



Получена: 11.06.2024 г.

Приета: 02.07.2024 г.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА МОДЕЛНИ АГРЕСИВНИ СРЕДИ ВЪРХУ ИЗМЕНЕНИЕ НА МЕХАНИЧНИТЕ СВОЙСТВА НА ОБИКНОВЕН И ВИСОКОЯКОСТЕН БЕТОН

К. Йорданова¹, Д. Бошнаков²

Ключови думи: бетон, механични свойства, агресивни среди

РЕЗЮМЕ

Настоящата статия представя резултати от сравнително изследване на механичните свойства на обикновен и високоякостен бетон при кратковременни статични натоварвания в условията на циклично действащи моделни агресивни среди с различна концентрация. Използвани са стандартни методики за оценка на механичните свойства, като е установена добра съпоставимост на резултатите, получени от двата изследвани състава.

1. Въведение

Високоякосният бетон (ВЯБ), в сравнение с обикновения бетон (ОБ) се характеризира със значително по-високи механични характеристики (якост на натиск над 100 – 110 МРа, якост на опън при огъване над 12 МРа) и по-голяма дълготрайност. По-високите механични показатели при ВЯБ се постигат чрез оптимизиране на състава на матрицата и редуциране на максималния размер на зърното на едрия добавъчен материал, вследствие на което се влага по-голямо количество цимент (над 700 kg за 1 m³ бетонна смес), активна минерална добавка (до 20 – 30 % от масата на цимента), много ниско водоциментно отношение (под 0,25) и високо съдържание на суперпластифициращи добавки.

¹ Камелия Йорданова, гл. ас. д-р инж., кат. „Строителни материали и изолации“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: jordanova_fce@uacg.bg

² Димитър Бошнаков, доц. д-р инж., кат. „Строителни материали и изолации“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: dimbosh_fce@uacg.bg

2. Експериментално изследване

Целта на това изследване е да бъдат определени якостните характеристики на обикновен и високоякостен бетон, преди и след въздействие на различни по вид и концентрация агресивни среди.

2.1. Изследвани състави и пробни тела

Съставът на ВЯБ е състав с максимална едрина на зърната на добавъчните материали $D_{\max} = 8,0$ mm, количество на цимента 730 kg за 1 m³ бетонна смес, количество на химическата добавка 3% от масата на цимента и водоциментно отношение, равно на 0,22. Вложените добавъчни материали в състава от ВЯБ са от киселиноустойчиви скали, а използваната химическа добавка е поликарбоксилатна силноводонамаляваща.

Съставът на ОБ е състав с максимална едрина на зърната на добавъчните материали $D_{\max} = 8,0$ mm, количество на цимента 410 kg за 1 m³ бетонна смес, количество на химическа добавка 1,2 % от масата на цимента и водоциментно отношение, равно на 0,45. Вложените добавъчни материали в състава от ОБ са от обикновени скали, а използваната химическа добавка е водонамаляваща.

Изборът за използваните химични агресивни среди е направен от литературата [1, 2]. Възприето е концентрацията на водните разтвори да се променя в границите 5 % и 10 %, като такава съгласно действащите у нас стандарти (БДС 9075) и норми среда се класифицира като силно агресивна. Провежданите лабораторни изпитвания целят моделиране на корозионните процеси на бетона в относително кратки срокове, поради което концентрациите на водните разтвори са завишени по отношение на нормативните стойности за различните степени на агресивност спрямо бетона.

Пробите на двата изследвани състава са призми с размери 40/40/160 mm (изготвени съгласно БДС EN 196-1) [3]. Начинът на забъркване, полагане и уплътняване на бетоновата смес е съобразно изискванията на българския стандарт.

Броят на пробните тела от всеки състав е съобразен с изискванията за провеждането на всеки вид експеримент поотделно, като са отчетени вид на натоварване, възраст и среди на отлежаване на пробите.

Всички пробни тела от изследваните състави след формуването им втвърдяват 24 часа в кофражни форми при стайна температура. След декофриране пробите са потопени до 28-дневна възраст под питейна вода. Тази възраст е избрана за базова. Спрямо данните, получени за нея, са съпоставени всички измервани механични параметри.

