K_2O в цементе.

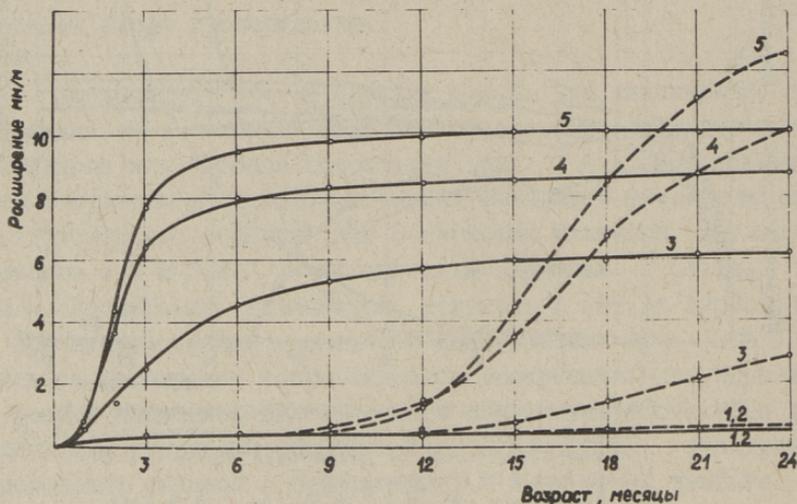
Содержание SO_3 в цементе 3,5 % :

1 - 0,2 % K_2O ; 2 - 0,7 % K_2O ; 3 - 1,2 % K_2O ;

4 - 1,7 % K_2O ; 5 - 2,2 % K_2O ; 6 - 3,2 % K_2O .

— дин. модуль упругости 10^{-5} кгс/см²;
 - - - - - расширение, мм/м.

держание K_2O в цементе выше 1%. В условиях пропаривания бетонов при 80 °С содержание K_2O 1,2% не опасно.



Фиг. 5. Зависимость расширения при последующем твердении пропаренных при 95 °С образцов от содержания K_2O в цементе:

Содержание SO_3 в цементе 2,5%:

1 - 0,2% K_2O ; 2 - 0,7% K_2O ; 3 - 1,2% K_2O ;

4 - 1,7% K_2O ; 5 - 2,2% K_2O ;

————— в воде,

----- во влажном воздухе.

4. Рентгенографическое исследование

Независимо от содержания SO_3 в цементе и температуры пропаривания на рентгенограммах пропаренных образцов отсутствуют линии $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ и $CaSO_4$. Таким образом, в ходе пропаривания $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ связывается в какое-то комплексное соединение. При твердении цементного раствора в нормальных условиях гипс связывается преимущественно в этtringит, а когда концентрация гипса существенно понижается, то и в моносульфат. На рентгенограммах пропаренных образцов линии этtringита $d = 9,83; 5,61; 4,72; 3,88, 3,50; 3,24$ и $2,77 \text{ \AA}$ обнаруживаются лишь в том случае, когда содержание K_2O в цементе 0,2%. После 28 суток последующего твердения во влажном воздухе эти линии появляются и на рентгенограмме цемента с содержанием $K_2O = 0,7\%$. Через год

после пропаривания линии этtringита на рентгенограммах образцов появляются и при более высоких содержаниях K_2O , причем интенсивность линий этtringита с увеличением содержания щелочных окислов в цементе возрастает. При увеличении содержания SO_3 с 2,5 до 3,5 % количество этtringита возрастает в 1,2–1,3 раза. Так же влияет увеличение температуры пропаривания с 80 до 95 °С. Ввиду того, что в пропаренных образцах по данным рентгеноструктурного анализа отсутствует как гипс, так и гидросульфаталюминат кальция, очевидно $CaSO_4$ в ходе пропаривания связывается в какую-то новую фазу. Однако последняя не стойка, поэтому с течением времени зависимости от содержания щелочных окислов в жидкой фазе и степени влажности среды выкристаллизовывается этtringит. Увеличение содержания щелочных окислов в цементе передвигает образование этtringита на более поздний срок. Образование большого количества этtringита при наличии уже сформированного жесткого скелета неизбежно вызывает расширение, сопровождаемое частным разрушением скелета. В результате происходит снижение динамического модуля упругости и образование трещин.

Таким образом, содержание щелочных окислов в цементе, которое в нормальных условиях не оказывает существенного влияния на стойкость бетона, в случае пропаривания влечет за собой ряд ограничивающих факторов.

В ы в о д ы

1. Содержание K_2O в цементе до 1,2 % не оказывает отрицательного влияния на долговечность пропаренных при 80 °С бетонов и растворов в воде или во влажном воздухе. При более высоком содержании щелочных окислов расширение и снижение прочности бетона или раствора зависят от содержаний щелочных окислов и SO_3 в цементе и среды твердения.

2. Повышение температуры пропаривания ведет к увеличению расширения пропаренного бетона или раствора при длительном твердении. В условиях пропаривания при 95 °С граница безопасного содержания щелочных окислов – 0,7 %. Наибольшее расширение отмечается при содержании $K_2O = 1,7 - 2,2$ %.

3. Увеличение содержания SO_3 в цементе с 2,5 до 3,5 % увеличивает количество этtringита в растворе и при том же содержании щелочных окислов приводит к увеличению расширения при длительном твердении.

E. Piksarv, V. Kikas, A. Hain, V. Nurm

The Influence of the Alkaline Oxide Content of
Portland Cement on the Resistance of Concretes
Hardened by Steam-Curing

Summary

This paper presents investigation results on the influence of alkaline oxide and SO_3 content of cement on the durability of concretes hardened by steam-curing.

It is observed that cements with a high alkaline oxide content steam-cured at $80^{\circ} - 90^{\circ}C$ show a decrease of the resistance of concrete. High SO_3 content of cement and large moisture content of the solution cause the fall of resistance.

УДК 666.944.21:620.019.3

Э.Ю.Пиксарв, В.Х.Кикас, Л.В.Раадо

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЩЕЛОЧЕЙ ЦЕМЕНТА НА
 СТОЙКОСТЬ ПРОПАРЕННОГО БЕТОНА
 В СУЛЬФАТНЫХ РАСТВОРАХ

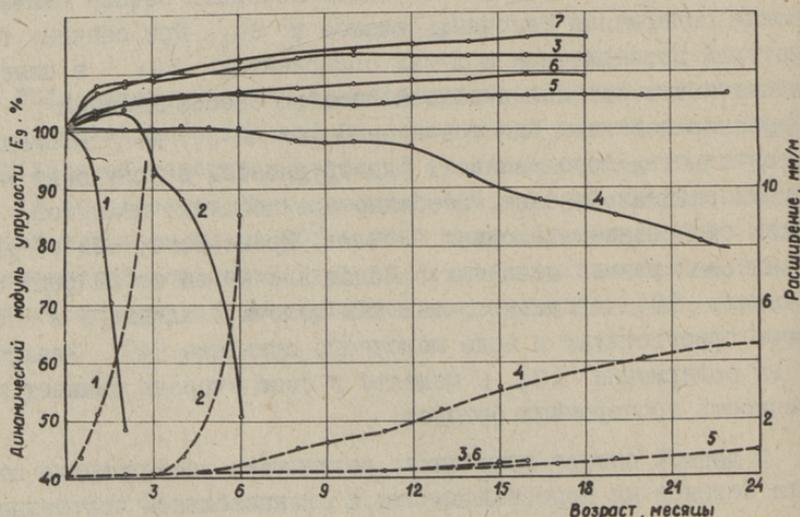
Долговечность пропаренных бетонов при твердении в воде или во влажном воздухе в значительной степени зависит от температуры пропаривания [1], минералогического состава цементов [2] и пористости [3]. Так, долговечность бетона снижают высокие содержания щелочных окислов и SO_3 . При обычных температурах пропаривания и любых содержаниях SO_3 в цементе долговечность бетонов в воде полностью обеспечивается при содержании щелочных окислов в цементе $\leq 0,7\%$. Последнее обстоятельство обуславливает ряд трудностей в получении коррозионностойких бетонов, особенно при поставке цементов с низким содержанием щелочных окислов. Кроме того, обычно увеличение содержания щелочных окислов влечет за собой рост содержания SO_3 в цементе, так как щелочи в клинкере в основном присутствуют в виде щелочного сульфата [4]. Увеличение же содержания SO_3 в цементе в свою очередь снижает долговечность пропаренных бетонов.

В данной статье приводятся результаты исследования стойкости бетонов на портландцементе и сланцезольном портландцементе в условиях выщелачивания и сульфатной коррозии в зависимости от содержания щелочных окислов в цементном клинкере. Для проведения опытов в лабораторных условиях изготавливались цементы на основе клинкеров с тремя различными содержаниями щелочных окислов. Минералогический состав этих клинкеров следующий:

	I	II	III
C_3S	50	55	56

	I	II	III
C_2S	20	18	18
C_3A	10	9	8
C_4AF	11	10	13
$CaO_{своб}$	1,0	0,6	0,2
$K_2O + Na_2O$	1,45	1,10	0,50
SO_3	1,85	1,06	0,28

Портландцементы изготовлялись с такими добавками при-
родного гипса, при которых содержание SO_3 в цементе состав-
ляло 2,5 и 3,5 %. Сланцезольные цементы изготовлялись со-
вместным помолом клинкера и мельчайшей фракции летучей золы
сланца-кукерсита. Содержание $CaO_{своб}$ в золе составляло 9,6 %, $SO_3 = 9,5$ %, $K_2O + Na_2O = 4,9$ %, уд. поверхность $3100 \text{ см}^2/\text{г}$.
Удельная поверхность цементов колебалась в пределах $3100 - 3200 \text{ см}^2/\text{г}$.



Фиг. 1.

Стойкость пропаренных образцов в воде в зависимости от содер-
жания щелочей в цементном клинкере:

- 1 - клинкер I, 3,5 % SO_3 ; 2 - клинкер II, 3,5 % SO_3 ;
- 3 - клинкер III, 3,5 % SO_3 ; 4 - клинкер I, 2,5 % SO_3 ;
- 5 - клинкер III + 20 % золы; 6 - клинкер II + 20 % золы,
- 7 - клинкер III + 20 % золы.

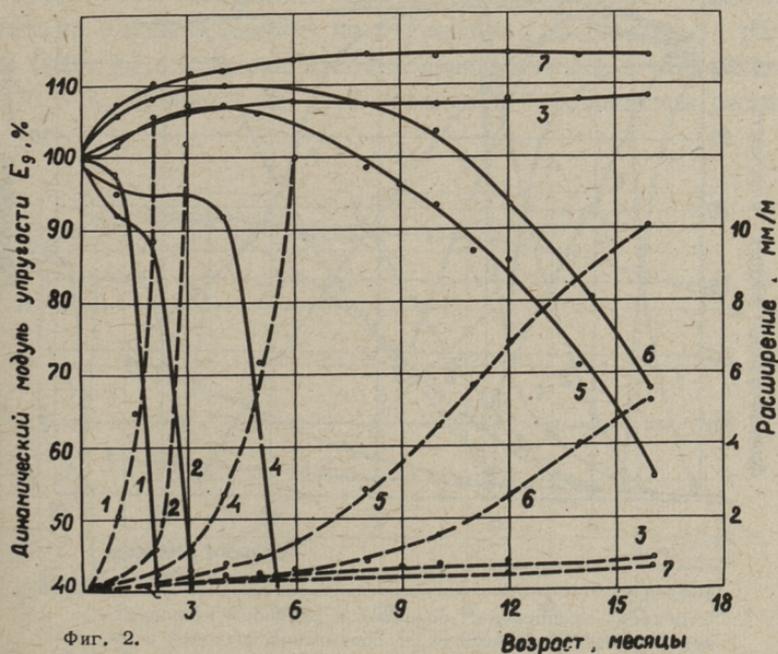
— — — — — дин. модуль упругости $10^{-5} \text{ кгс}/\text{см}^2$,

- - - - - расширение, мм/м.

Стойкость цементов изучалась на образцах размерами 4x4x16 см, которые изготовлялись из раствора 1:3 (цемент:вольский песок) при равной удобоукладываемости растворов (110 ± 2 мм). Образцы твердели при пропаривании при 80 °С в режиме 3+3+6+2 часа, а затем в течение 27 суток в насыщенном влагой воздухе. После предварительного твердения образцы помещались в соответствующий раствор. Определялись линейное расширение и динамический модуль упругости образцов (E_D).

На фиг. 1 изображены стойкостные показатели пропаренных образцов в периодически сменяемой воде в зависимости от содержания щелочных окислов в цементном клинкере.

Из фигуры видно, что стойкость пропаренных при 80 °С образцов против выщелачивания в первую очередь зависит от содержания щелочных окислов и SO_3 в цементе. При использовании цементного клинкера с высоким содержанием щелочных



Фиг. 2.

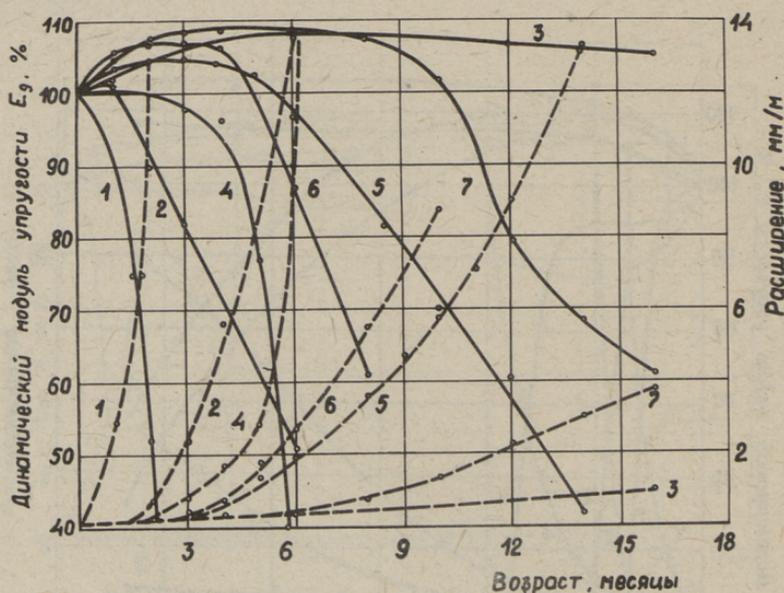
Стойкость пропаренных образцов в растворе 5% Na_2SO_4 в зависимости от содержания щелочей в цементном клинкере
 1 - клинкер I, 3,5 % SO_3 ; 2 - клинкер II, 3,5 % SO_3 ;
 3 - клинкер III, 3,5 % SO_3 ; 4 - клинкер I, 2,5 % SO_3 ;
 5 - клинкер I, +20 % золы; 6 - клинкер II +20 % золы;
 7 - клинкер III +20 % золы.

