MÔ PHỎNG ẢNH HƯỞNG CỦA HỖN HỢP PHỤ GIA KHOÁNG BIẾN TÍNH ĐẾN ĐỘ NỞ SUN PHÁT CỦA BÊ TÔNG DÙNG TRONG CÁC CÔNG TRÌNH THỦY

Tăng Văn Lâm[1], Nguyễn Đình Trinh[2], Nguyễn Doãn Tùng Lâm[1] và Bulgakov Boris Igorevich[1]

Tóm tắt: *Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu tính chất của bê tông dùng để xây dựng công trình thủy, có thành phần cấp phối sơ bộ được xác định theo tiêu chuẩn ACI 211.4R-2008. Bên cạnh đó đã mô phỏng sự ảnh hưởng của bốn biến gồm: tỷ lệ nước/chất kết dính (N/CKD), hàm lượng tro bay nhiệt điện (TB), silica fume SF-90 (SF-90) và phụ gia siêu dẻo SR 5000F (SD) đến độ nở sun phát của mẫu bê tông được xác định theo tiêu chuẩn GOST P 56687-2015. Sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm bậc nhất đã xác định được mô hình toán học để mô phỏng ảnh hưởng của bốn biến đầu vào đến hàm mục tiêu, đồng thời biểu diễn bề mặt không gian và các đường đồng mức của hàm mục tiêu thu được. Từ phương trình hồi quy cho thấy tỷ lệ N/CKD, các hàm lượng của TB và SF-90 có ảnh hưởng đáng kể đến độ nở sun phát của mẫu bê tông thí nghiệm, trong khi đó hàm lượng SD không có ảnh hưởng đáng kể đến giá trị của hàm mục tiêu và có thể bỏ qua.*

Từ khóa: Xi măng poóc lăng bền sun phát, tro bay, silica fume, độ nở sun phát, cường độ nén, hỗn hợp phụ gia khoáng, quy hoạch thực nghiệm, phương trình hồi quy.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bê tông có khả năng chống ăn mòn đã được sử dụng trong xây dựng các công trình thủy 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 tạo ra kết cấu công trình có nhiều hình dạng khác nhau; có độ bền lớn đối với tác động ăn mòn trong môi trường xâm thực (Anufrieva E. V., 2009; Phạm Hữu Hanh nnk., 2006; Lam Van Tang et al., 2019).

Theo các nghiên cứu (Mehta K. P., 2003; Phạm Hữu Hanh nnk., 2015), trong thế kỷ XXI, quá trình xây dựng công trình thủy trên thế giới chủ yếu tập trung vào việc xây dựng các công trình ở các khu vực ven biển và thềm lục địa. Các dạng công trình thủy 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 (SO_4^{2-}), sẽ gây ra sự ăn mòn sun phát đối với kết cấu bê tông (Safarov K. B., 2017; Ryazanova V. A., 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 K. B. et al., 2016; Si-Huy Ngo et al., 2018).

Trong môi trường xâm thực có chứa ion 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 bê tông (Phạm Hữu Hanh nnk., 2015; Ryazanova V. A., 2016; Tang Van Lam et al., 2017). 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 (Ferronskaya A. V., 2006; Tikalsky P. J., 2008).

[1] *Bộ môn Công nghệ Bê tông và Chất kết dính, Đại học Xây dựng Quốc gia Mátxcơva*
[2] *Bộ môn Vật liệu xây dựng, khoa Công trình, Trường Đại học Thủy lợi*

Theo (Chiara F. F., 2006; Ngo Xuan Hung et al., 2018) 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 (Torii K. et al., 1995; Sahmaran M. et al.,2007; Irassar E. F. et al., 1996) đã chỉ ra rằng độ nở thể tích của bê tông trong các môi 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 đóng rắn. Nghiên cứu về ảnh hưởng của tổ hợp phụ gia khoáng biến tính 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 P. et al., 2007; Tang Van Lam et al., 2017).

Trong khuôn khổ bài viết này trình bày kết quả của nghiên cứu độ nở sun phát trong môi trường Na_2SO_4 5% của mẫu bê tông có sử dụng xi măng poóc lăng bền sun phát và tổ hợp phụ gia khoáng biến tính bao gồm: tro bay nhiệt điện, silica fume SF-90 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 các cấp phối bê tông nghiên cứu.

2. VẬT LIỆU SỬ DỤNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu sử dụng

1) Chất kết dính sử dụng bao gồm: Xi măng poóc lăng bền sun phát, tro bay nhiệt điện và silica fume. Xi măng poóc lăng bền sun phát (X) loại SEM I CC 42,5N được sản xuất tại nhà máy "Serebryakovutions" với khối lượng riêng là 3,15 g/cm^3. Kết quả phân tích các tính chất của xi măng bền sunphat đã được trình bày trong bảng 1 và 2.