2.2. Използвани моделни агресивни среди

Пробите от изследваните състави, на 28-дневна възраст, са подложени на циклично действие в следните моделни агресивни среди (фиг. 1):

- използвани са 5 % и 10 % разтвори на Na₂SO₄;
- използвани са 5 % и 10 % разтвори на NaCl.

Продължителността на въздействие на моделните среди върху бетона е изразена в цикли (4, 8 и 12 цикъла), като всеки отделен цикъл включва:

- пълно потапяне на бетоновите пробни тела в съответните разтвори на NaCl и Na₂SO₄ в продължение на шест денонощия, при атмосферно налягане, с воден стълб над пробите, не по-голям от 2 cm;
- изваждане, забърсване на повърхността и изсушаване в сушилнен шкаф при температура +60 °C, в продължение на 24 часа.



Фиг. 1. Трегирание на пробните тела от ОБ и ВЯБ в 5 % и 10 % водни разтвори на NaCl на Na₂SO₄

След охлаждане до стандартна температура ($20 \pm 5^\circ$) пробите отново се поставят във ваните, съдържащи водни разтвори на съответните агресивни среди, до достигане на определения брой цикли.

2.3. Методика на изследването

В настоящето изследване се акцентира върху проблемите, свързани с корозия на циментовата матрица (бетона), породена от агресивното действие на сулфатни и хлорни йони.

Степента на корозия е оценявана по няколко критерия:

- **Промяна в якостта на опън при огъване** (фиг. 2), определена съгласно БДС EN 196-1 [3].

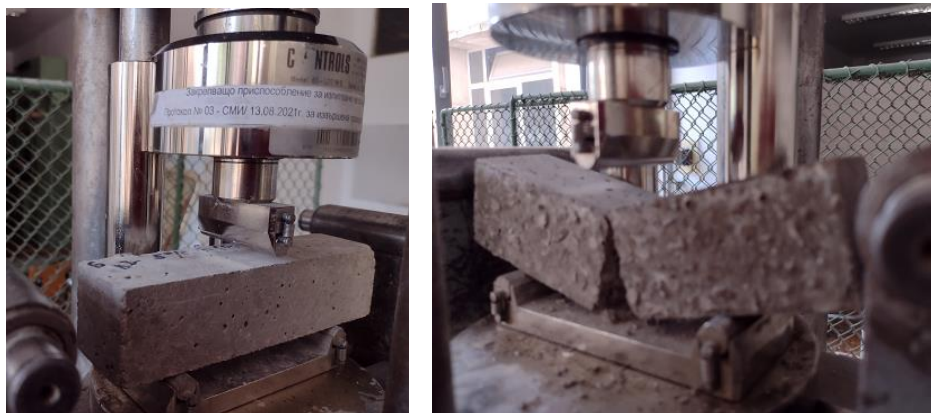
$$f_f = 1,5 \frac{Fl}{bh^2}, \quad (1)$$

където f_f е якост на опън при огъване, N/mm² (MPa);

F – приложено натоварване в средата на призмата при разрушаване, N;

l – разстояние между ролковите опори, mm;

b и h – размери на страните на напречното сечение на призмата, mm.



Фиг. 2. Опитна постановка преди и след изпитване на якост на опън при огъване

- **Промяна в якостта на натиск** (фиг. 3), определена съгласно БДС EN 196-1 [3].

$$f_c = \frac{F}{A}, \quad (2)$$

където f_c е якост на натиск, N/mm² (MPa);

F – приложено максимално натоварване при разрушаване, N;

A – работна площ на стоманена приставка, mm.