— — — — — дин. модуль упругости 10^{-5} кгс/см²;
 - - - - - расширение мм/м.

окислов после 1-2-месячного хранения в воде происходит чрезмерное расширение пропаренных образцов, сопровождаемое падением E_D . Расширение при последующем твердении в воде не происходит только при содержании щелочных окислов в клинкере 0,5 %.

Добавление к цементному клинкеру мельчайшей фракции летучей золы сланца-кукерсита в количестве 20 % предотвращает расширение и признаки коррозии. При использовании зольных цементов при последующем твердении в воде в течение 16 месяцев у пропаренных образцов не отмечается существенного расширения и снижения E_D . При этом содержание SO_3 в зольных цементах может доходить до 3,4 % и R_2O — до 2,2 %.

На фиг. 2 показано изменение E_D и расширение пропаренных образцов в 5-процентном растворе Na_2SO_4 . В общем, картина аналогична той, которая наблюдалась при хранении об-



Фиг. 3.

Стойкость пропаренных образцов в растворе 1-процентной $MgSO_4$ в зависимости от содержания щелочей в цементном клинкере:

- 1 — клинкер I, 3,5 % SO_3 ; 2 — клинкер II, 3,5 % SO_3 ;
- 3 — клинкер III, 3,5 % SO_3 ; 4 — клинкер I, 2,5 % SO_3 ;
- 5 — клинкер I + 20 % золы; 6 — клинкер II + 20 % золы;
- 7 — клинкер III + 20 % золы.

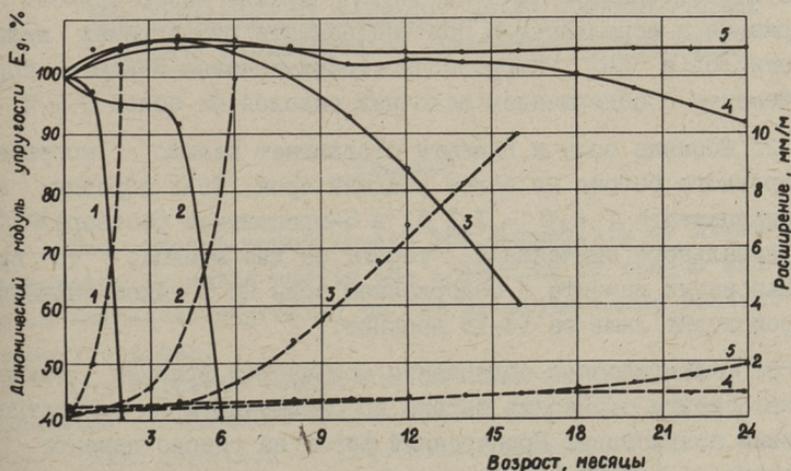
— дин. модуль упругости 10^{-5} кгс/см²;
 - - - - - расширение мм/м.

разцов в воде, однако признаки коррозии появляются значительно раньше. Добавление золы к цементу отодвигает начало коррозии на более поздний срок. Так, E_D образцов при использовании портландцементов I и II снижается до 70 % своего первоначального значения за 2 и 2,5 месяца, а при использовании зольных цементов из тех же клинкеров — уже соответственно за 14,5 и 15 месяцев.

В пропаренных образцах, изготовленных на основе портландцемента с содержанием $R_2O = 0,5 \%$ или на основе соответствующего сланцевольного портландцемента, в течение 14 месяцев признаков коррозии не наблюдается.

В 1-процентном растворе $MgSO_4$ (фиг. 3) признаки коррозии образцов проявляются более отчетливо, чем в растворе Na_2SO_4 . И в этом случае стойкость образцов на зольном цементе превышает стойкость образцов на портландцементе.

Увеличение содержания золы в цементе повышает стойкость образцов на зольном цементе по отношению к агрессивным растворам (фиг. 4). Если при использовании цемента с содержанием золы 20 % E_D образцов за 14,5 месяцев в 5-процентном раство-



Фиг. 4.

Стойкость пропаренных образцов в растворе 5-процентной Na_2SO_4 в зависимости от содержания золы в цементе:

- 1 — клинкер I, 3,5 % SO_3 ; 2 — клинкер I, 2,5 % SO_3 ;
- 3 — клинкер I + 20 % золы; 4 — клинкер I + 30 % золы;
- 5 — клинкер I + 40 % золы.

— — — — — дин. модуль упругости 10^{-5} кгс/см²;
 - - - - - расширение, мм/м.

ре Na_2SO_4 снижается на 30 %, то при использовании цемента с содержанием золы 30 % за 24 месяца отмечается лишь снижение E_d образцов на 8 %. Образцы же из цемента с содержанием золы 40 % после двух лет пребывания в коррозионной среде вообще не имеют признаков коррозии. Необходимо учитывать, что клинкер I, использовавшийся для изготовления упомянутых цементов, имел высокое содержание щелочных окислов. Таким образом, путем добавления мельчайшей фракции летучей золы можно превратить нестойкие цементы с высоким содержанием щелочных окислов в коррозионноустойчивые. Большая коррозионная стойкость бетонов на сланцевольном портландцементе в основном обусловлена большей плотностью и меньшей капиллярной пористостью бетона. Умеренное расширение сланцевольного цемента и пуццолановое его твердение способствует закрытию капиллярных пор, благодаря чему опасность коррозии уменьшается. Кроме того, добавка золы понижает содержание в цементе C_3A , являющегося одним из побудителей сульфатной коррозии бетона.

В ы в о д ы

1. Водостойкость и коррозионная стойкость пропаренных бетонов в растворах Na_2SO_4 и MgSO_4 прежде всего зависят от содержания в используемом портландцементе растворимых щелочных окислов и SO_3 . Коррозионностойкими можно считать портландцементы с содержанием щелочных окислов не более 0,5 %.

2. Добавка золы к цементу отодвигает начало коррозии пропаренного бетона на более поздний срок. Если образцы на портландцементе ($R_2\text{O} = 1,1\%$) в 5-процентном растворе Na_2SO_4 30 % начального значения E_d теряют за два месяца, то при использовании цемента с содержанием золы 20 % такое снижение E_d происходит лишь за 14-15 месяцев.

3. С увеличением содержания мельчайшей фракции летучей золы в цементе стойкость бетона по отношению к сульфатной коррозии возрастает. Пропаренный бетон на основе цемента с содержанием золы 30 % практически можно считать сульфатостойким.

Л и т е р а т у р а

1. К и к а с В.Х., Х а й н А.А., О я с т е К.А., П и к с а р в Э.Ю. О стойкости пропаренных бетонов. Сборник трудов

по изучению золы сланца-кукерсита УІ. "Тр. Таллинск. политехн. ин-та", 1972, № 335.

2. Рейнсдорф З. Влияние состава портландцементов на результат пропаривания бетонов. - Труды международной конференции по проблемам ускорения твердения бетона при изготовлении сборных железобетонных конструкций. М., 1968.

3. Оясте К.А., Кикас В.Х., Хайн А.А., Гаул И.А. О физических факторах, влияющих на коррозию пропаренного бетона. - Сборник трудов по изучению золы сланца-кукерсита УІ. "Тр. Таллинск. политехн. ин-та", 1972, № 335.

4. Астахова М.А., Турецкий А.М., Штейерт Н.И. Зависимость технических свойств портландцемента от количества щелочей. Цемент № 2, 1970.

E. Piksarv, V. Kikas, L. Raado

The Influence of Alkaline Oxide Content on the Sulphate Resistance of Steam-cured Concretes

Summary

The present paper treats the durability of steam-cured concretes in water and in the solutions of sodium and magnesium sulphates depending on the alkaline oxide content of cement clinker.

The sulphate resistance of concretes decreases with the increase of alkaline oxide content in cement. An amount of the finest fraction of kukersite oil-shale fly ash in cement increases the sulphate resistance of concretes hardened by steam-curing.

УДК 666.944.21:620.019.3

Л.В.Раадо, Э.Ю.Пиксарв, В.Х.Кикас

РАСТВОРИМОСТЬ И КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ
ЦЕМЕНТОВ ПРИ РАЗНЫХ РЕЖИМАХ ТВЕРДЕНИЯ

Минералогический состав цемента и условия твердения цементных образцов сильно влияют на тип образующихся соединений, а также на структуру твердеющего цементного камня [1]. От указанных факторов и от плотности цементного камня в свою очередь зависит коррозионная стойкость бетона. Эти факторы влияют на растворимость цементного камня в нейтральных и слабокислотных водах, чем и определяется стойкость бетона в этих средах.

В настоящей статье рассматривается растворимость кальциевых соединений цемента в разных водах в зависимости от минералогического состава цемента и режима его твердения. При проведении опытов изготовлялись образцы-призмы размерами 4x4x16 см из цементных растворов более 10 составов (табл. I). Использовались клинкера завода "Пунане Кунда" (А и В) и Белгородского цементного завода (Б), различающиеся по своему химическому составу (табл. I). Сланцезольные цементы изготовлялись на базе тех же клинкеров с добавлением 20, 30 и 40 % мельчайшей фракции летучей золы сланца-кукерсита (удельная поверхность $S = 3100 \text{ см}^2/\text{г}$, содержание $\text{CaO}_{\text{св}} = 9,6 \%$). Портландцементы изготовлялись с содержанием SO_3 2,5 и 3,5 %.² Все цементы размалывались до удельной поверхности $S = 3000 \frac{\text{см}^2}{\text{г}}$.

Изготовление образцов проводилось по методике ГОСТ 310-60 из раствора состава 1:3 (цемент:вольский песок) при равной пластичности раствора (РСТ ЭССР 213-74), чтобы обеспечить для образцов из портландцемента и сланцезольного цемента сравнимые опытные условия.

Предварительное твердение образцов проводилось по двум режимам: 1) в нормальных условиях, то есть 24 часа в насыщенном влагой воздухе и затем 27 суток в воде; 2) при пропаривании при температуре 80 °С в режиме 3+3+6+2 часа и затем 27 суток в насыщенном влагой воздухе.

После предварительного твердения образцы помещались в периодически сменяемые водные растворы. Через определенные промежутки времени измерялись динамический модуль упругости E_D , удлинение образцов Δl , определялись растворимость СаО путем титрования трилоном Б и растворимость SO_3 при помощи колориметрического анализа.

Т а б л и ц а I

Основные показатели использованных цементов

Цемент	Состав цемента	К л и н к е р			Содержание SO_3 в цементе, %
		обозначение	содержание, %		
			R_2O	SO_3	
ПЦ-I	-	A	1,1	1,06	3,5
ПЦ-II	-	B	1,4	1,85	3,5
ПЦ-III	-	B	1,4	1,85	2,5
ПУ-IV	-	B	0,5	0,28	3,5
ПЦ-V	-	B	0,5	0,28	2,5
СПЦ-I	20 % Е-III	A	1,1	1,06	2,8
СПЦ-III	20 % Е-III	B	1,4	1,85	3,4
СПЦ-IV	30 % Е-III	B	1,4	1,85	4,1
СПЦ-V	40 % Е-III	B	1,4	1,85	4,9
СПЦ-VI	20 % Е-III	B	0,5	0,28	2,1
СПЦ-VIII	30 % Е-III	B	0,5	0,28	3,1

Клинкер А $C_3S = 55\%$, $C_2S = 18\%$, $C_3A = 9\%$ $C_4AF = 10\%$
Клинкер Б $C_3S = 56\%$ $C_2S = 18\%$, $C_3A = 8\%$, $C_4AF = 13\%$,
Клинкер В $C_3S = 50\%$ $C_2S = 20\%$, $C_3A = 10\%$ $C_4AF = 11\%$,
Зола Е-III $CaO = 32\%$ $Al_2O_3 = 10,1\%$ $Fe_2O_3 = 4,7\%$,
 $SiO_2 = 34,1\%$, $MgO = 3,9\%$, $SO_3 = 9,5\%$,
 $R_2O = 3,9\%$, $CaO_{cb} = 9,6\%$, удельная поверхность $S = 3100 \text{ см}^2/\text{г}$.

I. Периодически сменяемая питьевая и дистиллированная вода

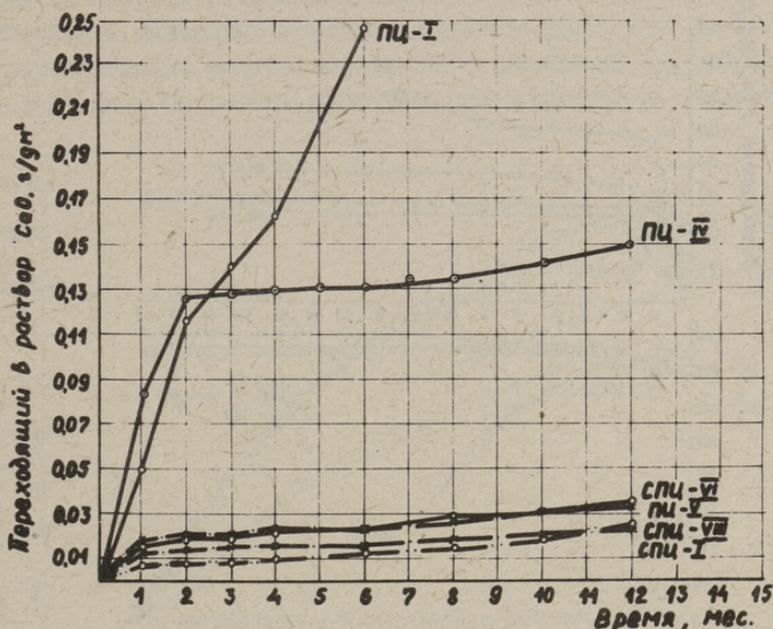
I.1. Образцы нормального твердения. В таблице 2 приведены данные о растворимости CaO и SO_3 в питьевой и дистиллированной воде из бетонов, изготовленных на базе разных цементов. Следует отметить, что портландцементные образцы нормального твердения характеризуются более высокой растворимостью CaO в сравнении со сланцезольными цементами, изготовленными на том же клинкере. Растворимость CaO бетона в дистиллированной воде превышает соответствующую растворимость CaO в периодически сменяемой питьевой воде 7...10 раз. Растворимость SO_3 бетона в дистиллированной воде в 2 раза выше, чем растворимость его в питьевой воде. Общее количество растворимого SO_3 у сланцезольных цементов и портландцементов почти одинаково. Ввиду того, что гипс, содержащийся в вяжущем веществе, связывается в течение первых суток твердения, то переходящий в раствор SO_3 является продуктом растворения гидросульфаталюминатов кальция. Их разложение обусловлено пониженной величиной водородного показателя воды-среды и пониженной концентрацией CaO и SO_3 в растворе, которая не соответствует равновесной концентрации. Продуктами разложения в этом случае являются $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 43\text{H}_2\text{O}$. При этом, если количество образующегося гидросульфаталюмината кальция зависит от содержания SO_3 в цементе, количество $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, являющегося продуктом разложения, в свою очередь зависит от дозировки SO_3 в цементе. У образцов нормального твердения, хранившихся в течение 1,5 лет в питьевой и в дистиллированной воде, изменений прочностных показателей и динамического модуля упругости не наблюдалось.

