

## ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗДУХОВОВЛЕКАЮЩЕЙ ДОБАВКИ РТ-1 ДЛЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ ЦЕМЕНТОБЕТОНА

Солоненко И.П.

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,  
Украина*

### Постановка проблемы.

Одной из проблем долговечности дорожного покрытия из цементабетона (ЦБ) является обеспечение его стойкости к негативному воздействию климата, а также повышения грузоподъемности автомобильного транспорта. Долговечность покрытий из ЦБ во многом зависит от их морозостойкости. Совместное действие механических и температурных факторов в сочетании с химической агрессией (вызванное применением на дорогах антиобледенителей) приводит к ускоренной деструкции бетона и преждевременной потере покрытием эксплуатационных качеств.

Вопросами исследования влияния циклического замораживания и оттаивания на бетонные изделия, в разные годы занимались: Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. [1,2], Мишутин А.В. [2], Барабаш И.В. [3], Барабаш Т.И. [4], Горчаков Г.И. [5], Шейнин А.М. [6], Батраков В.Г. [7] и др. исследователи. Сложилась два научных подхода, к проблеме морозостойкости ЦБ.

Первый основан на том, что повышение морозостойкости ЦБ возможно путем увеличения его плотности (уменьшение внутренней пористости материала и более плотного расположения его компонентов). Это может быть достигнуто, с помощью введения в состав бетонной смеси (БС):

- суперпластификаторов (снижение В/Ц отношения [1 - 4]);
- мелкого и сверх мелкого наполнителей [1, 2, 7];
- применения механоактивации [3] и т.д..

Исследования проведенные Дворкиным Л.И. и Дворкиным О.Л. [1] показали, что добавки - суперпластификаторы позволяют снизить водопотребность смесей на 20-30%. Основным фактором улучшающим долговечность бетона авторы считают снижение В/Ц отношения.

В работе Барабаш И.В. [3] исследовалось снижение пористости бетона за счет применения механоактивации, а также путем введения в

состав БС мелкодисперсного наполнителя (зола-уноса, микрокремнезем, молотый кварцевый песок, и т.д.).

Второй подход к решению проблемы повышения морозостойкости цементобетона основан на том, что обеспечить её решение можно путем создания замкнутых воздушных пор [8, 9]. Это чаще всего - достигается путём введения в состав БС воздухововлекающих добавок на основе СНВ [10].

Как правило, по форме и характеру расположения поры в бетоне подразделяются на следующие группы, представленные на рис. 1 [11].

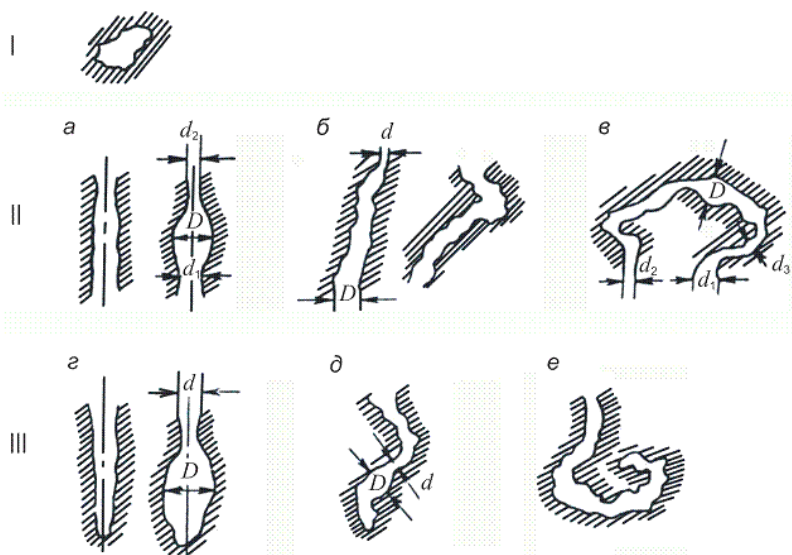


Рис. 1. Формы пор в бетоне:

- I – закрытые или замкнутые;
- II – открытые каналобразующие: а – прямые; б – червеобразующие; в – петлеобразные;
- III – тупиковые поры: г – прямые; д – червеобразные; е – петлеобразные.

Поры также классифицируются по размерам и группам (табл. 1) [11].