Bảng 1. Thành phần khoáng và tính chất cơ-lý của xi măng poóc lăng bền sun phát

Thành phần khoáng (% khối lượng)					Độ dẻo tiêu chuẩn, %	Thời gian đông kết (phút)		Cường độ nén (MPa) ở tuổi	
C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	Thành phần khác		Bắt đầu	Kết thúc	3 ngày	28 ngày
55,6	25,55	3,25	12,4	3,2	29,8	125	258	32,5	48,6

Tro bay (TB) của nhà máy nhiệt điện tại khu vực "Kansko-Achinskogo" và silica fume SF-90 (SF-90) được cung cấp bởi nhà sản xuất "Elkem". Thành phần hóa học và tính chất vật lý của thành phần chất kết dính đã được liệt kê trong bảng 2.

Bảng 2. Thành phần hóa học và tính chất vật lý của xi măng poóc lăng bền sun phát, tro bay và silica fume SF-90

Loại vật liệu	Silica fume SF-90	Tro bay	Xi măng poóc lăng bền sun phát
SiO_2	91,65	54,62	21,48
Al_2O_3	2,25	24,17	4,46
Fe_2O_3	2,47	6,15	5,37
SO_3	-	2,81	2,15
K_2O	-	1,28	0,51
Na_2O	0,58	1,25	0,43
MgO	-	1,57	1,92
CaO	0,51	1,48	61,33
P_2O_5	-	1,63	-
Lượng mất khi nung	2,54	5,04	2,35
Khối lượng riêng (g/cm^3)	2,15	2,35	3,15
Khối lượng thể tích (kg/m^3)	765	572	1120

2) Cốt liệu sử dụng bao gồm: Cát thạch anh và đá dăm từ đá vôi. Cát vàng (C) của khu vực Schyolkovo được sử dụng làm cốt liệu nhỏ trong hỗn hợp bê tông với kích thước 0,15 ÷ 5 mm, môđun độ lớn M_k = 3,1, khối lượng riêng 2,65 g/cm^3 và khối lượng thể tích đầm chặt 1580 kg/m^3. Cốt liệu lớn sử dụng là đá dăm (Đ) có nguồn gốc từ mỏ đá vôi của mỏ đá Syktyvkar, với D_{max} = 10 mm, khối lượng riêng 2,65 g/cm^3 và khối lượng thể tích đầm chặt 1540 kg/m^3.

3) Phụ gia siêu dẻo (SD) loại SR 5000F của nhà sản xuất "SilkRoad" với khối lượng riêng 1,1 g/cm^3 ở nhiệt độ 20 ± 5^{o}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.

4) 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

- Sử dụng tiêu chuẩn ACI 211.4R-2008 để xác định thành phần sơ bộ của hỗn hợp bê tông.

- Độ lưu động của hỗn hợp bê tông được đánh giá theo độ sụt (SN, cm) của côn tiêu chuẩn dựa trên tiêu chuẩn GOST 10181-2014.

- Cường độ kháng nén và cường độ kéo khi uốn của bê tông được xác định theo tiêu chuẩn GOST 10180-2012.

- Cấu trúc vi mô của bê tông đã được nghiên cứu nhờ thiết bị kính hiển vi điện tử quét Quanta-450 (Nhật Bản) tại Viện công nghệ cao thuộc Đại học Mỏ- Địa chất (Hà Nội).

- Xác định độ nở thể tích của bê tông trong môi trường Na_2SO_4 5% được thực hiện theo yêu cầu kỹ thuật của tiêu chuẩn GOST P 56687-2015 (GOST R 56687-2015, 2015) trên các mẫu thí nghiệm có kích thước 70x70x280 mm.

- Mô phỏng ảnh hưởng của tỉ lệ N/CKD và tổ hợp phụ gia khoáng biến tính đến độ nở thể tích của các mẫu bê tông trong môi trường sun phát đã được thực hiện bởi phương pháp quy hoạch thực nghiệm bậc nhất đối với bốn biến ảnh hưởng (Nguyễn Minh Tuyển, 2007; Astakhova L. G., 2013).

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ BÀN LUẬN

3.1. Xác định cấp phối sơ bộ và các tính chất của bê tông

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

- Tính công tác của hỗn hợp bê tông được xác định bằng độ sụt (SN, cm) của côn tiêu chuẩn và dao động trong khoảng 9 ÷ 20 cm.

- Bê tông dùng cho công trình thủy đảm bảo mác M40 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 50 MPa.

