

# Влияние технологических факторов на проницаемость вибропрессованного бетона

Э.И. БАТЯНОВСКИЙ, доктор техн. наук, профессор; А.И. БОНДАРОВИЧ, инженер; П.В. РЯБЧИКОВ, инженер, Белорусский национальный технический университет, г. Минск

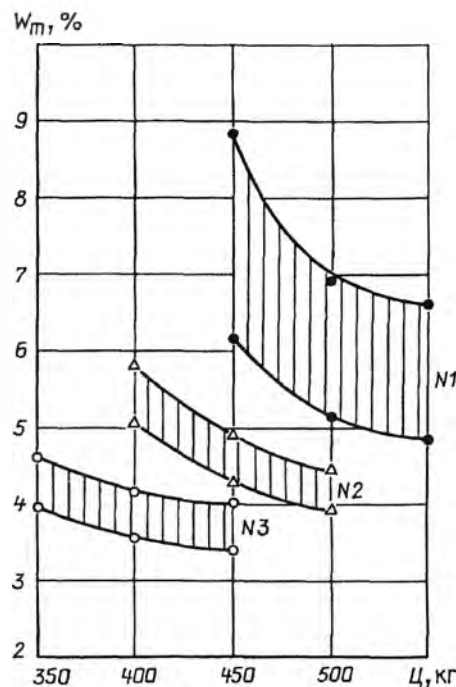
## Часть 2

**Излагаются результаты исследований влияния ряда технологических факторов: вида тяжелого бетона (с мелким и крупным заполнителем), состава, степени уплотнения, условий твердения и других на водопоглощение, водонепроницаемость и коэффициент фильтрации вибропрессованного цементного бетона применительно к производству тротуарных плит и бортового камня.**

*Влияние расхода цемента и удобоукладываемости.* На рисунке 3 показана тенденция изменения водопоглощения по массе образцов мелкозернистого бетона и бетона с обычным (фр. 5–10 мм) щебнем и щебнем кубовидной формы той же фракции в возрасте 28 сут. (кроме пропаренных – определено сразу) в зависимости от содержания цемента. На рисунке 3 для всех заполнителей (№1–№3) верхняя границная линия – значения водопоглощения по массе  $W_m$ , определенные сразу после пропаривания, а нижняя – после 28 сут. твердения в нормально-влажностных условиях.

Для образцов мелкозернистого бетона изменяли содержание цемента при сохранении постоянным водоцементного отношения и условий формирования образцов. Расход песка (заславльский, мытый) соответственно изменяли: П – 1687, 1600 и 1513 кг на 1 м<sup>3</sup> бетона, сохраняя примерно неизменным объем выхода последнего.

При изготовлении образцов бетона со щебнем использовали песок крапужинского карьера и подход к формированию образцов был несколько иным. Сохраняли близким к постоянному уровень жесткости «внутри» серии образцов на одном виде щебня, изменяя В/Ц бетона: для обычного щебня: 0,38–0,4 и для кубовидного щебня: 0,36–0,38; при больших значениях В/Ц для бетонных смесей с минимальным расходом цемента (соответственно, 400 и 350 кг). При этом показатель жесткости бетонных смесей на обычном щебне принимался 20–25 с, а на кубовидном (при прочих равных условиях) – примерно 15 с, что отражает положительное влияние на формуемость бетонной смеси формы зерен крупного заполнителя, близкой к кубообразной, и снижения количества лещадных зерен в нем.



№1 – мелкозернистый бетон;  
 №2 – бетон с обычным щебнем фракций 5–10 мм;  
 №3 – бетон с кубовидным щебнем  
 Рис. 3. Тенденция изменения водопоглощения бетона по массе в зависимости от содержания цемента

Данные, относящиеся к величине водопоглощения образцов мелкозернистого бетона свидетельствуют, что снижение расхода цемента от 500 кг на 1 м<sup>3</sup> бетона (при сохранении В/Ц ~ 0,33) сопровождается более существенным влиянием на плотность укладки твердой фазы при формировании, чем равное повышение его содержания в смеси. Это в основном связано с изменением объема цементного теста и, соответственно, прослойки его между частицами твердой фазы, обеспечивающей «раздвижку» зерен заполнителя при формировании. Ее «утонение» сопровождается ростом коэффициента трения при перемещении зерен твердой фазы, сопровождающих уплотнение жесткой бетонной смеси, и обратным эффектом в случае повышения содержания цементного теста в смеси. Вследствие этого ухудшаются или, наоборот, улучшаются формовочные свойства бетонной смеси и, при прочих равных условиях, снижается или повышается плот-

ность ее укладки. В рассмотренных примерах с мелкозернистым бетоном показатель жесткости смеси изменился от 20–25 с (при содержании Ц = 500 кг), возрастая со снижением расхода цемента (450 кг), до 30–35 с, уменьшаясь до 15–20 с при повышении содержания цемента до 550 кг.