Исследование структуры порового пространства бетона, проведенные Мощанским Н.А. [12], позволило все поры разделить на:

- а) крупные каверны и пустоты, образовавшиеся при недостаточно тщательной укладке жёстких и малопластичных смесей;

## Классификация пор [11]

Размеры пор, нм	Группы пор	Авторы классификации
Менее 0,6	Ультрамикропоры Небольшие внутренние Межкристаллические  Межслоевые	Брунауэр Михаил Кондо  Фельдман
0,6–1,5	Микропоры Поры геля Адсорбционные Большие внутренние Внутрикристаллические	Брунауэр Пауэрс Фельдман Михаил Пауэрс, Кондо, Михаил
1,5–10	Мезопоры Поры между частицами геля	Брунауэр Пауэрс, Кондо, Михаил
Более 100	Макропоры	Брунауэр, Пауэрс, Кондо, Михаил

б) небольшие поры в цементном камне и бетоне, образовавшиеся при перемешивании и укладке или при искусственном вовлечении воздуха с помощью воздухововлекающих добавок;

в) мелкие поры и капилляры, возникающие в межзерновом пространстве цементного камня и раствора вследствие испарения слабо связанной воды;

г) щели и рыхлые места в верхней части горизонтальных швов при укладке массивов, возникающие вследствие внешнего расслаивания бетонной смеси;

д) неплотности под зёрнами относительно крупных частиц заполнителя, возникающие вследствие внутреннего расслоения раствора;

е) щели и микрощели усадочного порядка, возникающие в бетоне при значительном температурном или влажностном градиенте;

ж) тончайшие микропоры гидратированных оболочек цементных зёрен (поры геля), возникающие вследствие контракционных явлений при гидратации.

Исследование [10, 11] показали, что пористость бетона представлена хаотически распределенными капиллярами переменного сечения размерами от  $(2-4)10^{-9}$  до  $10^{-4}$  м и отдельными порами с диаметрами от

$10^{-4}$  до  $5 \cdot 10^{-3}$  м, образовавшимися в результате вовлечения воздуха при перемешивании и укладке бетонной смеси.

Анализ исследований по применению первого и второго методов направленных на повышения морозостойкости ЦБ [1-12], показали, что возможен и третий подход к решению этой научной задачи. Он заключается в комбинировании обоих рассмотренных ранее методов и включает в себя снижение В/Ц отношения (применения пластифицирующей добавки) совместно с обеспечением равномерного распределения замкнутых пор по объему бетона (применением воздухововлекающей добавки).

Количество вовлеченного воздуха в БС определяется согласно требованиям национальных норм для жестких дорожных покрытий ДСТУ Б В.2.7-43-96 [13], и европейским нормам EN [14] (табл. 2).

Таблица 2

Количество вовлеченного воздуха в бетонную смесь [13, 14]

Конструктивный слой покрытия	Объем вовлеченного воздуха в бетонной смеси, %, для бетона		
	ДСТУ Б В.2.7-43-96 [13]		стандарт EN [14]
	тяжелого	мелкозернистого	
Однослойные или верхний слой двухслойных покрытий	5 - 7	9 - 7	4-7

Как видно из таблицы 2 для обеспечения объема вовлеченного воздуха по EN [14], должен быть не менее 4 %, что меньше на 1% чем национальные требования (ДСТУ Б В.2.7-43-96 [13]). Для повышения физико-механических характеристик цементобетонного покрытия необходимо стремиться к снижению объема вовлеченного воздуха в БС.

**Цель исследования.** Изучить влияние количества введенной в бетонную смесь воздухововлекающей добавки Mapeplast PT-1 на пористость и морозостойкость бетона.

**Основная часть.** Бетон, применяемый в опытах, имел состав, представленный в табл. 3.

Опыты проводились в лаборатории завода ПАО «Хальдерберг Цемент Украина» в следующей последовательности:

- БС, загружалась в смеситель принудительного типа и в течение 5 минут подвергалась интенсивному перемешиванию;
- оценивалась подвижность БС согласно [15], с использованием нормального конуса (рис. 2). В опытах для всех составов подвижность БС находилась в пределах от 16 до 18 см;

