



**TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC**

# **KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG**

**Hà Nội, 12 - 11 - 2020**

**ERSD 2020**



**NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI**



EARTH SCIENCES AND  
NATURAL RESOURCES FOR  
**SUSTAINABLE** DEVELOPMENT

**TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC**  
**KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN**  
**VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG**

**TIỂU BAN**  
**VẬT LIỆU VÀ KẾT CẤU**

## Ảnh hưởng của tổ hợp phụ gia biến tính đến độ nở sun phát của bê tông dùng trong công trình biển và hải đảo

Tăng Văn Lâm<sup>1,\*</sup>, Phạm Đức Lương<sup>1</sup>, Phạm Ngọc Dương<sup>1</sup>, Ngô Xuân Hùng<sup>1,2</sup>, Bulgakov Boris Igorevich<sup>2</sup>, Đặng Văn Phi<sup>1,3</sup>, Nguyễn Tài Năng Lượng<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Đại học Mỏ - Đại Chất, số 18 Phố Viên - Phường Đức Thắng - Q. Bắc Từ Liêm - Hà Nội

<sup>2</sup>Đại học Xây dựng Moscow, Nga, D. 26, Yaroslavskoe Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation

<sup>3</sup>Đại học SEJONG, Hàn Quốc

<sup>4</sup>Đại học Phòng cháy chữa cháy

### TÓM TẮT

Phát triển các loại vật liệu thân thiện với môi trường trên cơ sở sử dụng vật liệu tại chỗ, tái sử dụng các loại chất thải gồm tro bay, tro đáy và xỉ nhiệt điện của các nhà máy nhiệt điện làm vật liệu xây dựng phù hợp với điều kiện môi trường biển là một trong các nhiệm vụ quan trọng hiện nay. Bài viết này trình bày kết quả nghiên cứu tính chất của bê tông dùng để xây dựng công trình biển, có thành phần cấp phối sơ bộ được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 8218:2009 và ACI 211.4R-2008. Bên cạnh đó sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm bậc nhất đã xác định được mô hình toán học để mô phỏng ảnh hưởng của tổ hợp phụ gia gồm: tỷ lệ nước/chất kết dính, hàm lượng tro bay nhiệt điện, silica fume SF90 và phụ gia siêu dẻo SR 5000F đến hàm mục tiêu là độ nở sun phát của bê tông ở tuổi 28 ngày được xác định theo tiêu chuẩn GOST P 56687-2015. Từ phương trình hồi quy cho thấy tỷ lệ tỷ lệ nước/chất kết dính, hàm lượng của tro bay nhiệt điện và silica fume SF90 có ảnh hưởng đáng kể đến độ nở sun phát của mẫu bê tông, trong khi đó hàm lượng phụ gia siêu dẻo SR 5000F không có ảnh hưởng đến giá trị của hàm mục tiêu và có thể bỏ qua.

*Từ khóa:* Xi măng poóc lăng bền sun phát; độ nở sun phát; cường độ nén; hỗn hợp phụ gia khoáng; quy hoạch thực nghiệm; phương trình hồi quy.

### 1. Đặt vấn đề

Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép với khả năng chống ăn mòn nên đã được sử dụng trong hầu hết các công trình xây dựng và nhiều loại công trình biển khác nhau, do chúng có rất nhiều ưu điểm so với các loại vật liệu khác, như: tuổi thọ lớn, cường độ cao, dễ dàng thi công để tạo ra kết cấu công trình có nhiều hình dạng, kích thước khác nhau; có độ bền lớn đối với tác động ăn mòn trong môi trường xâm thực (Anufrieva, 2009; Tang Van Lam và nnk, 2019).

Trong những năm gần đây, quá trình xây dựng công trình biển trên thế giới chủ yếu tập trung vào việc xây dựng các công trình ở các khu vực ven biển và thềm lục địa (Mehta, 2003; Phạm Hữu Hanh và nnk, 2015). Các dạng công trình hạ tầng ven biển bao gồm: Trụ bê tông của cầu, đập trọng lực của máy thủy điện, cửa vào và cửa xả của đường ống dẫn và thoát nước, tường chắn, cầu cảng, bến cảng, âu thuyền... phải chịu ảnh hưởng của yếu tố khô - ẩm dưới tác động của nhiệt độ môi trường và sự mài mòn của dòng chảy xoáy. Ngoài ra, phổ biến nhất là môi trường chứa ion sun phát ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), sẽ gây ra sự ăn mòn sun phát đối với kết cấu bê tông (Safarov, 2017; Ryazanova, 2016) và sẽ đặc biệt nguy hiểm khi đồng thời sự xuất hiện sự ăn mòn do thẩm thấu kiềm cốt liệu ở bên trong và ăn mòn sun phát bên ngoài của bê tông (Safarov và nnk, 2016; Si-Huy Ngo và nnk, 2018). Trong môi trường xâm thực có chứa ion  $\text{SO}_4^{2-}$  với nồng độ lớn hơn 300 mg/l ion sun phát sẽ thâm nhập vào trong vi cấu trúc của bê tông gây ra hiện tượng ăn mòn sun phát (Phạm Hữu Hanh nnk, 2015; Ryazanova, 2016). Sự phá hủy vi cấu trúc do khoáng Ettringite, loại khoáng có tính nở thể tích mạnh, hình thành trong các phản ứng của các ion sun phát với các thành phần khoáng của bê tông chính là nguyên nhân dẫn đến việc nứt vỡ cấu trúc, giảm cường độ và có thể làm cho kết cấu bị hư hỏng hoàn toàn (Tikal'sky, 2008).