Фиг. 3. Опитна постановка при изпитване на натиск

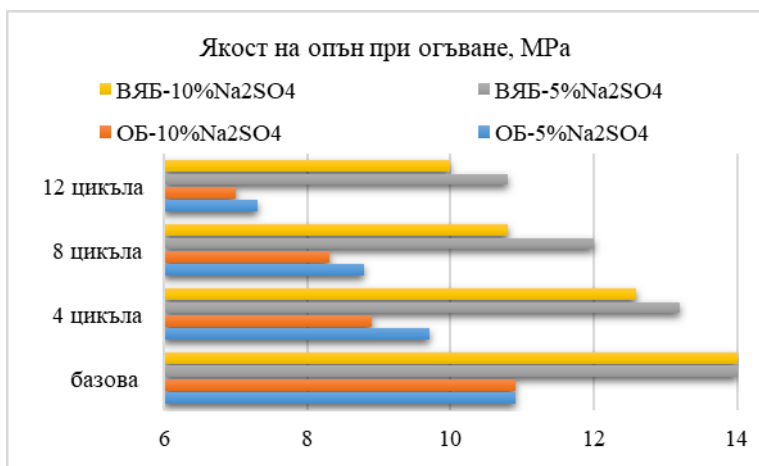
Поради дребнозърнестия характер на бетоните изпитването на огъване позволява да се прилага стандарт БДС EN 196-1 „Методи за изпитване на цимент. Част 1: Определяне на якост“ [3]. Въпреки че напрегнатото състояние в зоната на максималния момент не е чисто огъване (има и срязване), е избрана схема на три-точково натоварване – с концентрирана сила в средата на подпорното разстояние (фиг. 2).

Якостта на опън при огъване, дадена за всеки състав, е получена като средноаритметична стойност, изчислена с точност до $0,1 \text{ N/mm}^2$, от единичните резултати, получени от изпитване на три броя пробни тела с размери $40/40/160 \text{ mm}$. Подпорното разстояние е 100 mm . Пробното тяло се натоварва до разрушение с постоянна скорост от $0,5 \text{ N/s}$.

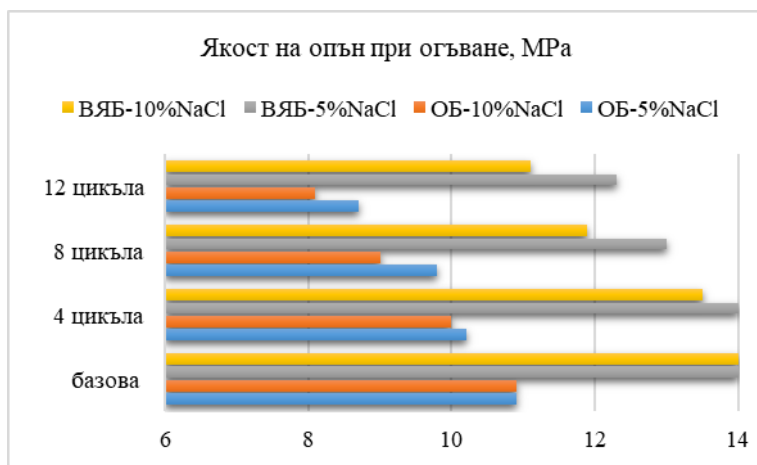
Якостта на натиск е определена върху пробни тела, представляващи $\frac{1}{2}$ призми от трите пробни тела $40/40/160 \text{ mm}$, изпитвани на опън при огъване. За определяне на якостта на натиск е приложен стандарт „БДС EN 196-1:2016“ [3], като са модифицирани някои от условията на изпитване, като скорост и продължителност на натоварване, отговарящи на препоръките на „БДС EN 12390-3:2019“ [4]. Всяко пробно тяло се поставя в специална стоманена приставка (фиг. 3), чрез която се осъществява натоварването върху площ $A = 1600 \text{ mm}^2$. Натоварването е осъществено посредством електронна преса с постоянна скорост на натоварване от $0,8 \text{ N/s}$ и тази скорост отговаря на натоварване при обикновен бетон.