Данные, относящиеся к образцам бетона с крупным заполнителем, согласуются с отмеченной тенденцией зависимости от содержания цемента (точнее, объема цементного камня) и его влияния на качество уплотнения смеси. Вместе с тем очевидно, что с превышением содержания цемента в мелкозернистом бетоне (более 500 кг), в бетоне с обычным щебнем (более 450 кг) и кубовидным щебнем (более 400 кг), темп понижения величин  $W_m$  замедляется. Это означает, что прирост плотности укладки зерен твердой фазы при формировании бетона и снижение его пористости за счет повышения удобоукладываемости смеси с ростом содержания цемента, начинает «компенсироваться» ростом общего объема пор бетона из-за увеличения в нем объема цементного камня, то есть наиболее пористой составляющей. Из этого следует, что превышение расхода цемента в бетоне над оптимальным его содержанием по условиям (интенсивности) формирования может способствовать снижению долговечности бетона. Кроме отмеченного очевидна роль крупного заполнителя и, особенно щебня кубовидной формы, в повышении плотности бетона и его непроницаемости, оцениваемой по водопоглощению.

Анализ ранее изложенных данных показывает, что при соблюдении состава бетона, режима его уплотнения при формировании изделий, основное влияние на формирование пористости и проницаемости бетона оказывают условия его твердения. Изготовление элементов благоустройства методом вибропрессования характеризуется одновременно как разнообразием формирующих установок (от простейших до высокотехнологичных производств), так и существенно отличающимися режимами и условиями твердения бетона. При известных общих тенденциях влияния условий твердения на качество бетона данные о сравнительном анализе их разрозненны, а иногда

Таблица 4. Влияние условий твердения на водонепроницаемость бетона

Вид бетона	Условия твердения бетона	Наибольшее давление воды, МПа	Марка бетона по водонепроницаемости	Относительное изменение водонепроницаемости, %
Мелкозернистый	Нормально-влажные	0,9	W8	100
	Воздушно-сухие	0,5	W4	56
	Естественные (под пленкой)	0,9	W8	100
	После пропаривания	0,7	W6	78
Собычным щебнем	Нормально-влажные	1,1	W10	100
	Воздушно-сухие	0,5-0,6	W4	-60
	Естественные (под пленкой)	1,1	W10	100
	После пропаривания	0,7-0,8	W6	-80
С кубовидным щебнем	Нормально-влажные	Более 1,1	Более W10	100-120
	После пропаривания	0,8	W6-W8	-80

противоречивы. С учетом этого была выполнена проверка изменений важнейших характеристик бетона – водонепроницаемости и коэффициента фильтрации – в зависимости от условий его твердения.

**Водонепроницаемость.** Испытания осуществляли в соответствии с положениями ГОСТ 12730.0 и ГОСТ 12730.5. Образцы бетона (каждая серия – 6 шт., размеры цилиндра  $d/h = 150/150$  мм) после твердения в нормально-влажных, воздушно-сухих, естественных (под пленкой) условиях в течение 28 сут, а пропаренные – через 1 сут. после изготовления были подвергнуты испытаниям.

Образцы из мелкозернистого бетона ( $\rho_{cc} = 500$  кг); со щебнем (обычным и кубовидной формы,  $\rho_{cc} = 450$  кг и  $\rho_{cc} = 400$  кг) уплотняли до  $\rho_{cc} \sim 2250; 2350$  и  $2400$  кг/м<sup>3</sup>, соответственно.

Результаты испытаний (при значении максимального давления, при котором на четырех из шести образцов серии не наблюдалось просачивания воды) представлены в таблице 4. Несмотря на то, что ныне действующие требования к бетону тротуарных плит и бордюрных камней не включают показатель водонепроницаемости, полученные данные показательны, т.к. они полностью соотносятся с ранее приведенными данными по водопоглощению бетона, в зависимости от условий его твердения, подтверждают их. По существу, данные по водонепроницаемости характеризуют соотношение объемов открытой капиллярной пористости бетона и являются сравнительной характеристикой «эффективного» (усредненно-го) диаметра пор цементного камня в бетоне, формирующихся под влиянием среды и условий твердения, поскольку «прочие условия» были приняты одинаковыми.