Theo nhiều kết quả nghiên cứu (Chiara, 2006; Ngo Xuan Hung và nnk, 2018) thì hiệu quả của bê tông chống lại sự tấn công của sun phát có liên quan đến tính chống thấm và khối lượng riêng của nó. Hơn nữa, trong các nghiên cứu (Sahmaran và nnk, 2007) đã chỉ ra rằng độ nở thể tích của bê tông trong các môi

\* Tác giả liên hệ

Email: lamvantang@gmail.com

trường xâm thực mạnh phụ thuộc chủ yếu vào thành phần cấp phối của hỗn hợp bê tông và đặc biệt là loại xi măng được sử dụng. Đồng thời cũng nhận định việc sử dụng tổ hợp các phụ gia khoáng biến tính đã có tác dụng làm chặt và lấp đầy vi cấu trúc bê tông khi đông rắn. Nghiên cứu về ảnh hưởng phụ gia khoáng - hóa đến mật độ, cường độ và độ bền của bê tông dùng trong công trình biển và công trình thủy cũng đã được quan tâm và nghiên cứu (Chindaprasirt và nnk, 2007; Tang Van Lam và nnk, 2017).

Trong bài viết này trình bày kết quả của nghiên cứu độ nở sun phát trong môi trường  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  5% của mẫu bê tông có sử dụng xi măng lãng bền sun phát và tổ hợp phụ gia khoáng - hóa biến tính bao gồm: tro bay nhiệt điện, silica fume SF90 và phụ gia siêu dẻo SR 5000F. Đồng thời sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm bậc nhất đối với bốn biến đầu vào để mô phỏng ảnh hưởng của tổ hợp phụ gia này đến độ nở sun phát của bê tông ở tuổi 28 ngày.

## 2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Vật liệu sử dụng

Trong nghiên cứu này đã sử dụng các loại vật liệu như sau:

- Chất kết dính sử dụng gồm: hỗn hợp của Portland bền sun phát, tro bay nhiệt điện và silica fume. Xi măng Portland bền sun phát PC40 Hoàng Thạch (X) với khối lượng riêng là  $3,15\text{g}/\text{cm}^3$  và cường độ nén trung bình ở tuổi 28 ngày là  $48,6\text{MPa}$ . Tro bay (TB) của nhà máy nhiệt điện Vĩnh Tân 4 và silica fume SF90 (SF90) được cung cấp bởi nhà sản xuất “Vina Pacific” với hàm lượng  $\text{SiO}_2$  hoạt tính lần lượt là 54,62% và 91,65%.

- Cốt liệu sử dụng gồm cát vàng sông Lô và đá dăm từ đá vôi. Cát vàng của sông Lô (C) loại thô với mô đun độ lớn  $M_K = 3,1$ ; khối lượng riêng  $2,65\text{g}/\text{cm}^3$ ; khối lượng thể tích trung bình ở trạng thái đầm chặt  $1650\text{kg}/\text{m}^3$ . Đá dăm được nghiền đá vôi (Đ) với  $D_{\max}=10\text{mm}$ , khối lượng riêng  $2,65\text{g}/\text{cm}^3$ , khối lượng thể tích trung bình ở trạng thái đầm chặt  $1540\text{kg}/\text{m}^3$ . Thành phần hạt của cốt liệu lớn và cốt liệu nhỏ thỏa mãn yêu cầu theo TCVN 7572:2006.

- Phụ gia siêu dẻo (SD) loại SR 5000F của nhà sản xuất “SilkRoad” với khối lượng riêng  $1,1\text{g}/\text{cm}^3$  ở nhiệt độ  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ , được sử dụng để giảm tỷ lệ nước/xi măng, nhưng vẫn giữ được tính công tác tốt của hỗn hợp bê tông và tăng cường động của bê tông nghiên cứu.

- Nước sạch (N) được sử dụng để làm nước nhào trộn hỗn hợp bê tông và bảo dưỡng mẫu thí nghiệm sau khi đúc.

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu

- Cấp phối sơ bộ của hỗn hợp bê tông xác định theo tiêu chuẩn TCVN 8218:2009; ACI 211.4R-2008 (America) và kết hợp với phương pháp thể tích tuyệt đối.