I.2. Пропаривание при 80 °C. Пористость пропаренных бетонов неизменно превышает пористость бетонов нормального твердения, в связи с чем и всасывание воды в поры пропаренного бетона более интенсивное [2]. Это и обуславливает повышенную растворимость пропаренных бетонов. В случае сланцезольных цементов в результате пропаривания часть $\text{CaO}_{\text{св}}$ цемента связывается и, таким образом, содержание $\text{CaO}_{\text{св}}$ в про-

Расгeордимость CaO и SO₃ цементных образцов

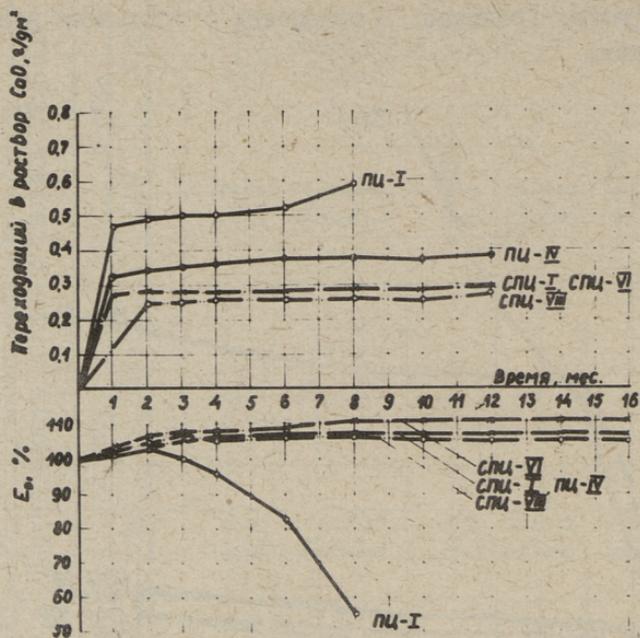
Цемент	Растворимость, г/дм ³ в питьевой воде в течение 6 месяцев		Растворимость, г/дм ³ в дистиллированной воде в течение 6 месяцев		Растворимость, г/дм ³ в раствор СН ₃ COOH с рН = 4,5				
	6 мес.		6 мес.		2 мес.		6 мес.		
	CaO	SO ₃	CaO	SO ₃	CaO	SO ₃	CaO	SO ₃	
1. Нормальное твердение									
Клинкер А									
Ш-I	0,016	0,005	0,23	0,015	5,3	0,18	9,4	0,31	
СП-I	0,009	0,007	0,12	0,017	4,8	0,15	8,3	0,29	
Клинкер Б									
Ш-IV	0,034	0,006	0,25	0,017	4,7	0,17	10,0	0,34	
Ш-V	0,021	0,007	0,20	0,013	4,9	0,12	9,6	0,23	
СП-VI	0,015	0,008	0,09	0,017	3,8	0,10	6,9	0,17	
СП-VII	0,019	0,008	0,05	0,014	4,0	0,16	7,4	0,31	
2. Пропаривание при 80°C									
Клинкер А									
Ш-I	0,21	0,016	0,52	0,023	4,6		разруш.		
СП-I	0,018	0,014	0,28	0,02	3,9		8,5		
Клинкер Б									
Ш-IV	0,13	0,005	0,37	0,014	5,0		10,0		
СП-VI	0,024	0,01	0,28	0,017	4,0		8,1		
СП-VII	0,012	0,011	0,26	0,020	4,0		8,3		
Клинкер В									
Ш-II	0,35	0,004	0,59	0,008	3,5		разруш.		
Ш-III	0,007	0,005	0,013	0,011	3,0		"		
СП-III	0,006		0,08		1,9		4,8		
СП-IV	0,007		0,118		1,5		4,5		
СП-V	0,005		0,038		1,5		4,5		

паренных образцах понижено в сравнении с образцами нормального твердения.



Фиг. 1. Растворимость CaO из пропаренных цементных образцов, изготовленных на клинкерах А и Б, в водопроводной воде (обозначение цементов см. в табл. 1).

Как показывают результаты настоящей работы, общее количество растворимого CaO за 6 месяцев у сланцезольных образцов в случае пропаривания и нормального твердения в питьевой воде почти одинаково. Растворимость CaO образцов, изготовленных на портландцементе, содержащем 2,5% SO_3 , оказалась равной с растворимостью сланцезольных образцов (фиг. I, таблица 2). При увеличении содержания SO_3 в цементе до 3,5% растворимость CaO образцов резко возрастает (фиг. I). Так, растворимость CaO в питьевой воде за 6 месяцев у ПЦ-II (клинкер Б, содержание SO_3 в цементе 3,5%) составляет 0,13 г/дм², а в случае ПЦ-I (клинкер А, содержание SO_3 в цементе 3,5%) — даже до 0,24 г/дм². Последние образцы отличаются резким подъемом кривой растворимости CaO, обусловленным возникновением в образце трещин. Следует отметить, что портландцемент ПЦ-I изготовлен на базе клинкера с довольно высоким содержанием щелочных окислов и SO_3 (табл. I).



Фиг. 2.

Растворимость CaO и изменение E_d пропаренных цементных образцов в дистиллированной воде (обозначение цементов см. в табл. 1).

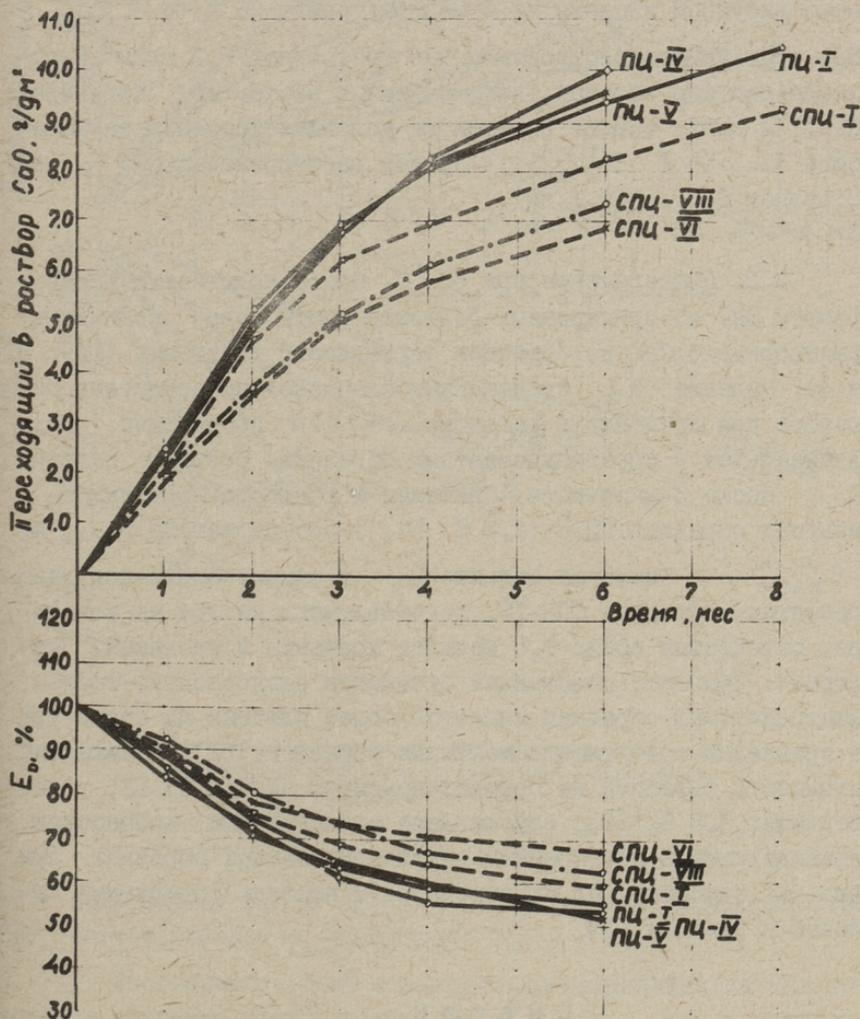
В дистиллированной воде интенсивность выщелачивания CaO из пропаренных образцов в сравнении с растворимостью из тех же образцов, хранившихся в питьевой воде, возрастает (фиг.2) и превышает растворимость CaO в дистиллированной воде из образцов нормального твердения (табл. 2). Общее количество выщелачиваемой CaO из сланцевольных образцов составляет $0,28 \text{ г/дм}^2$, а из образцов на портландцементях, содержащих 3,5 % SO_3 , оно значительно больше.

При этом падение динамического модуля упругости за 6 месяцев хранения на 30 % наблюдается у портландцементных образцов на Щ-I и Щ-II, содержащих 3,5 % SO_3 .

2. Раствор CH_3COOH с pH = 4,5

2.1. Нормальное твердение. В растворе CH_3COOH с pH = 4,5 цементные образцы в меньшей степени подвержены кислотной коррозии и больше коррозии выщелачивания. Природные бо-

лотные воды обычно имеют такую же кислотность. Следует отметить, что портландцементы, независимо от химического состава клинкера и содержания золы, показывают весьма низкую стойкость в указанных условиях хранения (фиг. 3). На фиг. 3 приведены кривые растворимости CaO и изменения E_D образцов, изготовленных на разных цементах, при хранении в растворе



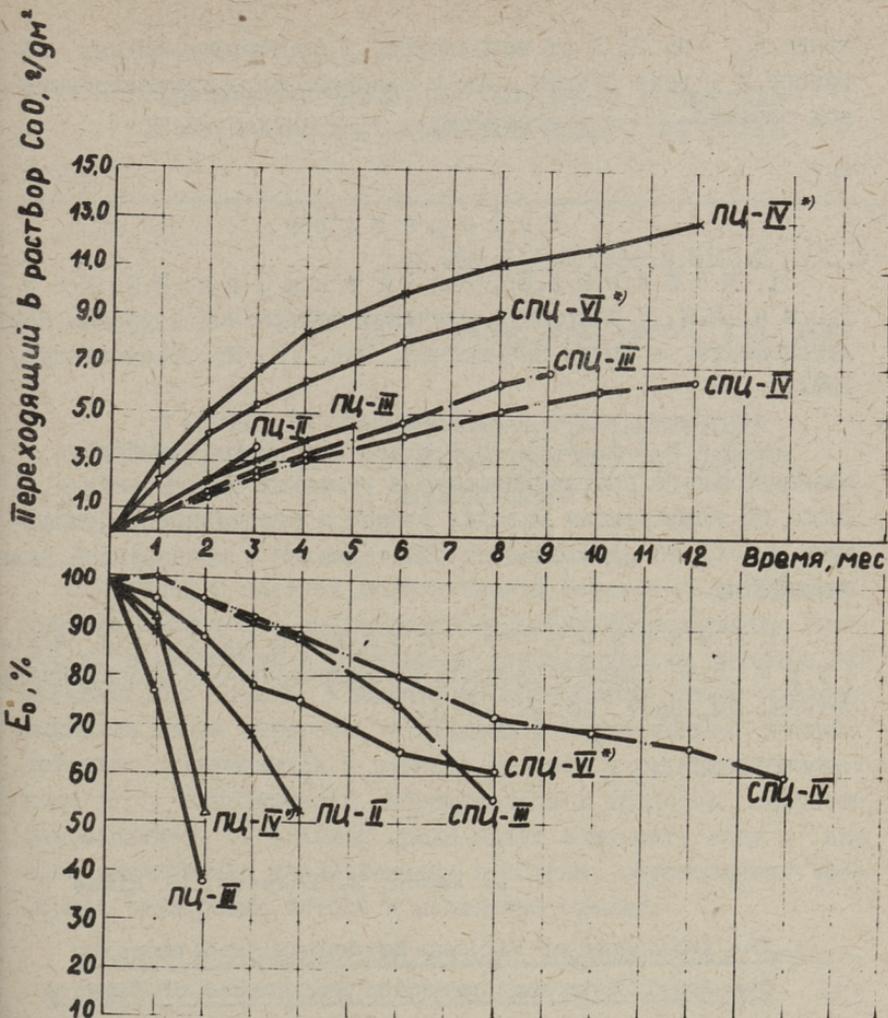
Фиг. 3. Изменение растворимости и динамического модуля упругости E_D цементных образцов нормального твердения при кислотности раствора $\text{pH} = 4,5$ (обозначение цемента см. в табл. 1).

CH_3COOH с $\text{pH} = 4,5$. Как следует из фиг. 3, растворимость сланцезольно-цементных образцов понижена в сравнении с портландцементными. При этом растворимость CaO с увеличением содержания летучей золы в цементе с 20...30 % уменьшается. При увеличении количества растворимого CaO происходит снижение динамического модуля упругости E_D . Так, сланцезольно-цементные образцы СПЦ-VI и СПЦ-VIII при хранении в растворе уксусной кислоты за 3 месяца теряют 26 % от $E_{D \text{ в воде}}^{28 \text{ сут.}}$. При этом общее растворимое CaO составляет 5,2 г/дм². Портландцементные образцы, изготовленные на том же клинкере, ПЦ-IV и ПЦ-V, теряют в таких же условиях хранения за 3 месяца 36...39 % $E_{D \text{ в воде}}^{28 \text{ сут.}}$, причем растворимость CaO составляет 6,8...6,9 г/дм².