3. Анализ на получените резултати

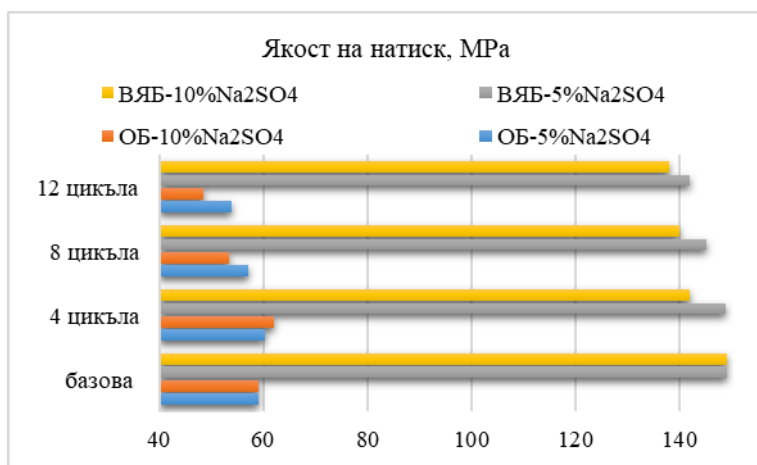
Резултатите от изпитванията чрез директно разрушаване (якост на опън при огъване и якост на натиск), са представени графично – фигури 4 – 7. Данните, представени на фигури 4 – 7, са получени като средни стойности от изпитванията, направени върху 3 бр. пробни тела.



Фиг. 4. Промяна в якостта на опън при огъване (ОБ и ВЯБ), след третиране в 5 % и 10 % Na₂SO₄



Фиг. 5. Промяна в якостта на опън при огъване (ОБ и ВЯБ), след третиране в 5 % и 10 % NaCl



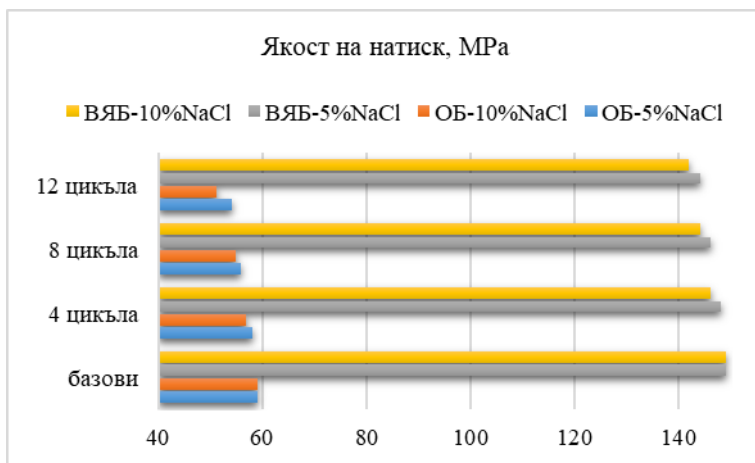
Фиг. 6. Промяна в якостта на натиск при ОБ и ВЯБ, след третиране в 5 % и 10 % Na₂SO₄

Резултатите, показващи промяна в якостните характеристики след въздействието на агресивните среди, са сравнени с резултатите, получени на 28-дневна възраст (базова възраст), включително и като процентно изменение.

Резултатите, представени на фиг. 4, показват, че след 4-цикличен престой при състава от ВЯБ в 5 % и 10 % (Na₂SO₄) отчетат редуция на якостта на опън при огъване от 6 % и 10 %, след 8-цикличен престой от 14 % и 23 %, а при 12-цикличен престой са отчетени изменения от 23 % и 29 %. При състава от обикновен бетон (фиг. 4), след 4-цикличен престой в 5 % и 10 % (Na₂SO₄), стойностите на отчетената редуция са от 11 % и 18 %, след 8-цикличен престой от 19 % и 24 %, а при 12-цикличен престой отчетените изменения са от 33 % и 36 %.

Стойностите на якостта на опън при огъване след 4-цикличен престой при високоякостния състав с концентрация на разтвора от 5 % и 10 % (NaCl) (фиг. 5),

показват редукция от нула до 4 %, след 8-цикличен престой от 7 % и 15 %, а при 12-цикличен престой са отчетени изменения от 12 % и 21 %. При състава от обикновен бетон (фиг. 5), след 4-цикличен престой в 5 % и 10 % (NaCl), стойностите отчитат редукция от 6 – 8 %, след 8-цикличен престой от 10 % и 17 %, а при 12-цикличен престой са отчетени изменения от 20 % и 26 %.