- Tính công tác của hỗn hợp bê tông được xác định thông qua độ sụt (SN, cm) của côn hình nón cụt tiêu chuẩn, phù hợp với tiêu chuẩn GOST 10181-2014 (Russian).

- Cường độ nén của bê tông được xác định trên mẫu hình lập phương, cạnh 15 cm theo tiêu chuẩn GOST 10180-2012 (Russian).

- Độ nở sun phát của mẫu bê tông trong môi trường  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  5% thí nghiệm theo tiêu chuẩn GOST P 56687-2015 (GOST R 56687-2015, 2015) trên các mẫu thí nghiệm tiêu chuẩn có kích thước  $25 \times 25 \times 285$  mm và  $70 \times 70 \times 280$  mm.

- Để mô phỏng ảnh hưởng của tổ hợp phụ gia khoáng-hóa biến tính đến độ nở sun phát của các mẫu bê tông trong môi trường  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  5%, nghiên cứu này đã được thực hiện theo phương pháp quy hoạch thực nghiệm bậc nhất đối với bốn biến ảnh hưởng (Nguyễn Minh Tuyền, 2007; Astakhova, 2013).

## 3. Kết quả và thảo luận

### 3.1. Yêu cầu và tính toán cấp phối sơ bộ của hỗn hợp bê tông nghiên cứu

Hỗn hợp bê tông và bê tông dùng trong công trình ven biển và trên các hải đảo cần đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật của TCVN 8218:2009, cụ thể như sau:

- Tính công tác của hỗn hợp bê tông xác định theo độ sụt của côn hình nón cụt tiêu chuẩn  $\text{SN}=9 \div 20\text{cm}$ .

- Bê tông dùng cho công trình ven biển đảm bảo mức thiết kế M400 ở tuổi 28 ngày với hệ số an toàn  $k = 1,15$  theo TCVN 9382:2012. Cường độ bê tông kháng nén thiết kế ở tuổi 28 ngày đạt trên  $50\text{MPa}$ .

- Sử dụng tro bay và silica fume SF90 để thay thế lần lượt 30% (ACI 211.4R-2008) và 10% khối lượng xi măng Poóc lãng bền sun phát trong hỗn hợp bê tông (Ngo Xuan Hung và nnk, 2018).

- Hàm lượng phụ gia siêu dẻo SR 5000F được sử dụng bằng 1% khối lượng xi măng bền sun phát (Lam Van Tang và nnk, 2018).

- Từ kết quả của các nghiên cứu trước đây (Ngo Xuan Hung và nnk, 2018; Tang Van Lam và nnk, 2019) đã chọn được tỉ lệ nước/chất kết dính ban đầu là  $\text{N}/\text{CKD} = 0,3$ . Thể tích của không khí cuốn vào là 2,5%.

Sử dụng tiêu chuẩn TCVN 8218:2009; ACI 211.4R-2008 và kết hợp với quá trình thực nghiệm điều chỉnh đã xác định được thành phần cấp phối cơ sở của hỗn hợp bê tông như trong Bảng 1. Các tính chất cơ - lý của bê tông với thành phần từ cấp phối sơ bộ đã được xác định và liệt kê trong Bảng 2.

Bảng 1. Cấp phối và tính chất của hỗn hợp bê tông thí nghiệm

Cấp phối bê tông (kg/m <sup>3</sup> )							N CKD	SN (cm)	Khối lượng thể tích trung bình của hỗn hợp bê tông (kg/m <sup>3</sup> )
X	C	Đ	TB	SF-90	SD	N			
405	595	1027	122	40,3	4,0	170	0,3	16	2355

Bảng 2. Tính chất của bê tông nghiên cứu

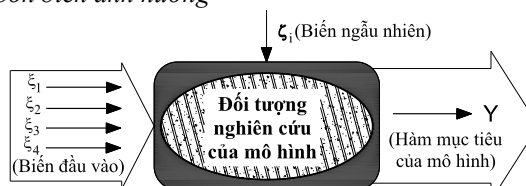
Cường độ kháng nén của bê tông (MPa) tại các tuổi thí nghiệm					Cường độ kéo khi uốn của bê tông ở tuổi 28 ngày (MPa)	Khối lượng thể tích trung bình (kg/m <sup>3</sup> )	Tính chống thấm nước ở tuổi 28 ngày (MPa)
1 ngày	3 ngày	7 ngày	14 ngày	28 ngày			
23,5	34,5	48,1	50,8	58,2	4,2	2286	0,66

Từ các kết quả thực nghiệm trong Bảng 1 và 2, thấy được rằng: thành phần cấp phối của hỗn hợp bê tông nghiên cứu có tính công tác thỏa mãn điều kiện thiết kế ban đầu và cường độ nén ở tuổi 28 ngày có độ lớn 58,2MPa, đặc biệt tại tuổi 14 ngày cường độ kháng nén của mẫu thí nghiệm đã đạt trên 50MPa. Ngoài ra, giá trị cường độ nén thực nghiệm đã cho thấy rằng tốc độ phát triển cường độ của loại bê tông là khá nhanh, ngay ở tuổi 1 ngày đã được trên 40% cường độ tính toán ở 28 ngày.

