

## ИСТИРАЕМОСТЬ И МОРОЗОСТОЙКОСТЬ ДЛЯ АВТОДОРОГ ИЗ ЦЕМЕНТОБЕТОНА

Мишутин А.В., *д.т.н., проф.*, Солоненко И.П., *ассистент*

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,  
Украина*

### Постановка проблемы

При эксплуатации автомобильных дорог с бетонным покрытием (БП), происходит изнашивание его верхнего слоя, что обусловлено движением транспорта, а также циклическим замораживанием-оттаиванием бетона, которое происходит в зимнее время [1].

**Цель исследования** - изучить величину истираемости дорожного покрытия из цементобетона (ЦБ) в зависимости от его состава и с учетом морозостойкости.

Изучение свойств ЦБ покрытий, проводилось с применением методов планирования эксперимента [2]. Эксперимент проводится по 27-ти точечному плану (табл. 1). Факторы и их диапазон изменения выбирался по результатам приведенных в работах [3, 4]. В качестве факторов влияния принималось:

$x_1$  - количество портландцемента марки 500, от 370 до 570 кг/м<sup>3</sup>.

$x_2$  – количество суперпластификатора DYNAMON Easy 11 на основе акрилового полимера, от 0% до 1% от массы цемента.

$x_3$  – количество воздухововлекающей добавки РТ-1, от 0 до 0,05% от массы цемента.

$x_4$  – количество полипропиленовой фибры MAPEFIBRE NS 12/ NS 18, от 0 до 0,6 кг/м<sup>3</sup>.

$x_5$  – количество наполнителя микрокремнезем, от 0 до 15 кг/м<sup>3</sup> от массы цемента.

### Основная часть

Опыты проводились в ОГАСА, в лаборатории кафедры ПСЭАД, в следующей последовательности:

- подбор состава бетона, применяемый для изготовления образцов приведен в таблице 1;

- полученные образцы выдерживались в условиях нормального твердения в течение 28 суток ( $t=20^{\circ}\text{C}$ ,  $W=80\%$ ) [5];

- на 28 сутки образцы  $7\times 7\times 7$  см<sup>3</sup> испытывались на истирание (прибор ЛКИ-3), согласно методике [6];

Таблица 1

## План эксперимента и составы исследуемых бетонов

| План |                |                |                |                |                | Состав бетона           |                         |                         |                        |                           |                         |                          |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|
| №    | x <sub>1</sub> | x <sub>2</sub> | x <sub>3</sub> | x <sub>4</sub> | x <sub>5</sub> | Ц,<br>кг/м <sup>3</sup> | Щ,<br>кг/м <sup>3</sup> | П,<br>кг/м <sup>3</sup> | DE<br>л/м <sup>3</sup> | PT-1,<br>л/м <sup>3</sup> | Ф,<br>кг/м <sup>3</sup> | МК,<br>кг/м <sup>3</sup> |
| 1    | 2              | 3              | 4              | 5              | 6              | 7                       | 8                       | 9                       | 10                     | 11                        | 12                      | 13                       |
| 1    | 1              | 1              | 1              | 1              | -1             | 570                     | 1036                    | 490                     | 5,90                   | 0,285                     | 0,60                    | 0                        |
| 2    | 1              | 1              | 1              | -1             | 1              | 570                     | 1036                    | 490                     | 5,90                   | 0,285                     | 0                       | 15                       |
| 3    | 1              | 1              | -1             | 1              | 1              | 570                     | 1036                    | 490                     | 5,90                   | 0                         | 0,60                    | 15                       |
| 4    | 1              | 1              | -1             | -1             | -1             | 570                     | 1036                    | 490                     | 5,90                   | 0                         | 0                       | 0                        |
| 5    | 1              | -1             | 1              | 1              | 1              | 570                     | 1036                    | 490                     | 0                      | 0,285                     | 0,60                    | 15                       |
| 6    | 1              | -1             | 1              | -1             | -1             | 570                     | 1036                    | 490                     | 0                      | 0,285                     | 0                       | 0                        |
| 7    | 1              | -1             | -1             | 1              | -1             | 570                     | 1036                    | 490                     | 0                      | 0                         | 0,60                    | 0                        |
| 8    | 1              | -1             | -1             | -1             | 1              | 570                     | 1036                    | 490                     | 0                      | 0                         | 0                       | 15                       |
| 9    | -1             | 1              | 1              | 1              | 1              | 370                     | 1080                    | 559                     | 5,90                   | 0,185                     | 0,60                    | 15                       |
| 10   | -1             | 1              | 1              | -1             | -1             | 370                     | 1080                    | 559                     | 5,90                   | 0,185                     | 0                       | 0                        |
| 11   | -1             | 1              | -1             | 1              | -1             | 370                     | 1080                    | 559                     | 5,90                   | 0                         | 0,60                    | 0                        |
| 12   | -1             | 1              | -1             | -1             | 1              | 370                     | 1080                    | 559                     | 5,90                   | 0                         | 0                       | 15                       |
| 13   | -1             | -1             | 1              | 1              | -1             | 370                     | 1080                    | 559                     | 0                      | 0,185                     | 0,60                    | 0                        |
| 14   | -1             | -1             | 1              | -1             | 1              | 370                     | 1080                    | 559                     | 0                      | 0,185                     | 0                       | 15                       |
| 15   | -1             | -1             | -1             | 1              | 1              | 370                     | 1080                    | 559                     | 0                      | 0                         | 0,60                    | 15                       |
| 16   | -1             | -1             | -1             | -1             | -1             | 370                     | 1080                    | 559                     | 0                      | 0                         | 0                       | 0                        |
| 17   | 1              | 0              | 0              | 0              | 0              | 570                     | 1036                    | 490                     | 2,95                   | 0,142                     | 0,30                    | 7,50                     |
| 18   | -1             | 0              | 0              | 0              | 0              | 370                     | 1080                    | 559                     | 3,85                   | 0,092                     | 0,30                    | 7,50                     |
| 19   | 0              | 1              | 0              | 0              | 0              | 470                     | 1055                    | 578                     | 4,89                   | 0,117                     | 0,30                    | 7,50                     |
| 20   | 0              | -1             | 0              | 0              | 0              | 470                     | 1055                    | 578                     | 0                      | 0,117                     | 0,30                    | 7,50                     |
| 21   | 0              | 0              | 1              | 0              | 0              | 470                     | 1055                    | 578                     | 2,44                   | 0,235                     | 0,30                    | 7,50                     |
| 22   | 0              | 0              | -1             | 0              | 0              | 470                     | 1055                    | 578                     | 2,44                   | 0                         | 0,30                    | 7,50                     |
| 23   | 0              | 0              | 0              | 1              | 0              | 470                     | 1055                    | 578                     | 2,44                   | 0,117                     | 0,60                    | 7,50                     |
| 24   | 0              | 0              | 0              | -1             | 0              | 470                     | 1055                    | 578                     | 2,44                   | 0,117                     | 0                       | 7,50                     |
| 25   | 0              | 0              | 0              | 0              | 1              | 470                     | 1055                    | 578                     | 2,44                   | 0,117                     | 0,60                    | 15                       |
| 26   | 0              | 0              | 0              | 0              | -1             | 470                     | 1055                    | 578                     | 2,44                   | 0,117                     | 0,60                    | 0                        |
| 27   | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 470                     | 1055                    | 578                     | 2,44                   | 0,117                     | 0,60                    | 7,50                     |