Фиг. 7. Промяна в якостта на натиск при ОБ и ВЯБ, след третиране в 5 % и 10 % NaCl

След третиране на 4 цикъла в разтвор на 5 % и 10 % (Na_2SO_4), при състава от ВЯБ (фиг. 6), якостта на натиск показва редукция от 0 – 5 %, след 8 цикличен престой от 3 % и 6 %, а при 12-цикличен престой са отчетени изменения от 5 % и 7 %. При състава от обикновен бетон (фиг. 6), след 4-цикличен престой в 5 % и 10 % (Na_2SO_4), стойностите на якостта на натиск отчитат нарастване от 2 % и 5 %, след 8-цикличен престой е отчетена редукция на якостта от 3 % и 10 %, а при 12-цикличен престой отчетената редукция е от 9 % и 18 %.

Якостта на натиск при състава от ВЯБ (фиг. 7), след 4- и 8-цикличен престой в 5 % и 10 % (NaCl), отчита понижението от 1 % и 3 %, а при 12-цикличен престой са отчетени изменения от 3 % и 5 %. При състава от обикновен бетон (фиг. 7), след 4-цикличен престой в 5 % и 10 % (NaCl), стойностите на якостта на натиск отчитат редукция от 2 % и 4 %, след 8-цикличен престой от 5 % и 7 %, а при 12-цикличен престой понижението е от 8 % и 13 %.

4. Изводи

Според получените резултати от изследването на механичните показатели на изследваните бетони е установено, че водният разтвор на NaCl се оказва много по-малко агресивна среда, особено при ВЯБ, за който след 12 цикъла в 10 % разтвор на NaCl, загубата на якост на натиск е пренебрежимо малка (от порядъка на 5 %), а загубата на якост на опън при огъване е до 21 %.

Поради ограничената дифузия на агресивните йони в матрицата на ВЯБ, след 12 цикъла на третиране в 10 % разтвор на Na_2SO_4 , загубата на якост на натиск не надвишава

7 %. По-чувствителен параметър към промените, предизвикани в микроструктурата, се оказва якостта на огъване, но и тя запазва до около 70 % от първоначалната си стойност.

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор № БН-284/2023 е подкрепена финансово от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Nazarski, D., Krumov, V., Petrov, B.* Visokoyakostni betoni v promishlenoto stroitelstvo. Treta nauchno tehicheska konferentsia s mezhdunarodno uchastie "Savremenni tehnologii v promishlenoto i energiino stroitelstvo", 10-11 may, Sofia, 1988-1.

2. *Nazarski, D., Krumov, V., Petrov, B.* Visokoyakostni betoni v promishlenoto stroitelstvo. Stroitelni konstruksii i izdelia, № 5, 1988-2.

3. BDS EN 196-1:2016 „Metodi za izpitvane na tsiment. Chast 1: Opredelyane na yakost“.

4 BDS EN 12390-3:2019 „Izpitvane na vtvariden beton. Chast 3: Yakost na natisk na probni tela“.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF MODEL AGGRESSIVE ENVIRONMENTS ON THE CHANGE OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF ORDINARY AND ULTRA HIGH PERFORMANCE CONCRETE

K. Yordanova¹, D. Boshnakov²

Keywords: concrete, mechanical properties, aggressive environments

ABSTRACT

The paper presents the results of a comparative study of the mechanical properties of ordinary and high-strength concrete under short-term static loads in the conditions of cyclically acting model aggressive environments with different concentrations. Standard methods are used to evaluate the mechanical properties. The influence of the composition of the matrix of the studied concretes and the concentration of the aggressive agent is analyzed, and a good comparability of the results obtained from the two studied compositions is established.

¹ Kameliya Yordanova, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. "Building Materials and Insulations", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: jordanova_fce@uacg.bg

² Dimitar Boshnakov, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Building Materials and Insulations", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: dimbosh_fce@uacg.bg