### 3.2. Mô phỏng ảnh hưởng của các biến ảnh hưởng đến độ nở sun phát của bê tông

#### 3.2.1. Xây dựng mô hình thực nghiệm bậc nhất cho bốn biến ảnh hưởng

Phương pháp quy hoạch thực nghiệm nhằm mục đích tạo ra mô hình toán học để mô phỏng và dự đoán ảnh hưởng của các biến đầu vào đến tính chất của đối tượng thực nghiệm, được coi là các hàm mục tiêu đầu ra của quá trình nghiên cứu (Nguyễn Minh Tuyên, 2007; Astakhova, 2013). Cấu trúc của mô hình thực nghiệm trong nghiên cứu này được mô tả trên hình 1.



Hình 1. Cấu trúc mô hình thực nghiệm

Trong nghiên cứu này đã sử dụng mô hình thực nghiệm bậc nhất đối với bốn biến để nghiên cứu về ảnh hưởng của tỉ lệ N/CKD và hỗn hợp phụ gia biến tính (Tro bay, silicafume và phụ gia siêu dẻo) đến độ nở sun phát trung bình của bê tông. Bên cạnh đó hàm lượng cát vàng (C, kg) và đá dăm (Đ, kg) được giữ không đổi như trong cấp phối cơ sở (theo bảng 3) và tương ứng bằng 595 kg và 1027 kg.

Hàm mục tiêu  $Y$  của mô hình thực nghiệm bậc nhất trong nghiên cứu này đã lựa chọn là hàm đa biến biểu diễn độ nở sun phát trung bình ( $\varepsilon_{28}$ , %) của các mẫu bê tông với kích thước 70x70x280mm sau 28 ngày thí nghiệm trong dung dịch  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  5%, được xác định theo công thức (1):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \xi_1 + \beta_2 \xi_2 + \beta_3 \xi_3 + \beta_4 \xi_4 + \beta_5 \xi_1 \cdot \xi_2 + \beta_6 \xi_1 \cdot \xi_3 + \beta_7 \xi_1 \cdot \xi_4 + \beta_8 \xi_2 \cdot \xi_3 + \beta_9 \xi_2 \cdot \xi_4 + \beta_{10} \xi_3 \cdot \xi_4 + \beta_{11} \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3 + \beta_{12} \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_4 + \beta_{13} \xi_1 \cdot \xi_3 \cdot \xi_4 + \beta_{14} \xi_2 \cdot \xi_3 \cdot \xi_4 + \beta_{15} \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3 \cdot \xi_4 \quad (1)$$

Trong đó:  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \dots$  và  $\beta_{15}$  - là các hệ số của phương trình hồi quy;  
 $\xi_1, \xi_2, \xi_3$  và  $\xi_4$  - là các biến ảnh hưởng mô hình thực nghiệm.

Các biến đầu vào ảnh hưởng đến mô hình thực nghiệm và các khoảng giá trị khảo sát đã được chọn tương ứng và trình bày ở Bảng 3.

Số lượng điểm thí nghiệm trong quy hoạch thực nghiệm bậc nhất cho bốn biến ảnh hưởng đầu vào được xác định theo công thức (2) (Nguyễn Minh Tuyên, 2007; Astakhova L.G., 2013):

$$N = 2^k = 2^4 = 16, \text{ (với } k \text{ là số biến ảnh hưởng, } k = 4) \quad (2)$$

Thành phần cấp phối của hỗn hợp bê tông trong thực nghiệm được tính toán chi tiết trên cơ sở các tỷ lệ trong Bảng 3 và kết hợp với phương pháp thể tích tuyệt đối và tiết hành thí nghiệm trong phòng thí nghiệm. Từ các thành phần cấp phối, quá trình chế tạo mẫu tiêu chuẩn theo GOST P 56687-2015, các giá trị độ nở sun phát trung bình của mẫu bê tông sau 28 ngày thí nghiệm trong môi trường  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  5% đã được xác định và thể hiện cụ thể trong Bảng 4.