2.2. Пропаривание при 80 °С. Общее количество растворимого CaO из пропаренных образцов почти равно количеству растворимого CaO из образцов нормального твердения (фиг. 3 и 4). Падение E_D пропаренных сланцезольно-цементных образцов при хранении в растворе CH_3COOH происходит медленнее, чем у портландцементных образцов. Поэтому падение E_D после 3-месячного хранения в растворе портландцементных образцов ПЦ-III (2,5 % SO_3) составляет 32 % от $E_{D \text{ в воде}}^{28 \text{ сут.}}$. Такое же падение E_D у сланцезольно-портландцементных образцов СПЦ-IV, изготовленных на том же клинкере, отмечается после 9,5 месяцев хранения в указанных условиях. Причиной повышенной стойкости сланцезольно-портландцементных образцов является более плотная их структура в сравнении с портландцементными образцами [2]. Пониженная стойкость образцов на портландцементных ПЦ-II и ПЦ-IV, содержащих 3,5 % SO_3 , обусловлена аналогичными процессами, возникающими в пропаренных портландцементных образцах при высоких температурах пропаривания и высоком содержании щелочей в цементе [3].

В ы в о д ы

I. Растворимость сланцезольно-портландцементных бетонов и растворов в питьевой и дистиллированной воде ниже, чем у бетонов (растворов), изготовленных на портландцемент-



Фиг. 4.

Изменение растворимости СаО и динамического модуля упругости пропаренных образцов при выдерживании их в растворе CH_3COOH с $\text{pH} = 4,5$.

*) Образцы изготовлены на клинкере Б. Остальные образцы изготовлены на клинкере В (обозначение цементов см. в табл.1).

те с содержанием 3,5 % SO_3 , и почти равна с растворимостью СаО портландцементов, содержащих 2,5 % SO_3 .

2. Растворимость СаО сланцезольно-портландцементных бетонов в слабокислотных водах ($\text{pH} = 4,5$) ниже, чем у бетонов, изготовленных на базе портландцемента. Одновременно с интенсивным растворением СаО происходит снижение динамического модуля упругости образцов. Время, за которое происходит сни-

жение E_D на 30 % от начального, у портландцементных образцов в 2 раза меньше, чем у сланцезольно-портландцементных бетонов.

Л и т е р а т у р а

1. Шейкина А.Е., Олейникова Н.И., Гершман М.И. К вопросу о причинах сульфатной коррозии портландцемента. - Труды НИИЦемент, Вып. 15, М., Экономиздат, 1961.

2. Раадо Л.В., Пиксарв Э.Ю. Стойкость сланцезольного портландцемента в условиях выщелачивания. - В сб. УП конференции молодых ученых и специалистов Прибалтики и БССР по проблемам стройматериалов и конструкций. Вильнюс, 1974.

3. Пиксарв Э.Ю., Кикас В.Х., Хайн А.А., Нурм В.Э. Влияние щелочей на долговечность пропаренного бетона. См. наст. сб. с. 71-78.

L. Raado, E. Piksarv, V. Kikas

The Influence of Various Hardening Conditions on the Solubility and Corrosion Resistance of Cements

Summary

In this article the comparative corrosion resistance of oil-shale ash Portland cement and of ordinary Portland cement in the conditions of leaching is investigated. The influence of the hardening conditions of various cements on the leaching resistance of distilled water and slightly acidic water (CH_3COOH pH = 4.5) are studied.

УДК 666.944.21:666.9.015.42.001.5

К.А. Оясте, В.Х. Кикас, А.А. Хайн

О СТОЙКОСТИ СЛАНЦЕЗОЛЬНО-ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНЫХ
РАСТВОРОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЩЕЛОЧЕЙ ЦЕМЕНТА
С ЗАПОЛНИТЕЛЯМИ

В связи с оценкой долговечности бетонов к настоящему времени достаточно подробно исследованы коррозионные процессы, протекающие в результате взаимодействия бетона с окружающей его средой. В последние десятилетия стали уделять внимание также коррозии, возникающей в результате взаимодействия содержащихся в цементе щелочей и реакционноспособного SiO_2 заполнителей. Образующиеся в процессе коррозии гидросиликаты во влажной среде могут впитывать воду и при этом значительно увеличиваться в объеме, обуславливая чрезмерное расширение бетона и появление трещин.

Наряду с указанной коррозией, содержащийся в некоторых карбонатных породах доломит, реагируя с щелочами цемента, может разрушаться и также вызывать расширение бетона и появление в нем трещин. Этот так называемый процесс дедоломитизации является часто встречающимся опасным явлением в случае применения в качестве заполнителя бетона доломитовых карбонатных пород.

Явления коррозии, обусловленные щелочами цемента и дедоломитизацией, стали особенно актуальными в связи с возросшим применением клинкерных цементов. Эти проблемы актуальны и при применении сланцезольного портландцемента, так как содержание в нем щелочей выше, чем в портландцементе.

Для исследования из продукции цементного завода "Пуна-не Кунда" были выбраны пять клинкеров, содержание щелочей в которых в пересчете на Na_2O составляло от 0,35 до 1,41%.

При выборе летучей золы горючего сланца исходили из того, чтобы она имела среднее для зол теплоэлектростанций содержание щелочей, которое находится в пределах 3,0-4,3 %. На основе указанных клинкеров изготавливали портландцемент без добавок, портландцемент с добавкой 8 и 15 % трепела и сланцево-золенный портландцемент с добавкой 10...40 % летучей золы.

При изготовлении образцов в качестве инертного материала применялась смесь вольского и местного кварцевого песка. Из числа заполнителей, опасных как с точки зрения коррозии, вызываемой щелочами цемента, так и с точки зрения дедоломитизации, исследовались следующие:

1. В опытах по дедоломитизации исследовались доломитовый известняк Эстонской ССР, мергелистый доломит Латвийской ССР и доломит Литовской ССР. Ввиду того, что реакционная способность указанных пород до настоящего времени не изучалась, их необходимо было проверить также в отношении коррозии, вызываемой щелочами цемента. По этой же причине в программу исследований был включен также известняк Эстонской ССР.

2. Из вулканических пород, имеющих потенциально опасную в отношении коррозии, вызываемой щелочами цемента, кислую и среднюю стекловидную фазу, исследовались липарит, андезит и обсидиан.

3. Из других пород, минералов и материалов исследовались халцедон, стекло "пайрекс" и кварцевый песчаник, в котором опасными в отношении коррозии компонентами являются опаловый и халцедоновый цементирующий материал. Кроме них были изучены базальт и гранит.

В ходе исследовательской работы из более 1000 растворов было изготовлено свыше 5000 образцов, наблюдения за которыми продолжались более 10 лет. Параллельно с твердением образцов при 20 и 38 °С для изучения влияния гидротермической обработки на процессы коррозии растворы, изготовленные на базе некоторых более важных цементов и заполнителей, пропаривались при 90 °С.

Основным методом наблюдений являлось измерение линейного расширения образцов. Обнаружение повреждений внутренней структуры в результате коррозии производилось путем оп-

Ределения изменений динамического модуля упругости, а также микроскопическим исследованием шлифов и аншлифов. Возникающие в процессе коррозии новообразования изучались кристаллооптическим методом. При предварительном исследовании заполнителей пользовались как кристаллооптическим методом, так и рентгеноструктурным анализом.

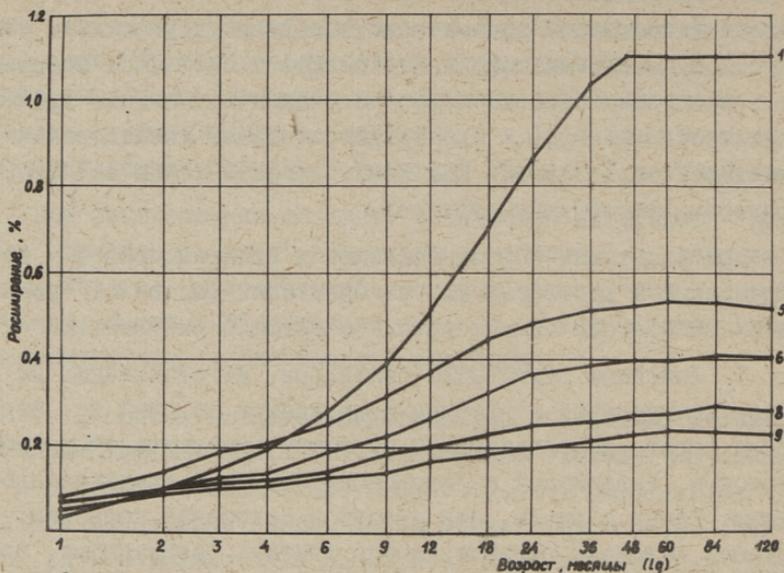
При испытании портландцемента и сланцезольного портландцемента в растворах на заполнителях различной реакционной способности были получены следующие результаты.

1. Линейное расширение растворов, изготовленных на базе портландцемента с высоким содержанием щелочей и карбонатных пород, используемых в качестве заполнителей бетона в Эстонской, Латвийской и Литовской ССР, было сравнительно невелико. Таким образом, эти породы в отношении коррозии, вызываемой щелочами цемента, можно считать безопасными. Основываясь на результатах петрографического исследования растворов и их небольшом линейном расширении, можно заключить, что при совместном применении карбонатных пород Прибалтийских республик и сланцезольного портландцемента опасность коррозии, вызываемой щелочами, также отсутствует. Из анализа состава и структуры доломитовых пород выяснилось, что они не имеют реальных предпосылок для развития дедоломитизации. Это подтверждается также наблюдениями за соответствующими образцами, проводившимися в течение восьми лет.

Опыты с гранитом и базальтом показали, что граниты с признаками начальной стадии выветривания и невыветрившиеся базальты также не опасны в отношении коррозии, обусловленной щелочами цемента.

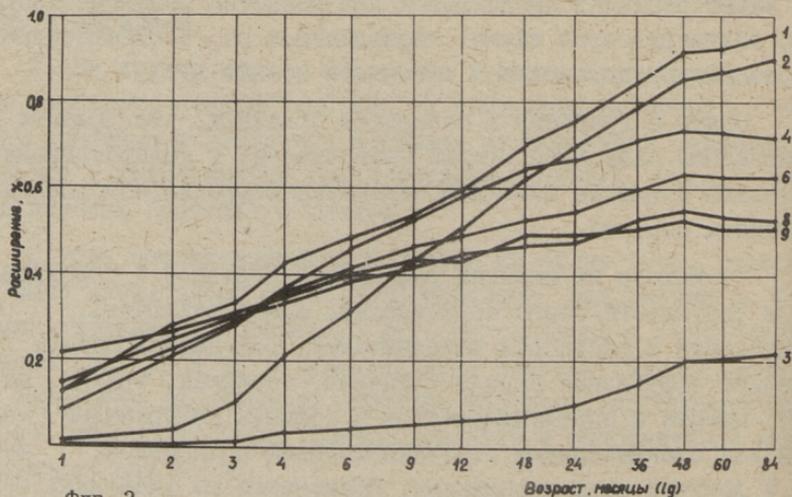
2. Исходя из степени расширения образцов и образующихся в результате этого повреждений, можем заключить, что применение в растворах заполнителей, содержащих кислые и средние эффузивные породы (липарит, обсидиан, трахит, андезит) вместе с портландцементом с большим содержанием щелочей или сланцезольным портландцементом с добавкой менее 25 % летучей золы невозможно. Применение же указанных пород в растворах на сланцезольном портландцементе с содержанием летучей золы 25 % и более вполне реально.

3. Опыты показали, что при замене вольского песка стеклом "пайреко" или халцедоном наибольшее расширение наблю-



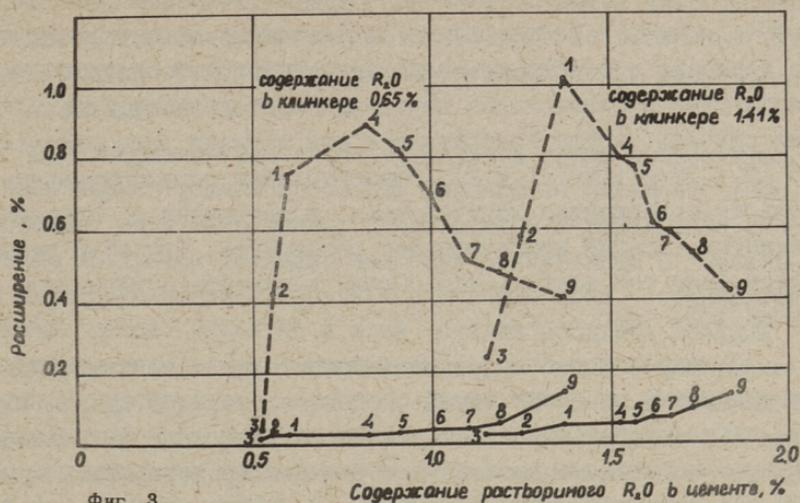
Фиг. 1

Линейное расширение образцов, изготовленных из цемента на базе клинкера с высоким содержанием щелочей ($R_{2O} = 1,20\%$) и заполнителя, содержащего 30% стекла "пайрекс" при 20°C .
 1 — портландцементы, 5, 6, 8, 9 — сланцезольные портландцементы, содержащие соответственно 15, 20, 30 и 40% летучей золы.



Фиг. 2.

Линейное расширение образцов, изготовленных из цемента на базе клинкера с высоким содержанием щелочей ($R_{2O} = 1,41\%$) и заполнителя, содержащего 40% халцедона при 20°C :
 1 — портландцемент; 2, 3 — портландцемент, содержащий 8 и 15% трепела; 4, 6, 8, 9 — сланцезольные портландцементы, содержащие соответственно 10, 20, 30 и 40% летучей золы.



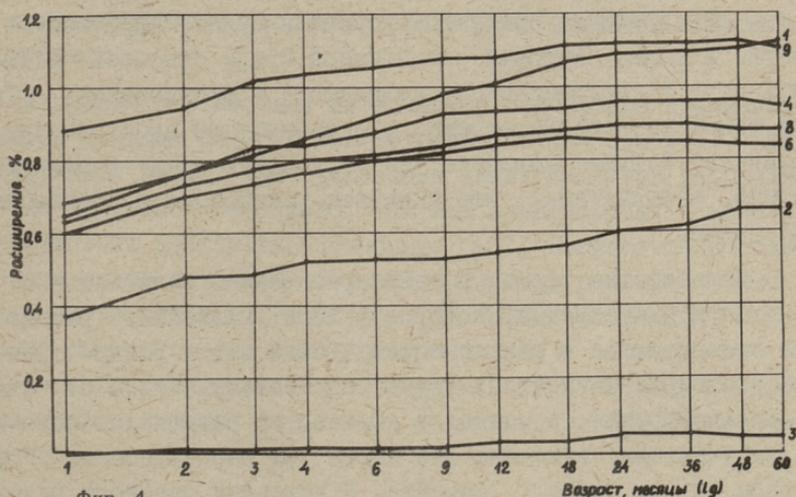
Фиг. 3.