- Sử dụng tro bay và silica fume SF-90 với hàm lượng lần lượt là 30% (ACI 211.4R-2008) và 10% (Ngo Xuan Hung et al., 2018) so với khối lượng xi măng poóc lăng trong hỗn hợp bê tông.

- Hàm lượng phụ gia siêu dẻo SR 5000F được sử dụng bằng 1% khối lượng xi măng poóc lăng (Lam Van Tang et al., 2018).

- Do nguồn vật liệu nghiên cứu ở Nga và dựa vào đặc tính giảm nước của phụ gia siêu dẻo đã sử dụng ở các nghiên cứu trước (Ngo Xuan Hung et al., 2018; Tang Van Lam et al., 2019), tỉ lệ nước/chất kết dính được lựa chọn là: N/CKD = 0,3.

Sử dụng tiêu chuẩn ACI 211.4R-2008 và kết hợp với quá trình thực nghiệm đã xác định được thành phần cấp phối cơ sở của hỗn hợp bê tông như trong bảng 3.

Bảng 3. Cấp phối và tính chất của hỗn hợp bê tông thí nghiệm

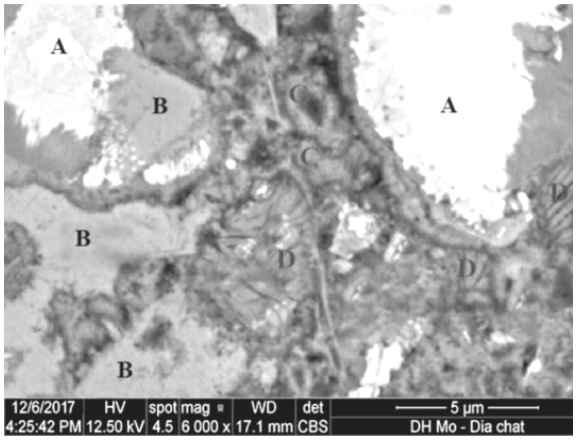
Cấp phối bê tông (kg/m^3)							$\frac{N}{CKD}$	SN (cm)	Khối lượng thể tích trung bình của hỗn hợp bê tông (kg/m^3)
X	C	Đ	TB	SF-90	SD	N			
403	595	1027	121	40,3	4,0	169	0,3	15,0	2354

Các tính chất cơ – lý của bê tông nghiên cứu đã được xác định và liệt kê trong bảng 4.

Bảng 4. 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^3)	Tính chống thấm nước ở tuổi 28 ngày (MPa)
1 ngày	3 ngày	7 ngày	14 ngày	28 ngày			
22,6	33,8	45,4	50,2	57,2	4,15	2285	0,6

Khảo sát vi cấu trúc đá xi măng bằng phương pháp chụp ảnh vi cấu trúc trên kính hiển vi điện tử quét "Quanta-450" tại Viện Công nghệ cao thuộc Đại học Mỏ-Địa chất Hà Nội đã thu được kết quả hình ảnh vi cấu trúc cùng các thành phần khoáng của đá xi măng trong mẫu bê tông với cấp phối trong bảng 3, được trình bày trong hình 1.



A – Hạt xi măng chưa thủy hóa.
B – Portlandit - $Ca(OH)_2$.
C – Khoáng Ettringite.
D – Hydro-silicat-canxi (C-S-H).

Hình 1. Vi cấu trúc của bê tông nghiên cứu ở tuổi 28 ngày (với độ phóng đại x 6000)

Từ kết quả thu được đã cho thấy, vi cấu trúc đá xi măng được sắp xếp chặt chẽ, các thành phần không có tính kết dính (Portlandit, phần xi măng chưa thủy hóa) vẫn chiếm một thể tích lớn. Bên cạnh đó do tỷ lệ N/CKD khảo sát thấp kết hợp với tổ hợp phụ gia khoáng biến tính đã ảnh hưởng đến quá trình hydrat hóa của xi măng để tạo thành những khoáng hydro-silicat-canxi (C-S-H) có tỷ lệ C/S lớn.