Очевидно, что рост качества уплотнения бетона, снижение объема цементного камня (т.е. проницаемой составляющей) при

наличии крупного заполнителя существенно сказываются на его водонепроницаемости для одинаковых условий твердения образцов.

Водонепроницаемость является важной характеристикой, позволяющей судить о вероятной проницаемости бетона. Однако она не позволяет количественно оценить фильтрационные свойства бетона, от которых зависит его морозо- и коррозионная стойкость. Поэтому важно определить проницаемость бетона по коэффициенту фильтрации воды  $K_{ф}$ . Особенно, как сравнительную характеристику образцов бетона различного состава и твердевших в различных условиях, с целью получения в дальнейшем соответствующих зависимостей для оценки изменения при этом его проницаемости.

**Коэффициент фильтрации** воды определяли по методике ГОСТ 12730.5 на образцах мелкозернистого бетона базового состава (при средней плотности свежееотформованного бетона  $\rho_{cc} \sim 2250$  кг/м<sup>3</sup>) и на образцах бетона с обычным и кубовидным щебнем ( $\rho_{cc} \sim 2350$  и  $2400$  кг/м<sup>3</sup> соответственно) ранее приведенных составов.

Давление воды при испытаниях увеличивали ступенями по 0,2 МПа с выдержкой в течение 1 ч. После появления фильтрата определяли его расход ( $Q$ , см<sup>3</sup>), как среднее значение пяти наибольших замеров (при разнице расхода воды между замерами не более 20%) на каждом образце (при трех образцах в серии).

Значения коэффициента фильтрации, рассчитанные по соответствующей формуле стандарта на основании величин  $Q$  (расхода фильтрата), для образцов диаметром  $\sim 80$  мм (поправочный коэффициент  $K = 2,8$ ) и высотой 50 мм, соответствуют области допустимых по ГОСТ 12730.5 (поз. 3, таблица 6) значений для W8; W10 (нормально-влажные условия твердения и «под пленкой»), W6 (после пропаривания) и W4 для воздушно-сухих условий твердения.

Данные таблицы 5 подтверждают ранее выявленные закономерности взаимосвязи и взаимозависимости качества структуры бетона (как мелкозернистого, так и с крупным заполнителем) от условий его твердения, определяющих (при прочих равных условиях) проницаемость (или непроницаемость) материала, отраженную в величинах коэффициента фильтрации. Приведенные в таблице 5 данные размерности с порядком  $10^{-10}$  свидетельствуют об очень большой разнице в величинах коэффициентов фильтрации бетона, твердевшего в благоприятных условиях, в сравнении с твердевшим в воздушно-сухих условиях (рост  $K_{ф}$  в 6–15 раз), а также с образцами, испытанными сразу после пропаривания. В последнем случае структура бетона находится в стадии активного формирования, что подтверждается относительно небольшим количеством химически связанной воды и степенью гидратации цемента (см. таблицу 2)  $\alpha \approx 55-56\%$ . В этой связи после пропаривания рационален прием последу-

Таблица 5. Влияние условий твердения бетона на коэффициент фильтрации воды

Вид бетона	Условия твердения бетона	Давление измерения $P_{изм}$ , МПа	Средний расход воды по массе, г, за $\tau$ , с	Расчетный коэффициент фильтрации воды $K_{ф}$ , см/с
Мелкозернистый	Нормально-влажные	0,6	1,4	$5,3 \cdot 10^{-10}$
	Воздушно-сухие	0,3	4,2	$32 \cdot 10^{-10}$
	Естественные (под пленкой)	0,6	1,28	$4,9 \cdot 10^{-10}$
	После пропаривания	0,5	3,0	$15,7 \cdot 10^{-10}$
Собычным щебнем	Нормально-влажные	0,8	0,35	$1,0 \cdot 10^{-10}$
	Воздушно-сухие	0,5	4,8	$22 \cdot 10^{-10}$
	Естественные (под пленкой)	0,8	0,28	$0,81 \cdot 10^{-10}$
	После пропаривания	0,6	2,9	$11 \cdot 10^{-10}$
С кубовидным щебнем	Нормально-влажные	1,0	0,39	$0,9 \cdot 10^{-10}$
	После пропаривания	0,6	2,37	$9 \cdot 10^{-10}$



ющего созревания бетона, например, путем пакетирования изделий в полиэтиленовую упаковку.