Зависимость линейного расширения образцов, изготовленных на базе реакционноспособного и инертного заполнителя, от содержания в цементе щелочей и летучей золы:

----- растворы на базе реакционноспособного заполнителя (стекло "пайрекс");

— растворы на базе инертного заполнителя;

1 - портландцемент; 2, 3 - портландцемент, содержащий 8 и 15 % трепела; 4, 5, 6, 7, 8, 9 - сланцевольные портландцементы, содержащие соответственно 10, 15, 20, 25, 30 и 40 % летучей золы.



Фиг. 4.

Линейное расширение образцов, изготовленных из цементов на базе клинкера с высоким содержанием щелочей ($R_2O=1,41\%$) и заполнителя, содержащего 10 % кварцево-опалового песчаника при $20^\circ C$:

1 - портландцемент, 2, 3 - портландцемент, содержащий 8 и 15 % трепела, 4, 6, 8, 9 - сланцевольные портландцементы, содержащие соответственно 10, 20, 30 и 40 % летучей золы.

далось обычно в растворах на портландцементе, полученных из клинкера с наибольшим содержанием щелочей. Максимальное расширение сланцезольных портландцементов наблюдалось в тех случаях, когда содержание в них летучей золы составляло 10...15 % (фиг. 1 и 2). Сланцезольные портландцементы с большим содержанием летучей золы, в сравнении с портландцементом, всегда имели меньшее расширение. При этом расширение было тем меньше, чем больше в цементе содержалось летучей золы (фиг. 1, 2, 3).

Расширение растворов на заполнителе, содержащем кварцевоопаловый песчаник, было особенно велико. В данном случае даже 40-процентное содержание летучей золы в сланцезольном портландцементе не в состоянии предотвратить опасный ход коррозии (фиг. 4).

Весьма вероятно, что в начальный период коррозии в результате разрушения реакционноспособного SiO_2 вокруг зерен заполнителя образуется гидросиликат кальция, натрия и калия, представляющий собой гель с ограниченной способностью водопоглощения, который с точки зрения коррозии не является опасным. Однако позднее реакционноспособный SiO_2 взаимодействует лишь с гидроксидами калия и натрия, в связи с чем образующимся продуктом коррозии будет гидросиликат натрия и калия, который во влажной среде способен поглощать воду в неограниченном количестве и расширяться. Так как такой гель располагается в ограниченном пространстве, возникает большое давление на окружающую среду (цементный камень, заполнитель), что вызывает расширение и образование трещин.

Образование трещин в растворах обычно начинается с появления микротрещин, которые в ходе дальнейшего расширения превращаются в макротрещины. Общий вид и распространение последних зависит не только от величины, но и от скорости расширения, а также от количества реакционноспособного заполнителя, величины его зерен, их распределения в растворе и от вида цемента. В условиях опасного расширения сеть макротрещин в растворе, изготовленном из портландцемента и сланцезольного портландцемента с 10...15-процентным содержанием летучей золы очень обширна. При увеличении содержания летучей золы сеть микротрещин уменьшается

и, наконец, исчезает. Однако при этом остаются микротрещины различного уровня развития, которые, судя по величинам динамического модуля упругости, из-за своих малых размеров не влияют на прочность.

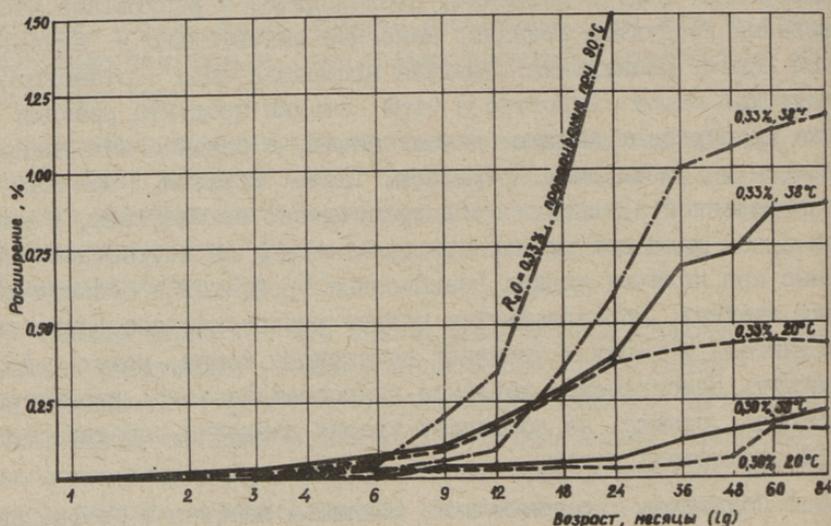
При твердении растворов во влажной среде к продуктам реакции через трещины в большом количестве попадает вода. Адсорбция воды и давление, происходящее в результате расширения продуктов реакции, наиболее значительно в начальный период увлажнения. Позднее адсорбция воды становится ничтожно малой. Вероятно в этой стадии продукты реакции уже приобретают жидкую консистенцию, в связи с чем уменьшается и расширение образцов. Таким образом, начиная с определенной влажности гели существенно не набухают, в связи с чем давление расширения практически не возрастает. Однако при наличии жидких реакционных продуктов в осмотических ячейках, образовавшихся вокруг реакционноспособного заполнителя в порах и трещинах цементного камня, может возникнуть осмотическое давление гидростатического характера, которое, однако, не достигает уровня давления, возникающего при расширении гелей.

Пользуясь описанным выше понятием опасных и безопасных гелей, можем хорошо объяснить протекание коррозии с задержкой и предотвращение коррозии при помощи активных минеральных добавок.

Коррозия с задержкой наблюдается обычно при применении цементов с малым содержанием щелочей ($R_2O \leq 0,6\%$). Как подтверждают опыты, при применении таких цементов коррозия вначале протекает безопасно, так как концентрация щелочей в присутствии реакционноспособного SiO_2 понижается довольно значительно и тонкая оболочка продуктов реакции состоит только из безопасного геля (фиг. 5). Предпосылки для образования опасного геля появляются позднее, в возрасте от 2 до 4 лет. В связи с этим достоверную оценку степени опасности коррозии можно дать лишь в результате 4-5-летних наблюдений.

Исходя из возможности протекания коррозии с задержкой, можем утверждать, что предел максимально допустимого содержания щелочей в цементе в количестве 0,5...0,6% при применении их вместе с реакционноспособным заполнителем, мало

обоснован. Уменьшение содержания щелочей даже до 0,3 % и менее не обеспечивает предотвращение коррозии, а лишь значительно увеличивает ее индукционный период (фиг.5). При тепловлажностной обработке растворов время задержки коррозии значительно сокращается.



Фиг. 5.

Линейное расширение образцов, изготовленных из портландцементов с малым содержанием щелочей ($R_2O=0,30...0,33\%$) и реакционно-способных заполнителей:

- растворы на базе заполнителя, содержащего стекло "пайрекс",
- растворы на базе заполнителя, содержащего халцедон,
- · - · - · растворы на базе заполнителя, содержащего кварцево-опаловый песчаник.

До настоящего времени наиболее эффективным способом предотвращения коррозии, вызываемой щелочами цемента, являлось добавление к цементу активных минеральных добавок, таких как трепел и др. Активная минеральная добавка содержит мельчайший реакционноспособный SiO_2 , который в начальной стадии коррозии особенно значительно уменьшает концентрацию щелочей в жидкой фазе, в связи с чем коррозия от начала до конца протекает в направлении образования безопасного геля. Однако потребное количество активной добавки сравнительно велико ($> 15\%$) и зависит не только от содержания щелочей

в цементе, но также от активности добавки (фиг. 2 и 4). Активная минеральная добавка может служить средством для предотвращения коррозии только в том случае, если скорость реакции добавки с щелочными гидроксидами превышает скорость реакции с ними реакционноспособного заполнителя.

Как уже было сказано, сланцезольный портландцемент, содержащий более 20 % летучей золы, также оказывает значительное тормозящее влияние на коррозию, вызываемую щелочами цемента (фиг. 1, 2 и 3). Это объясняется, исходя из особенностей состава сланцезольного портландцемента и кинетики расширения растворов на его основе, следующим образом.

1. Принципиально сланцезольный портландцемент относится к цементам с активными минеральными добавками. Активными компонентами в сланцезольном портландцементе являются содержащиеся в летучей золе в количестве около 30 % кислая стекловидная фаза и в количестве до 30 % нерастворимый остаток, 2/3 которого составляет мелкозернистый кварц размером зерен 0,005...0,02 мм.

2. При добавлении летучей золы в вяжущее вносится больше активного компонента, чем это необходимо для предотвращения опасного влияния содержащихся в золе растворимых щелочей. Предотвращающее влияние летучей золы тем больше, чем меньше активность реакционноспособного компонента заполнителя в сравнении с активностью пуццоланового материала летучей золы.

3. Меньшее расширение растворов на сланцезольном портландцементе объясняется также большим содержанием в них воздушных пор (до 5-6 %), которые регулируют давление расширения опасного геля.

Наряду с меньшим линейным расширением преимуществом сланцезольного портландцемента, содержащего ≥ 20 % летучей золы, в сравнении с портландцементом, является большая устойчивость к деформациям, которая обусловлена главным образом более равномерным распределением очагов расширения в растворе. Поэтому при применении сланцезольного портландцемента, содержащего ≥ 20 % летучей золы, по сравнению с портландцементом без активных минеральных добавок, в течение первого года можно допустить по меньшей мере в 1,5 раза большее линейное расширение - до 0,15 %. Кроме того, слан-

цезольный портландцемент обладает малой водопотребностью и высокой морозостойкостью, и, таким образом, сланцезольный портландцемент свободен от самых существенных недостатков цементов с активными минеральными добавками.

В ы в о д ы

1. В растворах на сланцезольном портландцементе, а также на портландцементах с высоким содержанием щелочей и заполнителях из карбонатных пород Прибалтийских республик, опасности коррозии и дедоломитизации, вызываемой щелочами цемента, не существует.

2. Граниты в начальной стадии выветривания и невыветрившиеся базальты безопасны в отношении коррозии.

3. Существуют реальные возможности применения сланцезольного портландцемента, содержащего $\geq 25\%$ летучей золы в растворах на заполнителях из вулканических пород (липарит, андезит, обсидиан, трахит), так как сланцезольный портландцемент настолько предотвращает опасное протекание коррозии, что деформаций, ведущих к разрушению не наблюдается.

4. Растворы на сланцезольном портландцементе, содержащем $> 30\%$ летучей золы, и заполнителях с высокой реакционной способностью (опал, халцедон и содержащие их породы) имеют меньшее расширение, чем растворы на портландцементе, не содержащем активных минеральных добавок, однако это не всегда обеспечивает достаточную безопасность.

5. Меньшее расширение сланцезольно-портландцементного раствора на реакционноспособном заполнителе в сравнении с расширением раствора на портландцементе объясняется особенностями состава сланцезольного портландцемента и кинетики расширения сланцезольно-портландцементного раствора.

6. Наряду с меньшим линейным расширением преимуществом сланцезольного портландцемента, содержащего $\geq 20\%$ летучей золы, в сравнении с портландцементом, является лучшая устойчивость к деформациям, которая обусловлена главным образом более равномерным распределением очагов расширения в растворе. Поэтому при применении сланцезольного портландце-

мента, содержащего $\geq 20\%$ летучей золы, можно допустить, по сравнению с портландцементом без активных минеральных добавок, в течение первого года по меньшей мере в 1,5 раза большее линейное расширение - до 0,15 %.

7. При применении в растворах на реакционноспособном заполнителе портландцемента с содержанием щелочей 0,30 - 0,43 %, который гораздо меньше общеизвестного допустимого предела ($R_2O = 0,6\%$), коррозия, вызываемая щелочами, протекает с задержкой от 2 до 4 лет. Вследствие этого о степени опасности коррозии данного вида с достаточной достоверностью можно судить лишь после 4-5-летних наблюдений. При тепловлажностной обработке растворов время задержки коррозии значительно сокращается.

K. Ojaste, V. Kikas, A. Hain

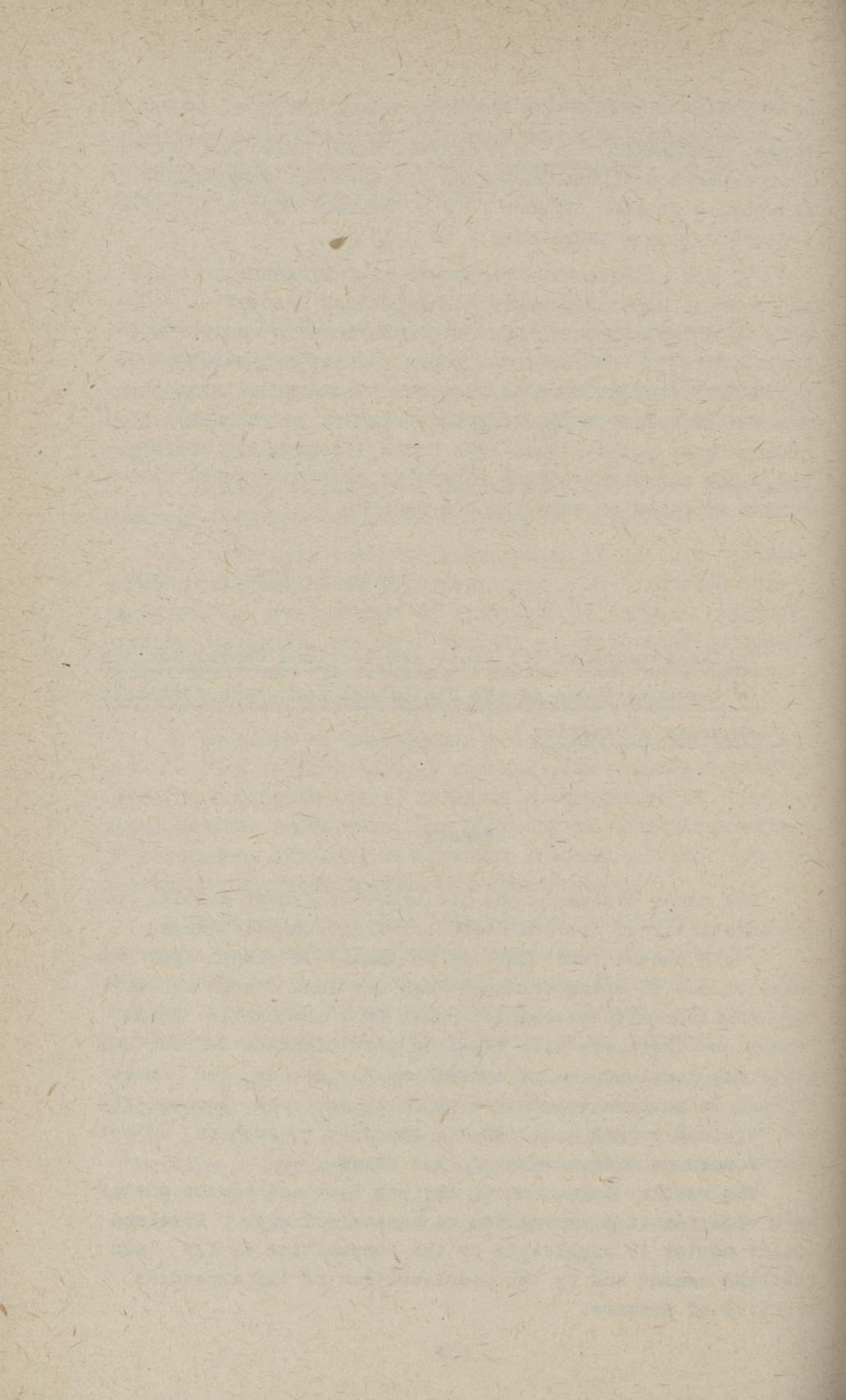
The Resistance of Oil Shale Ash Portland Cement Mortars
in the Conditions of the Reciprocal Influence of Alkali-
Aggregate Reaction

Summary

The paper discusses the influence of cement alkalis on the durability of oil-shale ash Portland cement mortars.