- образцы подвергались испытанию на морозостойкость (до -50 °С) по 3 методике [7], в морозильной камере УТИ 120-Х-1/-50;

- после исследований на морозостойкость (F 200) образцы, которые положительно прошли испытание, исследовались на истирание согласно [6].

Результаты опытов по истираемость модифицированных цементобетонных покрытий (ЦБП) до и после испытания на морозостойкость (F 200), представлены на рисунке 1.

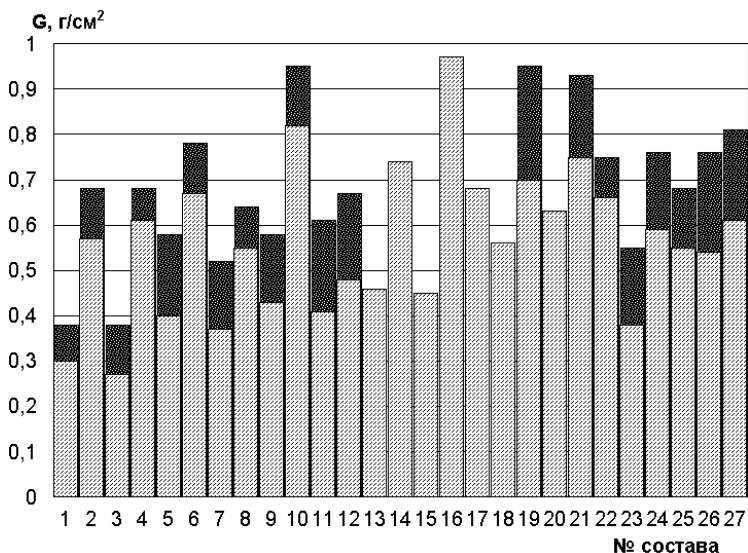






Рис. 1. Истираемость образцов ЦБП до  и после  испытания на морозостойкость (F 200), составы 13-18 и 20 не выдержали испытания на морозостойкость

Как видно из рисунка истираемость материала ЦБП для автомобильных дорог (АД) (рис. 1, ) наиболее эффективно снижается за счет применения полипропиленовой фибры. Составы с содержанием волокон в количестве 0,3-0,6 кг/м<sup>3</sup> показывают уровень истираемости ниже до 0,3 г/см<sup>2</sup> (более 50%) аналогичных бетонов без фибры. То есть дисперсное армирование, эффективно повышает износостойкость материала дорожного покрытия из ЦБ. При повышении количества портландцемента (с 370 до 570 кг/м<sup>3</sup>) истираемость бетона снижается за счет увеличения прочности материала. Введение в состав бетона наполнителя МК (до 15 кг/м<sup>3</sup>) приводит к снижению уровня G (на 15%).