Таблица 3

Состав бетона и объем вовлеченного воздуха ( $V_{п}$ ) в бетонной смеси

№ п/п	Цемент кг/м <sup>3</sup>	Песок ( $M_{кр}=2,5$ ) кг/м <sup>3</sup>	Щебень фр.5-10, кг/м <sup>3</sup>	Вода	ВВД РТ-1, %	СП DE1 1, %	В/Ц	$V_{п}$ , %
1	570	490	1036	250	-	-	0,43	2,5
2	570	490	1036	236	0,05	-	0,41	6
3	570	490	1036	175	0,05	1	0,31	5

- объема вовлеченного воздуха в БС определялся при помощи прибора TESTING DIN 1048 (рис. 3);

- образцы выдерживались в условиях нормального твердения в течение 28 суток ( $t=20^0\text{C}$ ,  $W=80\%$ );

- на 28 сутки образцы  $10 \times 10 \times 10 \text{ см}^3$  (рис. 4) подверглись испытанию на прочность при сжатии на 100 тонном прессе фирмы TESTING PL 100 (рис. 5);

- образцы подвергались испытанию на морозостойкость (до  $-50^0\text{C}$ ) по 3 методике [16], в морозильной камере УТИ 120-Х-1/-50 в лаборатории кафедры ПСЭАД, ОГАСА.



Рис. 2. Определение подвижности бетонной смеси по осадке конуса



Рис. 3. Прибор TESTING DIN 1048 для определения количества воздуха находящегося в БС



Рис. 4. Образцы размером 10x10x10, для определения прочности при сжатии



Рис. 5. Определение прочности при сжатии на прессе TESTING PL 100

### Полученные результаты и их анализ.

Проведенные опыты позволили получить зависимость влияния введения воздухововлекающей добавкой и воздухововлекающей добавкой РТ-1 совместно с СП Дунатон Easy 11 на количество вовлеченного воздуха в БС. Результаты, представлены в графическом виде на рис. 6.

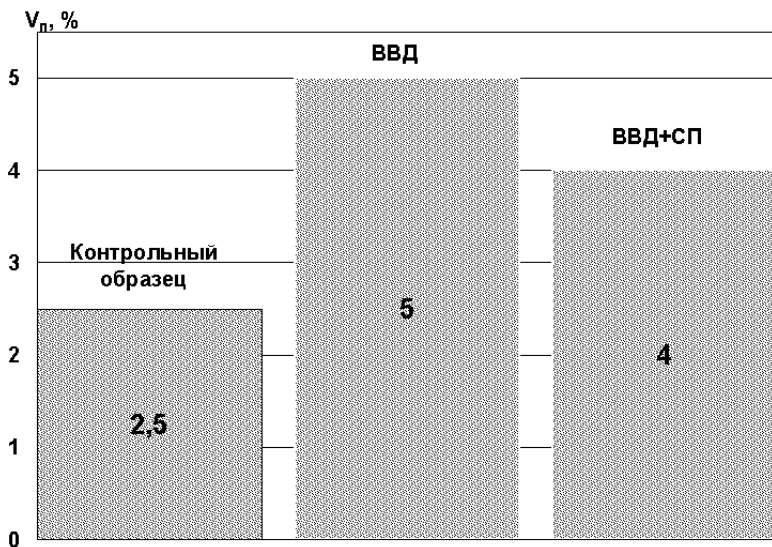


Рис. 6. Объем вовлеченного воздуха ( $V_{п, \%}$ ) в бетонной смеси

Как видно из рис. 5, введение в БС воздухововлекающей добавки и воздухововлекающей добавки совместно с СП DYNAMON Easy 11 приводит к увеличению содержания воздуха в количестве от 2,5 до 5%.

Проводились испытания на морозостойкость бетона согласно [16] с воздухововлекающей добавкой РТ-1 и воздухововлекающей добавкой РТ-1 совместно с СП DYNAMON Easy 11 (табл. 4).

Таблица 4

Испытания на морозостойкость по 3 методике (F 200) [16]

№ сос	Масса образца, г		Потеря по массе		Прочность при сжатии, МПа		Потеря по прочности, %
	до	после	г	%	до F	после F	
1	2293	2232	61	2,68	52,50	50,25	4,28
2	2276	2221	55	2,39	53,95	52,60	4,05
3	2270	2235	35	1,50	58,85	56,80	3,61

Исследования показали (табл. 4), что все составы бетона выдержали испытания на морозостойкость (потеря прочности при сжатии после испытания на морозостойкость  $\leq 5\%$ , потеря массы образца  $\leq 3\%$  [16]).