Tests showed that there is no danger of alkali-aggregate reaction due to using oil-shale ash Portland cement in mortars together with carbonatic rocks from the Baltic Union Republics. There are also feasible possibilities to use oil-shale ash Portland cement containing 25 per cent and more fly ash in mortars together with volcanic rocks, because fly ash Portland cement inhibits the reaction to such an extent that dangerous deformations do not arise.

The smaller expansion of fly ash Portland cement mortar made with reactive aggregates in comparison with Portland cement mortar is explicable by the composition of fly ash Portland cement and by the peculiarities of the expansion kinetics of mortars.



УДК 666.942:666.9.019.3

А.А. Хайн, К.А. Оясте,
В.Х.Кикас, Э.Ю. Пиксарв

ВЛИЯНИЕ ДОБАВЛЯЕМЫХ К ЦЕМЕНТУ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ РАСТВОРОВ

Добавляемые к цементу минеральные добавки позволяют без ущерба для марки цемента существенно изменить его свойства. Однако во многих случаях введение добавок может привести к появлению некоторых отрицательных свойств. В настоящей статье рассматривается влияние используемых в качестве добавок кварцевого песка, трепела и мельчайшей фракции летучей золы на долговечность твердевших в нормальных условиях и при пропаривании растворов при их эксплуатации в воде или во влажном воздухе.

Для изготовления цементов использовались молотые клинкера (удельная поверхность $\sim 2000 \text{ см}^2/\text{г}$) цементного завода "Пунане Кунда" с содержанием SO_3 1,70; 1,40 и 0,89 %. Минеральные добавки по одной, по две или по три вводились в цементы в основном в количестве 5–15 %. Для сравнения мельчайшая фракция летучей золы вводилась также в количестве до 30 %.

На основе указанных клинкеров было изготовлено всего 23 состава различного цемента. Из добавок кварцевый песок и трепел предварительно размалывались до удельной поверхности $2000 \text{ см}^2/\text{г}$. Мельчайшую фракцию летучей золы, имевшую содержание SO_3 и свободной извести соответственно 9,64 и 7,6 % и удельную поверхность $3600 \text{ см}^2/\text{г}$, добавляли в немолотом виде.

Смешивание и последующий помол полученного с цементного завода клинкера и добавок происходило в лабораторной шаровой мельнице. Гипс вводился в таком количестве, чтобы со-

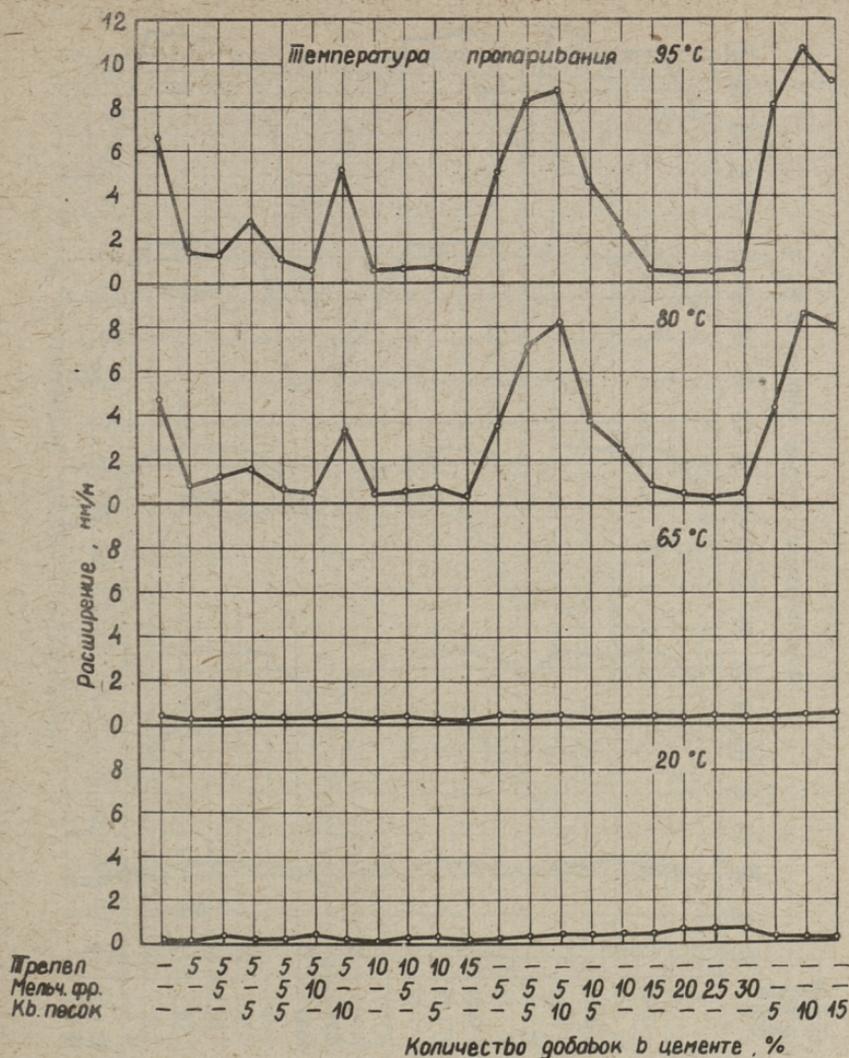
содержание SO_2 в цементе повысилось до 3,0 %. Последующий помол был такой продолжительности, при которой обычный бездобавочный порландцемент достигает удельной поверхности $\sim 3200 \text{ см}^2/\text{г}$. В зависимости от вида и количества минеральной добавки, цементы имели удельную поверхность 3200–5360 $\text{см}^2/\text{г}$. При этом особенно сильно увеличивалась удельная поверхность у цементов с добавкой 10–15 % трепела.

Испытание всех цементов проводилось на образцах из раствора, размерами 4x4x16 см. Растворы изготовлялись при одинаковом водоцементном отношении ($B/C = 0,40$) и твердели в нормальных условиях в воде или при пропаривании при 60, 80 и 95 °С. Твердение образцов после пропаривания происходило в воде и во влажном воздухе при 20 °С.

При изучении долговечности растворов за основу брались изменения объема образцов, определявшиеся измерением их линейного расширения. Для выявления происходящих в ходе объемных изменений нарушений внутренней структуры, сопровождающихся ухудшением прочностных свойств, определялся динамический модуль упругости образцов при изгибе.

Опыты показали, что поведение изделий на содержащих одну и ту же добавку цементах в разных условиях твердения существенно различается. За два года твердения в воде изготовленных при 20 °С или при пропаривании при 60 °С образцов ни на одном из испытываемых цементов не обнаруживалось чрезмерных изменений объема, которые бы приводили к нарушениям внутренней структуры и ухудшению прочностных свойств. Расширение образцов, твердевших при пропаривании при 80 и 95 °С и затем в воде, у всех испытанных цементов также либо было сравнительно невелико, либо вообще не наблюдалось и не приводило к ухудшению прочностных свойств.

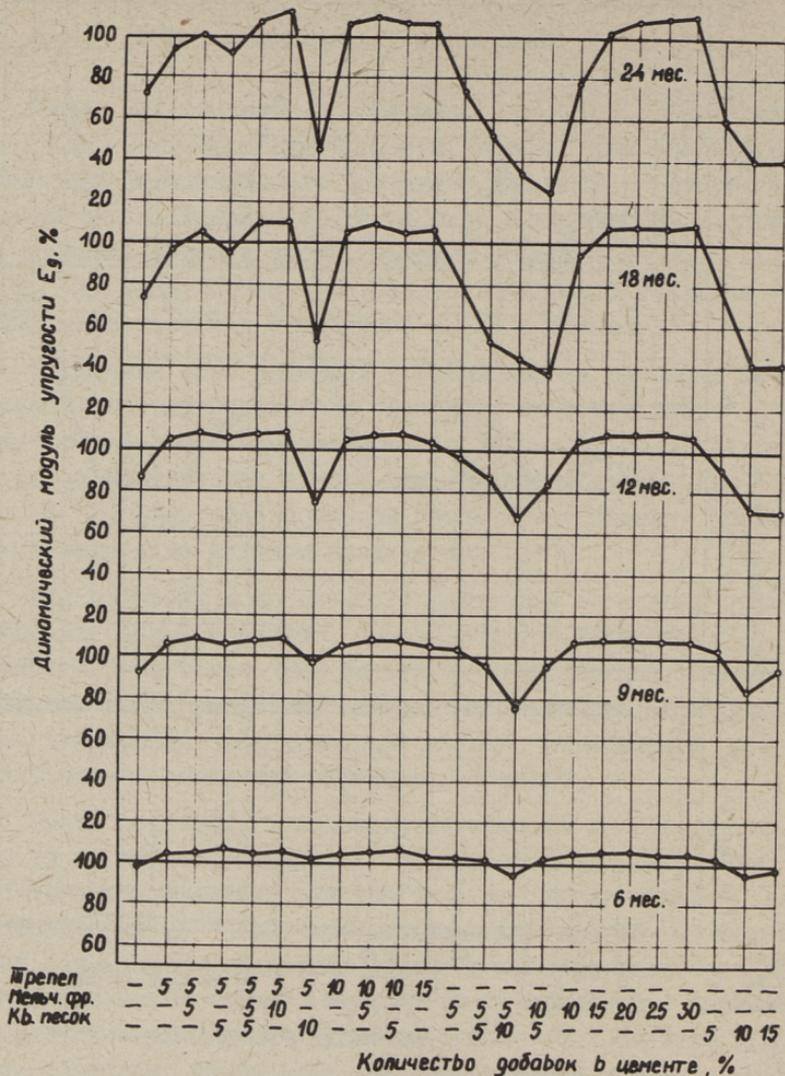
Однако существенно отличающиеся от этих результаты были получены у пропаренных при 80 и 95 °С растворов при их последующем твердении в насыщенном влагой воздухе (фиг. I). Выяснилось, что у пропаренных при 95 °С и твердевших затем в насыщенном влагой воздухе растворов, для изготовления которых использовались цементы, содержащие либо только добавку кварцевого песка, либо кварцевый песок и до 10 % мельчайшей фракции летучей золы, либо 10 % кварцевого песка и 5 % трепела, возникло существенное расширение и сопутствующее ему



Фиг. 1.

Расширение растворов, изготовленных на основе цементов с минеральными добавками и твердеющих при разных температурах. Хранение при 20 °С во влажном воздухе. Возраст образцов два года.

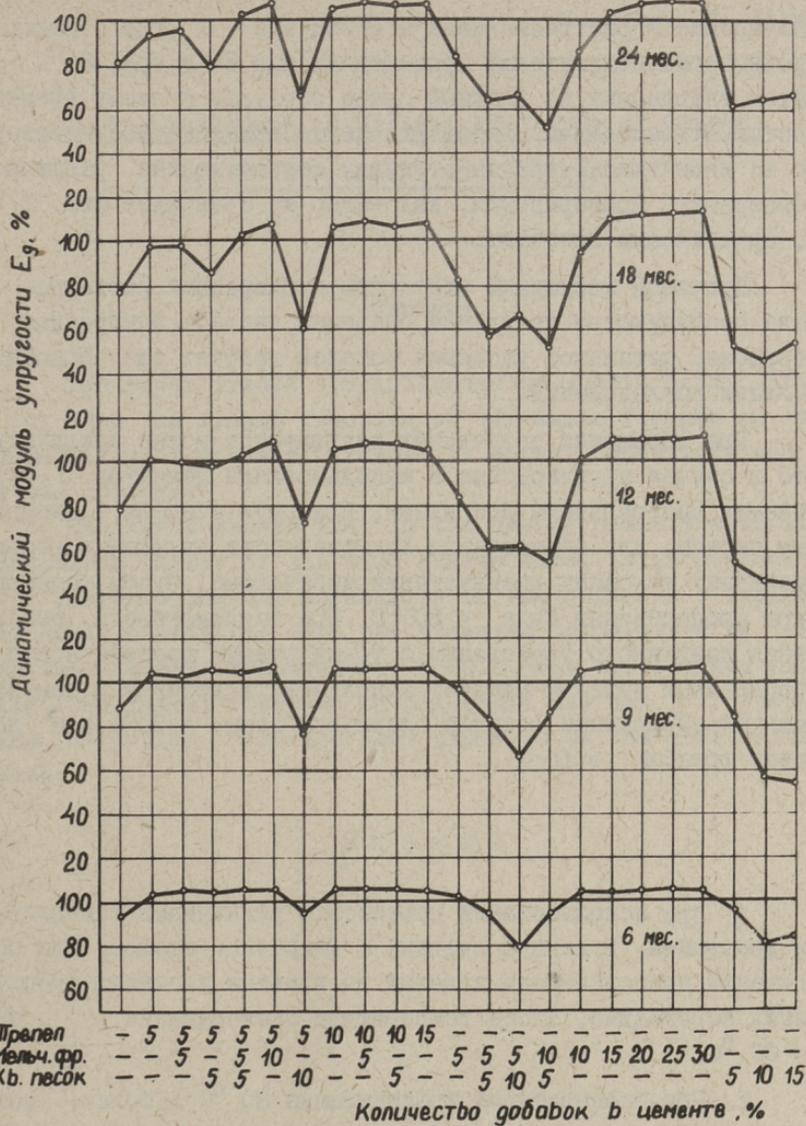
падение прочности уже в возрасте 6 месяцев (фиг. 3). У растворов на цементах с этими же добавками, пропаренных при 80 °С и затем твердевших в насыщенном влагой воздухе, аналогичный уровень расширения и обусловленного им нарушения внутренней структуры был достигнут лишь за 9 месяцев (фиг. 2). Далее расширение растворов на названных цементах еще более возросло и в случае пропаренных при 95 °С образцов



Фиг. 2.