Bảng 3. Khoảng biến thiên các biến số trong kế hoạch thực nghiệm bậc nhất

TT	Các biến ảnh hưởng đầu vào		Các điểm quy hoạch bậc nhất trên mô hình			Khoảng biến thiên (δ)
	Biến thực	Biến mã hóa	-1	0	+1	
1	Tỉ lệ nước/chất kết dính - N/CKD	$\xi_1$	0,26	0,30	0,34	0,04
2	Hàm lượng tro bay - TB (%)	$\xi_2$	20	30	40	10
3	Hàm lượng Silicafume - SF90 (%)	$\xi_3$	5	10	15	5
4	Hàm lượng phụ gia siêu dẻo - SD (%)	$\xi_4$	0,5	1	1,5	0,5

Bảng 4. Độ nở Sun phát trung bình của bê tông trong môi trường  $Na_2SO_4$  5%

TT	Biến mã hóa				Biến thực				Độ nở sun phát trung bình ở tuổi 28 ngày $Y = \varepsilon_{28}$ (%)						Phương sai, $S_i^2 \cdot 10^{-7}$
	$\xi_1$	$\xi_2$	$\xi_3$	$\xi_4$	$\frac{N}{CKD}$	TB (%)	SF90 (%)	SD (%)	$\varepsilon_1 \cdot 10^{-2}$	$\varepsilon_2 \cdot 10^{-2}$	$\varepsilon_3 \cdot 10^{-2}$	$Y_i^{tb} \cdot 10^{-2}$	$\bar{Y}_i \cdot 10^{-2}$	$(Y_i^{tb} - \bar{Y}_i)^2 \cdot 10^{-6}$	
1	+	+	+	+	0,34	40	15	1,5	3,42	3,52	3,51	3,48	3,49	0,0002	3,03
2	-	+	+	+	0,26	40	15	1,5	1,92	2	1,95	1,96	2,62	44,3334	1,63
3	+	-	+	+	0,34	20	15	1,5	1,41	1,45	1,42	1,43	1,70	7,5167	0,43
4	-	-	+	+	0,26	20	15	1,5	1,08	1,15	1,16	1,13	0,83	8,4827	1,90
5	+	+	-	+	0,34	40	5	1,5	4,31	4,35	4,2	4,29	4,20	1,2284	6,03
6	-	+	-	+	0,26	40	5	1,5	3,12	3,3	3,24	3,22	3,33	0,8789	8,40
7	+	-	-	+	0,34	20	5	1,5	1,52	1,55	1,56	1,54	2,41	72,0377	0,43
8	-	-	-	+	0,26	20	5	1,5	1,34	1,32	1,35	1,34	1,53	3,7378	0,23
9	+	+	+	-	0,34	40	15	0,5	3,51	3,56	3,64	3,57	3,49	0,7296	4,30
10	-	+	+	-	0,26	40	15	0,5	2,8	3,1	2,94	2,95	2,62	10,5084	22,53
11	+	-	+	-	0,34	20	15	0,5	1,56	1,43	1,51	1,50	1,70	4,0334	4,30
12	-	-	+	-	0,26	20	15	0,5	1,28	1,31	1,25	1,28	0,83	19,4702	0,90
13	+	+	-	-	0,34	40	5	0,5	4,35	4,65	4,05	4,35	4,20	3,0334	90,00
14	-	+	-	-	0,26	40	5	0,5	3,25	3,47	3,42	3,38	3,33	0,4389	13,30
15	+	-	-	-	0,34	20	5	0,5	3,34	3,5	3,2	3,35	2,41	91,1229	22,53
16	-	-	-	-	0,26	20	5	0,5	1,38	1,35	1,35	1,36	1,53	2,8900	0,30
MaxS <sup>2</sup> = 9.10 <sup>-6</sup>					$\sum (Y_i^{tb} - \bar{Y}_i)^2 = 27,467.10^{-5}$						$S_{ii}^2 = \sum S_i^2 = 180,266.10^{-7}$				

a). Kiểm tra độ tin cậy của mô hình thực nghiệm theo chuẩn số Kochren.

Từ các giá trị thực nghiệm thu được trong bảng 4 đã tiến hành kiểm tra độ tin cậy của mô hình thực nghiệm theo chuẩn số Kochren:

- Phương sai lập ( $S_{ii}^2$ ) của kết quả thí nghiệm được tính theo công thức sau:

$$S_{ii}^2 = \sum S_i^2 = 180,266.10^{-7} \text{ và } \max S^2 = 9.10^{-6} \text{ (Bảng 4).}$$

- Giá trị tính toán chuẩn số Kochren ( $G_{tt}$ ) theo công thức (3):  $G_{tt} = \frac{S_{\max}^2}{S_{ii}^2} = \frac{9.10^{-6}}{180,266.10^{-7}} = 0,499$  (3)

Giá trị tra bảng của chuẩn số Kochren  $G_{\alpha}(f_1, f_2)$  được xác định theo bảng phân bố các giá trị của chuẩn số Kochren tại bảng số 4.36 của tài liệu (Bolshev L.N. và nnk, 1983) với sai số  $\alpha = 0,05$  và các bậc tự do:  $f_1 = k-1 = 4-1 = 3$ ;  $f_2 = N = 16$ . Thu được:  $G_{0,05}(3, 16) = 0,5466$ .