Проводилось исследование по определению пористости испытуемых образцов. Опыт проводился с использованием цифрового USB микроскопа Sigeta Cam-04, который обеспечивает 40 кратное увеличение. Фотография шлифа образца дорожного ЦБ из состава № 3, табл. 1, представлена на рис. 7.

Исследования проводились методом визуального контроля, диаметр пор и их количество приведен в таблице 4.

Анализ показывает, что использование воздухововлекающей добавки Mapeplast РТ-1 приводит к увеличению количество замкнутых пор примерно на 24%. Для контрольного образца 29 пор (табл. 5), для модифицированного образца 36 пор (табл. 5).

Совместное введение воздухововлекающей добавки Mapeplast РТ-1 и СП DYNAMON Easy 11 в состав бетона, приводит к увеличению количества замкнутых пор относительно контрольного образца на 17% (34 поры, табл. 5, рис. 7).

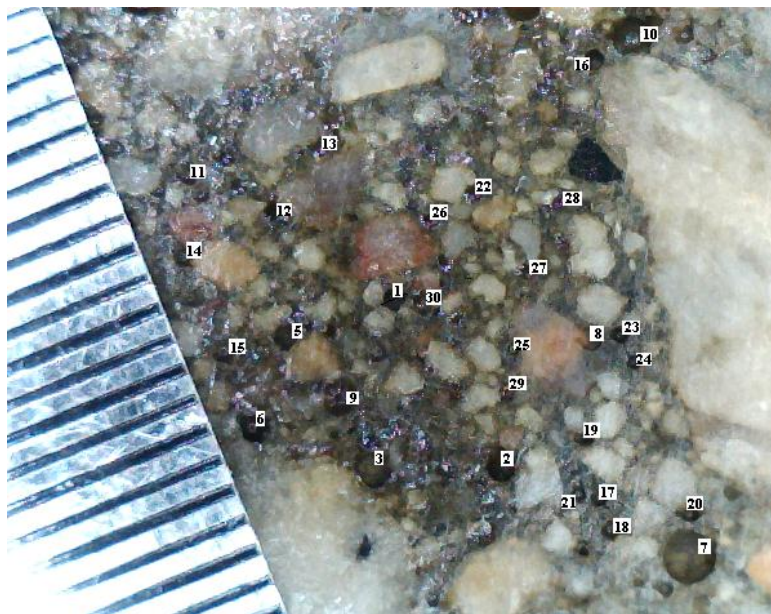


Рис. 7. Поры в дорожном бетоне под микроскопом Sigeta Cam-04 (x 40) содержащего 0,05% воздухововлекающей добавки Mareplast PT-1 и 1% пластификатора Dynamon Easy 11

### **Выводы**

Применение воздухововлекающей добавки Mareplast PT1 (0,05%) приводит:

- к увеличению воздухововлечения в бетонной смеси на 2,5% и составляет 5%;

- обеспечивает равномерное распределения замкнутых пор по объему исследуемого образца, которое составило 34 поры с диаметром с 0,001 до 0,05 мм на 1 см<sup>2</sup>, (прирост замкнутых пор в образце относительно контрольного составил 24 %);

- после испытания на морозостойкость (F 200) наблюдается снижение массы образца на 2,39% относительно контрольного образца (2,68 %), что соответствует требованиям [16] ( $\leq 3$  %).

Использование комбинированного метода (применения пластифицирующей добавки Dynamon Easy 11 (1%) совместно с воздухововлекающей добавкой PT-1 (0,05%)) показал, что:



-наблюдается снижение В/Ц отношения на 27,9% предложенного образца бетона №3 (В/Ц=0,31), относительно контрольного образца №1 (В/Ц=0, 43);