### Заключение

1. Результаты исследований позволили выявить влияние разнообразных технологических факторов на формирование структуры цементного камня вибропрессованного бетона, его пористости и проницаемости, что обеспечивает возможность повышения качества и долговечности изделий, изготавливаемых вибропрессованием.

2. Выявлена необходимость изменения положения [15] (введено изменением № 3 к стандарту) в части перевода методов определения водопоглощения бетона из приемо-сдаточных испытаний в периодические испытания из-за погрешности определения данной характеристики бетона как в раннем возрасте при разных вариантах твердения без прогрева, так и сразу после пропаривания.

3. Показана недопустимость воздушно-сухих условий твердения вибропрессованного бетона, в результате которых существенно снижается его плотность и растет проницаемость, предопределяющие сни-

жение долговечности вибропрессованных изделий.

4. Полученные и приведенные экспериментальные данные о зависимости фильтрационной проницаемости вибропрессованного бетона от технологических факторов требуют выполнения дополнительных исследований по солестойкости и морозостойкости вибропрессованного бетона с целью выявления соответствующих закономерностей, которые могут позволить оценивать и прогнозировать эксплуатационную долговечность вибропрессованных изделий, включая контроль за покрытиями из них в процессе эксплуатации.

### Библиографический список:

- Ахвердов И.Н. *Высокопрочный бетон*. М.: Госстройиздат, 1961. 163 с.
- Ахвердов И.Н. *Основы физики бетона*. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.
- Стольников В.В. *Исследования по гидротехническому бетону*. М.: Л.: Госэнергоиздат, 1953. 330 с.
- Мощанский Н.А. *Повышение стойкости строительных материалов и конструкций, работающих в условиях агрессивных сред*. М.: Госстандарт, 1962. 235 с.
- Лыков А.В. *Тепло- и массообмен в процессах сушки*. М., Л.: Госэнергоиздат, 1956. 464 с.
- Шейнин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. *Структура и свойства цементных бетонов*. М.: Стройиздат, 1979. 344 с.
- Горчаков Г.И., Капкин М.М., Скрамтаев Б.Г. *Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений*. М.: Стройиздат, 1965. 195 с.
- Ахвердов И.Н., Каплан Э.Л. *Механизм упрочнения бетона при его раннем замораживании* / ДАН БССР. Мн., 1967. Т. 11, № 8. С. 688-691.
- Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Овчаренко Ф.Д. и др. *Вода в дисперсных системах* / М.: Химия, 1989. 288 с.
- Бриджмен П.В. *Новейшие работы в области высоких давлений*. М.: Госиздат, 1948. С. 98, 110-112.
- Цытович П.А. *Основания и фундаменты на мерзлых грунтах*. М.: Изд. АН СССР, 1958. 168 с.
- Зацепина Г.Н. *Свойства и структура воды*. М.: Изд. Московского университета, 1974. С. 48-80.
- Батыновский Э.И. *Особоплотный бетон сухого формования*. М.: НИ ООО «Стринко», 2002. С. 103-112.





**2-5 ФЕВРАЛЯ  
2010**

■ Windows, Glass & Facades  
Окна, стекло и фасады

■ Building Materials & Equipment  
Строительные материалы и оборудование

■ Hardware & Tools  
Инструменты и крепеж

■ Gates & Automation  
Ворота и автоматика

# СТРОЙСИБ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФОРУМ

**16-19 ФЕВРАЛЯ  
2010**

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



ОДОБРЕНО



■ SibInteriors  
Интерьер. Отделка

■ Plumbing & Heat\* Vent  
Инженерное оборудование

■ Building Automation Systems  
Системы автоматизации зданий

■ CersanexSiberia  
Керамика. Сантехника

■ Build Electric  
Электрика

■ StonexSiberia  
Натуральный и искусственный камень

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПОНСОРЫ



ITE СИБИРСКАЯ ЯРМАРКА. Россия, 630049, Новосибирск, Красный пр-т, 220/10  
Тел.: (383) 363-00-63, 363-00-36; Тел./факс: (383) 220-83-30; www.stroisib.com