Vì  $G_{0,05}(3, 16) > G_{tt}$  như vậy các giá trị thực nghiệm thu được là rất đáng tin cậy.

b). Lập phương trình hồi quy bậc nhất

Sử dụng phần mềm Matlab và các công thức toán học theo lý thuyết quy hoạch thực nghiệm bậc nhất đã thu được phương trình đầy đủ của hàm hồi quy (4):

$$\begin{aligned}
 Y = & 0,0251 + 0,0043\xi_1 + 0,0089\xi_2 - 0,0035\xi_3 - 0,0021\xi_4 + 0,00092\xi_1.\xi_2 - 0,00098\xi_1.\xi_3 \\
 & - 0,00044\xi_1.\xi_4 - 0,00064\xi_2.\xi_3 + 0,00047\xi_2.\xi_4 + 0,00047\xi_3.\xi_4 - 0,00112\xi_1.\xi_2.\xi_3 \\
 & - 0,0017\xi_1.\xi_2.\xi_4 + 0,0017\xi_1.\xi_3.\xi_4 - 0,0015\xi_2.\xi_3.\xi_4 - 0,00066\xi_1.\xi_2.\xi_3.\xi_4.
 \end{aligned} \quad (4)$$

c). Kiểm tra tính có nghĩa của các hệ số trong phương trình (4)

Kiểm tra tính có nghĩa của các hệ số trong phương trình (4) được đánh giá theo chuẩn số Student ( $t_{\alpha}(f_2)$ ). Hệ số  $\beta_j$  được coi là có nghĩa nếu:  $t_{\beta_j} \geq t_{\alpha}(f_2)$ , (5)

Trong đó:  $t_{\alpha}(f_2)$  - là giá trị tra bảng độ lớn chuẩn số Student với mức độ có nghĩa  $\alpha = 0,025$  và bậc tự do lặp  $f_2 = N \times (k-1) = 16 \times (4-1) = 48$  từ bảng 3.2 của tài liệu (Bolshev L.N. và nnk, 1983) thu được  $t_{0,025}(48) = 2,4066$ .

- Giá trị tính toán chuẩn số Student ( $t_{\beta_j}$ ) đối với hệ số  $\beta_j$  xác định theo công thức:  $t_{\beta_j} = \frac{|\beta_j|}{S_{\beta_j}} \Rightarrow |\beta_j| = t_{\beta_j} \times S_{\beta_j}$ , (6)

- Độ lệch chuẩn ( $S_{\beta_j}$ ) của các hệ số trong hàm hồi quy xác định theo công thức:  $S_{\beta_j} = \sqrt{\frac{S_{\text{II}}^2}{N}}$ , (7)

+ Với  $N$  là tổng số thí nghiệm ( $N = 16$ ) và  $S_{\text{II}}^2 = \sum S_i^2 = 180,266.10^{-7}$  (Bảng 4).

Đã thu được:  $S_{\beta_j} = \sqrt{\frac{180,266.10^{-7}}{16}} = 0,00106$ .

Theo điều kiện của giá trị chuẩn số Student:  $t_{\beta_j} \geq t_{\alpha}(f_2)$  trong đó  $t_{\beta_j} = \frac{|\beta_j|}{S_{\beta_j}} \Rightarrow |\beta_j| \geq t_{\alpha}(f_2) \times S_{\beta_j}$ .

Do đó, hệ số  $\beta_j$  của phương trình hàm hồi quy được cho là có nghĩa nếu thỏa mãn điều kiện:

$$|\beta_j| \geq t_{0,025}(48) \times S_{\beta_j} = 2,4066 \times S_{\beta_j} = 2,4066 \times 0,00106 = 0,00255.$$

Sau khi loại bỏ các hệ số không có nghĩa đã thu được phương trình hồi quy thu gọn:

$$Y = 0,0251 + 0,0043\xi_1 + 0,0089\xi_2 - 0,0035\xi_3 \quad (8)$$

#### d). Kiểm tra tính tương hợp của mô hình thực nghiệm

Tính tương hợp của mô hình thực nghiệm này được kiểm tra theo chuẩn số Fisher như sau:

- Tính phương sai dư ( $S_d^2$ ) của mô hình theo công thức:  $S_d^2 = \frac{\sum (Y_i^{\text{th}} - \bar{Y}_i)^2}{N - m}$  (9)

Trong đó:  $Y_i^{\text{th}}$  và  $\bar{Y}_i$  - Giá trị trung bình của từng thí nghiệm và giá trị tính toán theo phương trình (8);  $N$  - Số thí nghiệm ( $N = 16$ );  $m$  - Số các hệ số trong phương trình hồi quy (8) ( $m = 4$ ).

$\sum (Y_i^{\text{th}} - \bar{Y}_i)^2 = 27,467.10^{-5}$  (Bảng 5) và thu được  $S_d^2 = \frac{27,467.10^{-5}}{16 - 4} = 2,288.10^{-5}$

- Tính phương sai lặp ( $S_{\text{II}}^2$ ) của kết quả thí nghiệm:  $S_{\text{II}}^2 = \sum S_i^2 = 180,266.10^{-7}$ .