Изменение прочностных свойств растворов, изготовленных на основе цементов с минеральными добавками и пропаренных при 80°C в ходе длительного последующего твердения при 20°C во влажном воздухе.

динамический модуль упругости в сравнении с зафиксированным в возрасте 28 суток понизился на 15–55 % (фиг. 3). Это сопровождалось образованием на образцах видимых трещин. Расширение и растрескивание пропаренных при 80°C образцов в возрасте 12 месяцев было еще сравнительно невелико и пони-



Фиг. 3.

Изменение прочностных свойств растворов, изготовленных на основе цементов с минеральными добавками и пропаренных при 95 °С в ходе длительного последующего твердения при 20 °С во влажном воздухе.

Изменение прочности, обусловленное нарушениями внутренней структуры, ни в одном случае не превысило 30%. В возрасте 1,5 лет к вышеуказанным цементам добавлялись цементы, содержащие до 10% летучей золы, 5% кварцевого песка и 5% трепела.

Расширение и растрескивание и связанное с этим снижение прочностных показателей пропаренных при 80 и при 95 °С и затем твердевших во влажной среде образцов к этому времени достигают максимума. Далее указанные показатели существенно не изменяются, причем отличия, обусловленные различием температуры пропаривания, как видно из сравнения фиг. 2 и 3, практически исчезают.

Причиной нарушений структуры пропаренных растворов в ходе последующего твердения, очевидно, явилась внутренняя коррозия, детальное уяснение которой требует еще дополнительных исследований.

При обобщении полученных результатов можно заключить, что в случае производства и использования цементов с различными минеральными добавками, в первую очередь с кварцевым песком, для обеспечения долговечности изделий в весьма различных условиях эксплуатации необходимо, чтобы температура пропаривания была < 80 °С. При невозможности выполнения названного требования с точки зрения долговечности пропаренных изделий следует использовать добавку к цементу мельчайшей фракции летучей сланцевой золы ≥ 20 % или добавку трепела ≥ 10 %.

В ы в о д ы

1. При использовании цементов с различными минеральными добавками, в первую очередь с кварцевым песком, для обеспечения долговечности изделий во влажных условиях эксплуатации необходимо, чтобы температура пропаривания была < 80 °С.

2. При температурах пропаривания 80 °С и более, которые в настоящее время преобладают в технологии производства бетонов, с точки зрения долговечности пропаренных изделий наиболее подходящими добавками к цементу являются мельчайшая фракция летучей сланцевой золы в количестве ≥ 20 % или трепел в количестве ≥ 10 %.

The Influence of Mineral Additions of Cement
on the Durability of Mortars

Summary

The paper treats the influence of quartz sand, tripolite and the finest fraction of oil-shale fly ash on the durability of mortars hardened in normal conditions and by steam curing.

The tests showed that in the use of cements with mineral additions, first of all with quartz sand, it is necessary for guaranteeing the durability of the products exploited in humid conditions that the steaming temperature be 80°C . At the steaming temperature $\approx 80^{\circ}\text{C}$ only the cements containing the finest fraction of oil-shale fly ash ≈ 20 per cent and tripolite ≈ 10 per cent prove to be the most suitable ones.

УДК 691.32:666.944.21:620.179

Р.А.Раудсеп, Г.И.Кийвет, В.Х.Кикас

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНДУКТИВНЫХ ДАТЧИКОВ ИДД-2 В
ИССЛЕДОВАНИИ ДЕФОРМАТИВНЫХ СВОЙСТВ ТЯЖЕЛОГО
БЕТОНА ПРИ ПРОПАРИВАНИИ

Качество бетонных изделий и деталей, изготовляемых методом пропаривания, зависит как от состава бетона, так и от режима обработки. Чрезмерно большие расширения и усадка материала в отдельных фазах пропаривания могут привести к дефектам или разрушению структуры бетона, образованию трещин в изделиях и снизить их прочностные свойства. Поэтому одним из показателей оптимальности выбранного состава бетона и режима пропаривания является величина деформации бетона, происходящая от изменения температуры, влажности и других факторов тепловлажностной обработки.

В лаборатории строительных материалов Таллинского политехнического института была проведена серия опытов по определению оптимального состава и режима пропаривания тяжелых бетонов на сланцезольном портландцементе по деформативным свойствам в процессе обработки [1].

Для этих целей использовался разработанный в научно-исследовательском институте строительства Эстонской ССР внутрибетонный индуктивный дифференциальный датчик деформации (ИДД-1), позволяющий измерять и деформацию, и температуру внутри бетона [2].

При проведении исследований с крупноразмерным заполнителем (щебень гранитный 5...15 мм) были несколько увеличены геометрические размеры, база измерения датчика (до 50 мм),

повышена их чувствительность и омическое сопротивление катушек приведено в соответствие со стандартным медным термометром сопротивления типа ТСМ градуировки 23 ($R_0 = 530 \text{ Ом}$) Эти датчики получили обозначение ИДД-2.

При измерении деформации и температуры бетонов использовались схемы и приборы измерения, идентичные диссертационной работе Р.А. Раудсепп [3].

Для измерения деформации каждый датчик до установки в форму тарировался на специальной тарировочной установке. Чувствительность датчика определялась как отношение показания прибора отсчета (самопишущего микроампермилливольтметра типа Н-373-2) к перемещению анкеров датчика. В процессе измерения по показателям прибора и определенной чувствительности датчика вычислялась деформация образцов.

Температура по показателям датчиков вычислялась на основании коэффициентов изменения омического сопротивления катушек датчика от температуры, определенного как среднее показаний 5 градуированных датчиков. Расхождения коэффициентов, по сравнению с практически определенным коэффициентом стандартного термометра сопротивления, не превышали 1,3 ... 2,0 % (см. таблицу I).

Т а б л и ц а I

Коэффициенты изменения омического сопротивления датчика ИДД-2 от температуры

Тип датчика	Температура °С					
	0	20	40	60	80	90
Датчик ИДД-2	1.000	0,083	1.168	1.252	1.336	1,379
Стандартный термометр сопротивления ТМС	1.000	1,065	1.148	1.231	1.313	1.354
Расхождения в %	-	+2,0	+1,4	+1,3	+1,3	+1,5

При проведении опытов использовались призмобразные образцы размером 100x100x400 мм. В центре каждой стальной формы устанавливался один датчик с помощью металлической полоски с компенсационными петлями. Датчик устанавливался таким образом, что продольные оси формы и датчика совмещались.

К стенкам формы полоски прикреплялись при помощи клямер. Опыты, проведенные в пропарочной камере (при 80 и 95 °С) примерно с 30 образцами, показали, что максимальные деформации разных бетонов при обработке колеблются в довольно широких пределах (от 2 до 4,9 мм/м). Материалы с большой максимальной деформацией имели и большую остаточную деформацию [I]. При нагреве образцов примерно до 50...55 °С происходили сравнительно малые деформации. Развитие больших максимальных деформаций сильно увеличивалось во второй половине нагрева (свыше 50 °С) и в несколько раз превышали деформации первой половины нагрева.

Сравнение величин деформации при тепловлажностной обработке различных образцов с различным составом и методом уплотнения бетона и временем их предварительного выдерживания до начала пропаривания дало возможность делать вывод об оптимальных составах и режимах обработки бетона [I].

При подъеме температуры пара температура внутри образцов несколько отставала от температуры среды пропарочной камеры. При одновременной установке в камеру пропаривания форм с незатвердевшим бетоном и уже с ранее пропаренным образцом, в последних температура внутри образца повышалась несколько быстрее. Это, по-видимому, обусловлено как более интенсивным теплообменом образца в среде пара, отделенного от формы, так и меньшей влажностью, то есть массой материала.

Во втором периоде пропаривания при изотермической выдержке, температура внутри образцов некоторое время повышалась и приобретала величину, в несколько градусов превышающую температуру пара. После установления максимальной температуры в образце начинался ее очень медленный спад.

Можно сделать вывод, что более высокая температура образца по сравнению с температурой пара при изотермическом выдерживании обусловлена экзотермическими процессами, происходящими при затвердевании бетона. Медленный спад температуры во второй половине изотермического выдерживания происходит от некоторого уменьшения интенсивности (затухания) этих процессов. Следовательно, при помощи измерения температуры внутри образцов и сравнения их с температурой сре-

ды можно свидетельствовать как о скорости теплообмена образцов, так и об интенсивности экзотермических процессов.

В течение третьего периода пропаривания, при уменьшении температуры пара (в опытах 40° в час), температура внутри образцов оставалась значительно выше температуры среды. Следовательно, остывание образцов в среде водяного пара происходит значительно медленнее чем их нагрев. Притом установлено, что образцы, подвергшиеся вторичному пропариванию, остывали сравнительно быстрее образцов, пропариваемых впервые. Это обусловлено, по-видимому, различиями массы образцов. Образцы, пропаренные ранее, потеряли часть влаги при высыхании между циклами пропаривания и аккумулировали меньше тепла. При равных условиях они остывали быстрее образцов, пропариваемых впервые.

Была установлена некоторая закономерность в том, что максимальные температуры при пропаривании в образцах бетонов на базе сланцезольного портландцемента несколько выше максимальных температур из обычных портландцементных бетонов, что свидетельствует о более интенсивных экзотермических процессах бетонов на базе сланцезольного портландцемента.

В ы в о д ы

1. Деформации и скорости изменения температуры в бетонах при пропаривании могут в опытах сравнения служить показателями эффективности и оптимальности технологических процессов и быть таким образом приняты основанием для их определения.

2. Деформация бетона при тепловлажностной обработке может быть одним из критериев в определении качества цементов и бетонов.

3. При помощи внутрибетонных индуктивных датчиков деформации типа ИДД-2 возможно измерять деформацию и температуру внутри бетонных деталей различных размеров при их пропаривании.

4. Датчик ИДД-2 позволяет продолжать исследования деформативных свойств бетона после пропаривания: при длительном хранении в постоянных нормальных тепловлажностных усло-

виях, при различных нагрузках и при определении морозостойкости материалов и т.д.

Л и т е р а т у р а

1. К и й в е т Г.И., К и к а с В.Х., Р а у д с е п п Р.А. О деформациях тяжелого бетона на сланцевольном порландцементе при пропаривании в зависимости от состава золы в цементе. - "Тр. Таллинск. политехн. ин-та", 1972, № 335.

2. Р а у д с е п п Р.А. Об измерениях деформаций бетона индуктивными датчиками. - В сб. Исследования по строительству, IX. НИИ строительства Госстроя ЭССР, Таллин, 1968.

3. Р а у д с е п п Р.А. Возможности измерения деформаций в бетоне при автоклавной обработке. - Автореферат, Таллинский политехнический институт, Таллин, 1968.

R. Raudsepp, G. Kiivet, V. Kikas

Using Inductive Sensors Type IDD-2 in the Investigation of the Deforming Properties of Heavy Concrete in Steam

Treatment

Summary

The paper presents an analysis of the deformation and temperature changes of concretes on the basis of oil-shale ash Portland cement with the help of inductive differential deformation sensors type IDD-2 within concrete.

The IDD-2 type sensors allow to simultaneously measure the deformation of concrete bodies or details and determine the temperature within concrete at the point of installing the sensor on the principle of a resistance thermometer. Ohmic resistance of the coils of the sensor corresponds to the technical data of a copper resistance thermometer type TSM graduation 23 ($R_0 = 53 \Omega$).

The dynamics of the deformation and temperature changes within concrete in processing makes it possible to determine the optimum regime for steam treatment of concrete details on the basis of oil shale ash Portland cements.

The IDD-2 sensors enable to proceed the investigation of the intrinsic deformation and temperature of concretes after the hydrothermic treatment of specimens and details.

СБОРНИК ТРУДОВ ПО ИЗУЧЕНИЮ ЗОЛЫ
СЛАНЦА-КУКЕРСИТА

УП

УДК 666.942

Свойства портландцементов с минеральными добавками. Кикас В.Х., Хайн А.А., Оясте К.А., Турецкий А.М., Лаул И.А. "Труды Таллинского политехнического института", 1975, № 388, с.3-14

В статье рассматривается влияние различных минеральных добавок (трепел, кварцевый песок, мельчайшая фракция летучей золы) на активность цемента в растворах и бетонах при твердении в нормальных условиях и при пропаривании.

В результате опытов выяснилось, что в растворах наибольшую активность показали цементы с добавкой трепела, а наименьшую - цементы с добавкой кварцевого песка. Из комбинаций добавок наилучшей оказалась 5 % трепела и 5 % мельчайшей фракции летучей золы.

Из цементов с добавками при использовании в бетонах наиболее предпочтителен портландцемент, содержащий $\geq 20\%$ мельчайшей фракции летучей золы.

Использование в бетонах цементов, содержащих трепел и кварцевый песок нецелесообразно ввиду их большой водопотребности и сопутствующему этому падению прочности на сжатие.

Таблиц 4, фигур 2.

УДК 666.94:665.45

Среднемарочный сланцезольный цемент с микро-
наполнителями. Лаул И.А., Кикас В.Х., Хайн А.А.
"Труды Таллинского политехнического института",
1975, № 388, с. 15-23.