Наибольшее влияние на истираемость образцов ЦБП после испытания на морозостойкость (рис. 1, ) оказывает введение наполнителя МК (до 15 кг/м<sup>3</sup>) совместно с фиброй MN (до 0,6 кг/м<sup>3</sup>) снижают G<sub>f</sub> до 0,5 г/см<sup>2</sup> (более 50%). Т.к. дисперсное армирование увеличивает поверхностную прочность материала покрытия, а применения наполнителя МК увеличивает прочность на сжатие образца, что ведет к увеличению стойкости к истираемости после испытания на морозостойкость.

Результаты испытания на истираемость ЦБП позволили рассчитать коэффициенты ЭС-моделей: для контрольных образцов (1) и для образцов после испытания на морозостойкость (2).

$$G \text{ (г/см}^2\text{)} = 0,63 - 0,04x_1 - 0,62x_1^2 + 0,02x_1x_2 + 0,01x_2x_3 + 0,04x_4x_5 - 0,04x_2 + 0,05x_2^2 + 0,02x_2x_4 + 0,03x_3x_5 - 0,13x_4 - 0,12x_4^2 + 0,02x_1x_5 - 0,03x_5 - 0,03x_5^2 \quad (1)$$

$$G_f \text{ (г/см}^2\text{)} = 0,85 - 0,08x_1 + 0,03x_2x_3 + 0,05x_4x_5 - 0,04x_2 + 0,02x_1x_3 + 0,05x_3x_5 + 0,07x_3^2 + 0,02x_1x_4 - 0,14x_4 - 0,13x_4^2 + 0,05x_1x_5 - 0,05x_5 - 0,12x_5^2 \quad (2)$$

Применение ЭС моделей (1, 2) может быть использовано в строительной практике для подбора состава ЦБ для покрытий автодорог.

### **Выводы**

Введение в состав цементобетонных покрытий для автомобильных дорог наполнителя микрокремнезема (до 15 кг/см<sup>3</sup>), снижает истираемость на 15..20% до и после испытания на морозостойкость. Введение в состав бетонной смеси пластификатора Dyanamon Easy 11 (1%) совместно с воздухововлекающей добавкой Mareplast PT-1 (0,05%) увеличивает подвижность бетонной смеси (18-20 см). Применение фибры (до 0,6 кг/м<sup>3</sup>) снижает истираемость бетона до 0,3 г/см<sup>2</sup> (60%) и после испытания на морозостойкость на 0,4 г/см<sup>2</sup> (50%).

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать вывод, что введение в состав модифицированного цементобетонна рекомендуемый состав - воздухововлекающую добавку PT-1, пластификатора Dyanamon Easy 11, наполнителя микрокремнезема и полипропиленовую фибру ведет к уменьшению истираемости ( $G \leq 0,4 \text{ г/см}^2$  при требуемой до  $0,7 \text{ г/см}^2$ ) и при обеспечении необходимой морозостойкости (F 200).

## Summary

The article examines the change in the abrasion of the cement concrete pavement depending on its composition and subject frost. Studies suggest that the introduction of the modified cement - air-entraining additives PT-1, Dynamon Easy 11 plasticizer, filler silica fume and polypropylene fibers leads to a reduction of abrasion and ensure the necessary frost.

## *Литература*

1. Толмачев С.Н., Кондратьев И.Г., Чугуенко А.Н., Гринченко Р.О. Взаимосвязь истираемости и морозостойкости дорожных бетонов. ХНАДУ. Харьков, 2005, с. 52-55.
2. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительнотехнологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л.Огарков. – К.: Вища школа, 1989. – 327 с.
3. Солоненко И.П. Модифицированные цементобетонные композиции для дорожного покрытия // Вісник ОДАБА. Вып.№48. Частина 2 – Одеса: ТОВ «Зовнішрекламсервіс» 2012. – С. 98-103.
4. Солоненко И.П. Жесткие дорожные покрытия для автомобильных дорог. Вісник ОДАБА. Вип.№54. – Одесса: ТОВ «Зовнішрекламсервіс» 2014– С. 350-357.
5. ДСТУ Б В.2.7-114-2002 «Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань». Київ 2002. – 32с.
6. ДСТУ Б В.2.7-212:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення стиранності. Київ. 2009. – 8с.
7. ДСТУ Б В.2.7-49-96 Будівельні матеріали. Бетони. Прискорені методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні та відтаванні. Київ. 1997. – 10с.