Vậy giá trị tính toán của chuẩn số Fisher thu được:  $F_{\text{tt}} = \frac{S_d^2}{S_{\text{II}}^2} = \frac{2,288.10^{-5}}{180,266.10^{-7}} = 1,269$ .

Giá trị tra bảng của chuẩn số Fisher  $F_{\alpha}(f_1, f_2)$  được xác định theo bảng phân bố chuẩn số Fisher trong bảng 3.5 của tài liệu (Bolshev L.N. và nnk, 1983) với các bậc tự do  $f_1 = N = 16$  và  $f_2 = N - m = 16 - 4 = 12$  tại sai số  $\alpha = 0,01$  đã thu được giá trị tra bảng của chuẩn số Fisher  $F_{0,01}(16, 12) = 4,0096$ .

Vì  $F_{\text{tt}} = 1,269 < F_{0,01}(16, 12) = 4,0096$ , do đó mô hình thực nghiệm được mô tả bằng phương trình hồi quy (8) được coi là tương hợp với bức tranh thực nghiệm và phản ánh đúng quy luật phụ thuộc bậc nhất của hàm mục tiêu vào các biến thí nghiệm  $\xi_1, \xi_2$  và  $\xi_3$ .

Từ phương trình hồi quy (8) cho thấy khi tăng tỉ lệ  $N/CKD$  (biến  $\xi_1$ ) và hàm lượng tro bay (biến  $\xi_2$ ), đồng thời giảm hàm lượng silica fume SF90 (biến  $\xi_3$ ) thì độ nở sun phát trung bình của các mẫu bê tông ở tuổi 28 ngày tăng. Sự gia tăng độ nở sun phát của mẫu bê tông cùng với sự gia tăng hàm lượng tro bay trong khoảng nghiên cứu đã được giải thích bởi khi lượng dùng tro bay là đáng kể, có chứa 24,17%  $Al_2O_3$  và 6,15%  $Fe_2O_3$ , trong môi trường  $Na_2SO_4$  5% và đồng thời có mặt  $Ca(OH)_2$  tự do trong vi cấu trúc của bê tông, đã thúc đẩy sự hình thành trong mao quản của đá xi măng các khoáng hydrosunfat aluminat canxi và hydrosunfat ferrit canxi, bao gồm cả Ettringite ngậm nhiều phân tử nước và trương nở thể tích. Mặt khác, ảnh hưởng của hàm lượng phụ gia siêu dẻo SR 5000F (biến  $\xi_4$ ) trong khoảng từ 0,5% đến 1,5% đối với độ nở sun phát trung bình của các mẫu thí nghiệm ở trong môi trường Sun phát Natri 5% là không đáng kể và có thể bỏ qua.

#### 4. Kết luận.

Dựa trên các kết quả thí nghiệm thu được, có thể rút ra kết luận sau:

1. Trên cơ sở các loại vật liệu sẵn có kết hợp với tổ hợp phụ gia biến tính gồm: Tro bay, silicafume và

phụ gia siêu dẻo đã thu được bê tông có cường độ kháng nén là 58,2 MPa và cường độ kéo khi uốn là 4,2 MPa ở tuổi 28 ngày và tính chống nước ở tuổi 28 ngày bằng 0,66 MPa, đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 9346:2012 và có thể được sử dụng trong kết cấu bê tông cốt thép trong môi trường ăn mòn, xâm thực của nước biển.

2. Bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm đã thu được hàm mục tiêu là phương trình hồi quy bậc nhất số (8). Đồng thời, phương trình hồi quy thu được đã mô tả đầy đủ sự phụ thuộc của độ nở sun phát trung bình của các mẫu bê tông tại tuổi 28 ngày thí nghiệm trong môi trường Sun phát Natri 5% đến bốn biến ảnh hưởng  $\xi_1$  (tỷ lệ N/CKD),  $\xi_2$  (hàm lượng tro bay),  $\xi_3$  (hàm lượng silica fume SF90) và  $\xi_4$  (hàm lượng phụ gia siêu dẻo SR 5000F).

3. Trong phạm vi nghiên cứu, các biến khảo sát gồm: tỷ lệ (N/CKD), các hàm lượng tro bay và silica fume SF90 có ảnh hưởng đáng kể đến độ nở thể tích ở tuổi 28 ngày trong môi trường sun phát của các mẫu bê tông. Tuy nhiên, ảnh hưởng của hàm lượng phụ gia siêu dẻo SR 5000F đến độ nở sun phát của bê tông là không đáng kể và có thể bỏ qua.

### Tài liệu tham khảo

ACI 211.4R-2008, 2008. Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash. 2010. 13 p.

Astakhova L.G., 2013. Lectures on the discipline "Mathematical theory of experimental design". Vladikavkaz. (In Russia)

Bolshev L.N., Smirnov N.V., 1983. Tables of mathematical statistics. Publisher Mosow. (In Russia)

Chiara F.F., Paul E.S., Kenneth A.S., 2006. Sulfate Resistance of Concrete: A New Approach. Published by PCA.