В статье рассматриваются вяжущие, полученные совместным помолом 30 % портландцементного клинкера, 0-70 % летучей золы сланца-кукерсита и 70-0 % кварцевого песка. На основе исследования разработан следующий оптимальный состав среднемарочного сланцезольного цемента:

портландцементный клинкер	25-35 %
мелкая или мельчайшая фракция летучей золы	30-40 %
кварцевый песок или известняк	30-40 %

Таблиц 2, фигур 6.

УДК 691.327:691.322

Влияние свойств мелкого заполнителя на прочность
бетона. Хайн А.А., Оясте К.А., Кикас В.Х., Лаул И.А.
"Труды Таллинского политехнического института",
1975, № 388, с. 25-35.

Оценка качества используемого в растворах и бетонах песка по графику зернового состава и модулю крупности недостаточно объективна, так как эти показатели характеризуют лишь зерновой состав песка. Геометрию зерен песка, от которой зависит характер сцепления цементного камня с заполнителем, можно учесть при помощи коэффициента формы зерен песка, являющегося отношением среднего числа выступов одного зерна и среднего радиуса кривизны выступов.

Одновременно комплексное влияние гранулометрического состава и геометрии зерен песка на прочностные свойства растворов и бетонов можно оценить по модулю качества песка, являющемуся произведением модуля крупности и коэффициента

формы зерен. Чем выше модуль качества песка, тем больше прочность на сжатие раствора и бетона.

По модулю качества из песков, используемых в Эстонии в бетонах, лучшим является песок из Мяннику (Таллин).

Таблиц 3, фигур 4, библиограф. наименований 2.

УДК 691.316

Исследование условий получения качественного
сланцевольно-песчаного автоклавного бетона.

Грабко С.И., Кикас В.Х. "Труды Таллинского политехнического института", 1975, № 388, с.37-44

В статье приводятся данные, характеризующие изменение фазового состава сланцевольно-песчаных бетонов в зависимости от расхода вяжущего и удельной поверхности песка-заполнителя. Показано, что получение качественного бетона, обладающего оптимальным сочетанием прочности и стойкости, обеспечивается при наличии в цементирующей связке бетона помимо низкоосновных гидросиликатов кальция около 50 % первичных новообразований - элестадита и гидрограната.

Таблиц 1, фигур 1, библиограф. наименований 5.

УДК 666.973.6.017:620.17

Исследование физико-механических свойств сланце-
вольного газобетона. Лаур Т.А. "Труды Таллинского политехнического института", 1975, № 388, с.45-56

В статье приводятся результаты исследования стойкости сланцевольного газобетона, изготовленного в лабораторных и промышленных условиях на Ахтмеском КСМ. Приводятся данные по влиянию состава золосанчаной смеси на некоторые показатели, характеризующие стойкость газобетона, а также данные по изменению прочности на сжатие при длительном хранении образцов.

Сланцевольный газобетон имеет большую стойкость при использовании более крупных фракций летучей золы (более бо-

гаты содержанием $\text{CaO}_{\text{св}}$), что позволяет повысить относительное количество песка в составе.

В течение 7-8 лет прочность на сжатие сланцезольного газобетона понизилась на 20 % от начальной прочности на сжатие.

Таблиц 7, фигур 2, библиограф. наименований 9.

УДК 666.9.019.3

Изучение морозостойкости цементных тротуарных плит. Лаул И.А., Кикас В.Х., Хайн А.А. "Труды Таллинского политехнического института", 1975, № 388, с. 57-61

В статье приводятся результаты исследования морозостойкости тротуарных плит, изготовленных на заводе "Ээсти Доломийт", и тротуарных плит после длительной эксплуатации в тротуарах города Таллина. Из результатов опытов выяснилось, что вырезанные из тротуарных плит образцы при насыщении 5-процентным раствором поваренной соли имели в 3-6 раз меньшую морозостойкость, чем образцы, насыщенные питьевой водой.

УДУ 666.9.019.3

Возможности получения морозо- и солестойких бетонных тротуарных плит. Кикас В.Х., Лаул И.А., Хайн А.А. "Труды Таллинского политехнического института", 1975, № 388, с. 63-70

В статье показывается положительное влияние поверхностно-активных добавок на морозостойкость песчаных бетонов жестких и пластичных консистенций.

Из результатов испытаний опытных тротуарных плит заводского изготовления выяснилась возможность получения в производственных условиях тротуарных плит высокой морозо- и солестойкости, если используются поверхностно-активные вещества и плиты твердеют в нормальных условиях.

Таблиц 4, библиограф. наименований 1.

УДК 666.942:666.9.015.42

Влияние щелочей на долговечность пропаренного портландцемента. Пиксарв Э.Ю., Кикас В.Х., Хайн А.А. Нурм В.Э. "Труды Таллинского политехнического института", 1975, № 388, с. 71-78

В статье рассматривается влияние содержания щелочных окислов и содержания SO_3 в цементе на стойкость пропаренных бетонов в воде и во влажном воздухе. Выяснилось, что при высоком содержании щелочей в цементе (1,5-3 % K_2O) пропаренные при температуре 80-90 °С бетоны в послепропарочный период сильно расширяются и растрескиваются. Высокое содержание SO_3 и высокая влажность среды способствуют коррозии бетона.

Фигур 5.

УДК 666.944.21:620.019.3

Влияние содержания щелочей цемента на стойкость пропаренного бетона в сульфатных растворах. Пиксарв Э.Ю., Кикас В.Х., Раадо Л.В. "Труды Таллинского политехнического института", 1975, № 388, с. 79-85

Рассматривается стойкость пропаренных бетонов в воде и в растворах сульфата натрия и магния в зависимости от содержания в цементе щелочных окислов и мельчайшей фракции летучей золы пылевидного сжигания сланца-кукерсита. В результате опытов выяснилось, что стойкость пропаренных песчаных бетонов в сульфатных растворах с указанием содержания щелочей в цементе снижается. Добавка к цементу мельчайшей фракции летучей золы повышает стойкость бетона в сульфатных растворах.

Фигур 4, библиограф.наименований 4.

УДК 666.944.21:620.019.3

Растворимость и коррозионная стойкость цементов при разных режимах твердения. Раадо Л.В., Пиксарв Э.Ю., Кикас В.Х. "Труды Таллинского политехнического института", 1975, № 388, с. 87-96.

Рассматривается сравнительная коррозионная стойкость сланцезольного портландцемента и обыкновенного портландцемента в условиях коррозии выщелачивания. Изучается влияние режима твердения цементов на их стойкость к выщелачиванию в дистиллированной воде и в слабокислотной воде ($\text{pH} = 4,5 \text{ CH}_3\text{COOH}$).

Таблиц 2, фигур 4, библиограф. наименований 3.

УДК 666.944.21:666.9.015.42.001.5

О стойкости сланцезольно-портландцементных растворов при взаимодействии щелочей цемента с заполнителями. Оясте К.А., Кикас В.Х., Хайн А.А. "Труды Таллинского политехнического института", 1975, № 388, с.97-107.

В статье рассматривается проблема влияния щелочей на долговечность сланцезольно-портландцементных изделий.

Из результатов опытов выяснилось, что в растворах на сланцезольном портландцементе и заполнителях из карбонатных пород Прибалтийских республик опасности коррозии и дедоломитизации, вызываемой щелочами цемента, не существует. Для применения сланцезольного портландцемента, содержащего $\geq 25\%$ летучей золы, имеются также реальные возможности в растворах на заполнителях из вулканических пород (липарит, андезит, обсидиан, трахит), так как сланцезольный портландцемент настолько предотвращает опасное протекание коррозии, что деформаций, ведущих к разделению, не наблюдается. Растворы на сланцезольном портландцементе, содержащем $> 30\%$ летучей золы, и заполнителях с высокой реакционной способностью (опал, халцедон и содержащие их породы) имеют меньшее расширение, чем растворы на портландцементе, не содержащем ак-

тивных минеральных добавок, однако это не всегда обеспечивает достаточную их стойкость.

Меньшее расширение сланцезольно-портландцементного раствора на реакционноспособном заполнителе в сравнении с расширением раствора на портландцементе объясняется особенностями состава сланцезольного портландцемента и кинетики расширения сланцезольно-портландцементного раствора.

Фигур 5.

УДК 666.942:666.9.019.3

Влияние добавляемых к цементу минеральных добавок на долговечность растворов. Хайн А.А., Оясте К.А., Кикас В.Х., Пиксарв Э.Ю. "Труды Таллинского политехнического института", 1975, № 388, с. 109-115.

В статье рассматривается влияние кварцевого песка, трепела и мельчайшей фракции летучей золы на долговечность твердевших в нормальных условиях и при пропаривании растворов при их эксплуатации в воде или во влажном воздухе.

Опыты показали, что при использовании цементов с минеральными добавками, в первую очередь с кварцевым песком, для обеспечения долговечности изделий во влажных условиях эксплуатации необходимо, чтобы температура пропаривания была $< 80^{\circ}\text{C}$. При температурах пропаривания $\geq 80^{\circ}\text{C}$ наиболее подходящими добавками к цементу являются мельчайшая фракция летучей сланцевой золы в количестве $\geq 20\%$ или трепел в количестве $\geq 10\%$.

Фигур 3.

Использование индуктивных датчиков ИДД-2 в исследовании деформативных свойств тяжелого бетона при пропаривании. Раудсепп Р.А., Кийвет Г.И., Кикас В.Х.
"Труды Таллинского политехнического института",
1975, № 388, с. 117-122.

В статье рассматриваются практические результаты исследований деформативных свойств и температуры бетонов на сланцезольном портландцементе при пропаривании с помощью внутрибетонных индуктивных дифференциальных датчиков деформации ИДД-2.

Датчики ИДД-2 позволяют одновременно с измерением деформации бетонных образцов или деталей измерять и температуру внутри бетона в точке установления датчика по принципу термометра сопротивления. Омическое сопротивление катушек датчика примерно соответствует техническим данным медного термометра сопротивления типа градуировки 23 ($R_0 = 53 \text{ Ом}$).

Динамика деформации и температурных изменений внутри бетона при обработке позволили определить оптимальные режимы пропаривания бетонных изделий на базе сланцезольных портландцементов.

Датчики ИДД-2 позволяют продолжать исследование внутренней деформации и температуры бетонов также после тепло-влажностной обработки образцов и деталей.

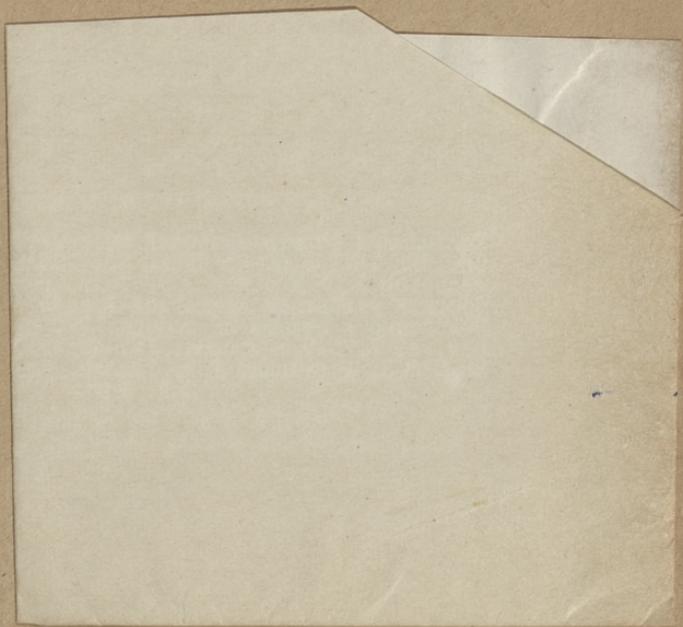
Таблиц 1, библиограф. наименований 3.

С о д е р ж а н и е

I.	В.Х.Кикас, А.А.Хайн, К.А.Оясте, А.М.Турецкий, И.А.Лаул. Свойства портландцементов с минеральными добавками.	3
2.	И.А.Лаул, В.Х.Кикас, А.А.Хайн. Среднемарочный сланцезольный цемент с микронаполнителями . . .	15
3.	А.А.Хайн, К.А.Оясте, В.Х.Кикас, И.А.Лаул. Влияние свойств мелкого заполнителя на прочность бетона.	25
4.	С.И.Грабко, В.Х.Кикас. Исследование условий получения качественного сланцезольно-песчаного автоклавного бетона.	37
5.	Т.А.Лаур. Исследование физико-механических свойств сланцезольного газобетона.	45
6.	И.А.Лаул, В.Х.Кикас, А.А.Хайн. Изучение морозостойкости цементобетонных тротуарных плит. . .	57
7.	В.Х.Кикас, И.А.Лаул, А.А.Хайн. Возможности получения морозо- и солестойких бетонных тротуарных плит.	63
8.	Э.Ю.Пиксарв, В.Х.Кикас, А.А.Хайн, В.Э.Нурм. Влияние щелочей на долговечность пропаренного портландцемента.	71
9.	Э.Ю.Пиксарв, В.Х.Кикас, Л.В.Раадо. Влияние содержания щелочей цемента на стройкость пропаренного бетона в сульфатных растворах . . .	79
10.	Л.В.Раадо, Э.Ю.Пиксарв, В.Х.Кикас. Растворимость и коррозионная стойкость цементов при разных режимах твердения.	87
II.	К.А.Оясте, В.Х.Кикас, А.А.Хайн. О стойкости сланцезольно-портландцементных растворов при взаимодействии щелочей цемента с заполнителями	97
12.	А.А.Хайн, К.А.Оясте, В.Х.Кикас, Э.Ю.Пиксарв. Влияние добавляемых к цементу минеральных добавок на долговечность растворов.	109
13.	Р.А.Раудсепп, Г.И.Кийвет, В.Х.Кикас. Использование индуктивных датчиков ИДД-2 в исследовании деформативных свойств тяжелого бетона при пропаривании	117

Таллинский политехнический институт. Труды ТПИ № 388.
СБОРНИК ТРУДОВ ПО ИЗУЧЕНИЮ ЗОЛЫ СЛАНЦА-КУКЕРСИТА УП.
Редактор Э. У у с т а л у. Техн. ред. Л. Л о о п е р.
Сборник утвержден коллегией Трудов ТПИ 8 мая 1975 г.
Подписано к печати 20 ноября 1975 г. Бумага 60x90/16.
Печ. л. 7,75+0,5 прилож. Уч.-изд. л. 6,0. Тираж 350.
МВ-07863. Ротапринт ТПИ, Таллин, ул. Коскла, 2/9.
Зак. № 812

Ц е н а 60 к о п.



Цена 60 коп.