Таблица 5

Визуальный контроль пористости бетона

№	Составы S образца, см <sup>2</sup>	Контрольный 1,61 см <sup>2</sup>		с ВВД 0,91 см <sup>2</sup>		с ВВД+СП 0,87 см <sup>2</sup>	
		По рис	На 1 см <sup>2</sup>	По рис	На 1 см <sup>2</sup>	По рис	На 1 см <sup>2</sup>
	Кол-во пор Размер пор						
1	0,001	-	-	5	5,75	4	4,39
2	0,0013	-	-	6	6,90	3	3,30
3	0,0043	-	-	-	-	6	6,59
4	0,008	3	1,86	-	-	-	-
5	0,009	-	-	5	5,75	11	12,09
6	0,015	-	-	4	4,60	-	-
7	0,02	5	3,10	5	5,75	4	4,39
8	0,026	-	-	3	3,45	-	-
9	0,03	6	3,73	4	4,60	1	1,10
10	0,033	7	4,34	-	-	-	-
11	0,037	5	3,10	-	-	-	-
12	0,039	-	-	2	2,29	3	3,29
13	0,043	-	-	1	1,15	-	-
14	0,046	-	-	-	-	-	-
15	0,05	2	1,24	-	-	1	1,10
16	0,067	-	-	1	1,15	-	-
17	0,083	1	-	-	-	-	-
	Σ	29	-	36	-	34	-

- после проведения испытания на морозостойкость (F 200) образца №3 наблюдается потеря его массы на 1,5%, что на 45% меньше, относительно контрольного (№1), который составляет -2.68%;

- к увеличению воздухоувлечения в бетонной смеси на 1,5% и составляет 4%.

Исследования позволили сделать вывод, что применение комбинированного метода по повышению морозостойкости ЦБ путем увеличения его плотности, совместно с обеспечением равномерного распределения замкнутых пор по объему бетона, является эффективным и может быть рекомендован в транспортном строительстве.

## Summary

**Use air-entraining additives Mapeplast PT1, together with a plasticizer Dynamon Easy 11 increases vozduhovolecheniyu in the concrete mix (3,5%) and ensuring a uniform distribution of closed pore volume. Frost resistance of the proposed material meets the requirements of both Ukrainian and European norms.**

1. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Морозостойкость бетона / <http://m350.ru/articles/more/v/id/106>

2. Дворкін Л.Й, Дворкін О.Л., Дорофєєв В.С., Мішутін А.В. Гідротехнічні та дорожні бетони: Навчальний посібник. - Одеса:2012.-214с.

3. Барабаш Т.И. Влияние механохимической активации и содержания микропополнителя на прочностные характеристики цементных матриц. / Т.И. Барабаш, И.Н. Бабий // – Вісник ОДАБА. – Вип. 12. – 2003. – С. 40-45.

4. Барабаш Т.И., Солоненко И.П. Уменьшение времени твердения бетонной смеси верхнего слоя дорожной одежды // Вестник ДонНАБА. – Вып.3. – Макеевка: 2010. – С. 7-11.

5. Горчаков Г.И., Баженов Ю. М. Строительные материалы. Г.. Стройиздат. 1986. – 688с.

6. Шейнин А. М. Цементобетон для дорожных и аэродромных покрытий.— М.: Транспорт, 1991,—151 с.

7. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. - М.: Стройиздат, 1998. - 773 с.

8. Матяш А.В. Исследование влияний на морозостойкость аэродромных бетонов антигололедных реагентов. // Вісник ДНАБА. Вип. 2011-3(89) – Макеевка. – С. 71-74.

9. Шейнин А.М, Эккель С.В. Причина долговечности. Высокопрочные морозостойкие бетоны для дорожного строительства. // Строительная техника и технологии. -2004.- № 1.- С. 62 - 65.

10. Янбых Н.Н. Морозостойкость дорожных бетонов с химическими добавками при действии хлористых солей-антиобледенителей. Дис. кан. техн. наук: 05.23.05. - Москва, 1982. - 291 с.

11. Красовский П.С. Физико-химические основы формирования структуры цементных бетонов. Хабаровск. 2007.-42с.

12. Мощанский, Н.А. Плотность и стойкость бетонов. М.: Госстройиздат, 1951. – 176 с.

13. ДСТУ Б В.2.7-43-96. Бетони важкі. ТУ. Київ 1997. - 16 с.

14. EN 197-1:2000 Бетон – Часть 1: общие технологические требования, производство и контроль качества. Брюссель, 2000. – 68 с.

15. ДСТУ Б В.2.7-114-2002 «Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань». Київ 2002. – 32с.

16. ДСТУ Б В.2.7-49-96 Будівельні матеріали. Бетони. Прискорені методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні та відтаванні. Київ. 1997. – 10с.