Chindaprasirt P., Kanchanda P., Sathonsaowaphak A., Cao H.T., 2007. Sulfate resistance of blended cements containing fly ash and rice husk ash. *Construction and Building Materials*, 21(6), 1356-61.

GOST R 56687-2015., 2015. Protection of concrete and reinforced concrete structures from corrosion. Method for determining the sulfate resistance of concrete. Moscow. (In Russia)

Mehta K.P., 2003. Concrete in the marine environment. Taylor & Francis Books.

Phạm Hữu Hanh, Lê Trung Thành, 2015. Bê tông công trình biển. NXB Xây dựng, Hà Nội.

Ngo Xuan Hung, Tang Van Lam, Bulgakov B.I., Alexandrova O.V., Larsen, O.A., Ha Hoa Ki, Melnikova A.I., 2018. Effect of rice husk ash on the properties of hydraulic concrete. *Scientific and Engineering Journal for Construction and Architecture*, 6 (117), 768-777. (In Russia)

Tang Van Lam, Ngo Xuan Hung, Vu Kim Dien, Nguyen Trong Chuc, Bulgakov B.I., Bazhenova O.Y., 2019. Effect of water-binder ratio and complex organic-mineral additive on properties of concrete for marine hydrotechnical constructions. *Industrial and Civil Engineering*, 3, 11-21. (In Russia)

Lam Van Tang, Bulgakov B., Aleksandrova O., Anh Ngoc Pham, Bazhenov Y., 2018. Effect of rice husk ash on hydrotechnical concrete behavior. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*.

Tikalsky P.J., Beh D.E., 2008. Synthesis guide to best practices for corrosion resistant concrete. Utah Department of Transportation, Salt Lake City, Utah, USA, report UT-08.27.

Nguyễn Minh Tuyên, 2007. Quy hoạch thực nghiệm. NXB Khoa học và Kỹ thuật. Hà Nội.

Ryazanova V.A., 2016. Features of sulfate corrosion of concrete in conditions of directional moisture transfer. *Bashkir Chemical Journal*, 23(3), 45-52. (In Russia)

Safarov K.B., Stepanova V.F., Falikman V.R., 2017. The effect of mechanically activated low-calcium fly ash on the corrosion resistance of hydraulic concrete of the Rogun hydroelectric station. *Building materials*, 9, 20-24. (In Russia)

Safarov K.B., Stepanova V.F., 2016. Regulation of the reactivity of aggregates and increase the sulfate resistance of concrete by the combined use of low-calcium fly ash and highly active metakaolin. *Building materials*, 5, 70-74. (In Russia)

Sahmaran M., Kasap O., Duru K., Yaman I.O., 2007. Effects of mix composition and water-cement ratio on the sulfate resistance of blended cements. *Cement and Concrete composites*, 29(3), 159-167.

Si-Huy Ngo, Trong-Phuoc Huynh, Thanh-Tam Thi Le, Ngoc-Hang Thi Mai, 2018. Effect of high loss on ignition-fly ash on properties of concrete fully immersed in sulfate solution. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 371(012007).

Nguyễn Minh Tuyên, 2007. Quy hoạch thực nghiệm. NXB Khoa học và Kỹ thuật. Hà Nội.



## ABSTRACT

### Effects of complex organo-mineral additive on the sulphate expansion of concrete used for marine construction

Tang Van Lam <sup>1,\*</sup>, Pham Duc Luong<sup>1</sup>, Pham Ngoc Duong<sup>1</sup>, Ngo Xuan Hung<sup>1,2</sup>, Bulgakov Boris Igorevich<sup>2</sup>, Dang Van Phi<sup>1,3</sup>, Nguyen Tai Nang Luong<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Hanoi University of Mining and Geology*

<sup>2</sup>*National Research Moscow State University of Civil Engineering, Russian Federation*

<sup>3</sup>*SEJONG University, South Korea*

<sup>4</sup>*University of Fire prevention and Fighting*

This paper presents the experimental results of an investigation on the effect of the water-binding ratio (W/B) and the complex organo-mineral modifying additive, consisting of fly ash (FA) TPP "Vinh Tan 4", silica fume SF90 (SF90) and polycarboxylate superplasticizer SR 5000F (SR5000) on the deformations of concrete specimens fully immersed in 5% sodium sulfate solution according to Russian standard GOST P 56687-2015. In addition, using the mathematical planning method for four factors and the Matlab program obtained the first-order regression equation of the mathematical model, which was adequately described the influence of the W/B, FA, SF90 and SR5000 contents on the sulphate expansion of concrete. From the regression equation shows the W/B ratio, the contents of FA and SF90 have a significant effect on the sulphate expansion of concrete samples, while the effect of SR5000 content on the objective function is negligible, so it was discarded.

*Keywords:* Sulfate-resistant Portland cement; sulphate expansion; complex organo-mineral additive; experimental model; objective function.

# KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG



ISBN 978-604762277-1



9 786047 622771