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

Trong nghiên cứu này đã sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm bậc nhất để nghiên cứu về ảnh hưởng của tỉ lệ N/CKD và hỗn hợp phụ gia khoáng biến tính đến độ nở sun phát trung bình của bê tông. Bên cạnh đó hàm lượng cát vàng và đá dăm 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 là hàm đa biến biểu diễn độ nở sun phát trung bình (ε_{28}, %) của các mẫu bê tông kích thước 70x70x280 mm sau 28 ngày thí nghiệm trong dung dịch Na_2SO_4 5%, được xác định theo công thức (1):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_1.x_2 + \beta_6 x_1.x_3 + \beta_7 x_1.x_4 + \beta_8 x_2.x_3 + \beta_9 x_2.x_4 + \beta_{10} x_3.x_4 + \beta_{11} x_1.x_2.x_3 + \beta_{12} x_1.x_2.x_4 + \beta_{13} x_1.x_3.x_4 + \beta_{14} x_2.x_3.x_4 + \beta_{15} x_1.x_2.x_3.x_4. \quad (1)$$

Trong đó: β_0, β_1, β_2, β_3, β_4, … và β_{15} – là các hệ số của phương trình hồi quy;

x_1, x_2, x_3 và x_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 5.

Bảng 5. Khoảng biến thiên các biến số trong kế hoạch thực nghiệm bậc nhất

Các biến ảnh hưởng		Các điểm quy hoạch bậc nhất			Khoảng biến thiên (δ)
Biến thực	Biến mã hóa	-1	0	+1	
Tỉ lệ N/CKD	x_1	0,26	0,30	0,34	0,04
Hàm lượng TB (%)	x_2	20	30	40	10
Hàm lượng SF-90 (%)	x_3	5	10	15	5
Hàm lượng SD (%)	x_4	0,5	1	1,5	0,5

Theo các nghiên cứu (Nguyễn Minh Tuyển, 2007; Astakhova L. G., 2013), số lượng điểm thí nghiệm trong quy hoạch thực nghiệm bậc nhất đối với bốn biến ảnh hưởng được xác định theo công thức (2):

$N = 2^k = 2^4 = 16$, (với k là số biến ảnh hưởng, k = 4) (2)

Các thành phần của hỗn hợp bê tông được tính toán trên cơ sở các tỷ lệ trong bảng 5 và kết hợp với phương pháp thể tích tuyệt đối, đã được liệt kê chi tiết trong bảng 6. Đồng thời các giá trị độ nở sun phát trung bình của mẫu bê tông sau 28 ngày thí nghiệm trong môi trường Na_2SO_4 5% đã được xác định và thể hiện cụ thể trong bảng 7.

Bảng 6. Thành phần của hỗn hợp bê tông trong kế hoạch thực nghiệm bậc nhất

Stt	Biến mã hóa				Biến thực				Cấp phối bê tông thí nghiệm (kg/m^3)						
	x_1	x_2	x_3	x_4	$\frac{N}{CKD}$	TB (%)	SF-90 (%)	SD (%)	X	C	Đ	TB	SF-90	SD	N
1	+	+	+	+	0,34	40	15	1,5	338	595	1027	135	50,7	5,1	178
2	-	+	+	+	0,26	40	15	1,5	381	595	1027	152	57,1	5,7	153
3	+	-	+	+	0,34	20	15	1,5	392	595	1027	78	58,9	5,9	180
4	-	-	+	+	0,26	20	15	1,5	443	595	1027	89	66,5	6,6	156
5	+	+	-	+	0,34	40	5	1,5	364	595	1027	146	18,2	5,5	180
6	-	+	-	+	0,26	40	5	1,5	411	595	1027	165	20,6	6,2	155
7	+	-	-	+	0,34	20	5	1,5	429	595	1027	86	21,4	6,4	182
8	-	-	-	+	0,26	20	5	1,5	485	595	1027	97	24,3	7,3	158
9	+	+	+	-	0,34	40	15	0,5	341	595	1027	136	51,1	1,7	179
10	-	+	+	-	0,26	40	15	0,5	384	595	1027	154	57,6	1,9	155
11	+	-	+	-	0,34	20	15	0,5	396	595	1027	79	59,4	2,0	182
12	-	-	+	-	0,26	20	15	0,5	448	595	1027	90	67,2	2,2	157
13	+	+	-	-	0,34	40	5	0,5	368	595	1027	147	18,4	1,8	181
14	-	+	-	-	0,26	40	5	0,5	416	595	1027	166	20,8	2,1	157
15	+	-	-	-	0,34	20	5	0,5	434	595	1027	87	21,7	2,2	184
16	-	-	-	-	0,26	20	5	0,5	491	595	1027	98	24,5	2,5	160

Bảng 7. Độ nở sun phát trung bình của bê tông trong môi trường Na_2SO_4 5%

Stt	Biến thực				Độ nở sun phát trung bình ở tuổi 28 ngày Y = ε_{28} (%)						Phương sai, $S_i^2 . 10^{-7}$
	$\frac{N}{CKD}$	TB (%)	SF90 (%)	PC (%)	$\varepsilon_1.10^{-2}$	$\varepsilon_2.10^{-2}$	$\varepsilon_3.10^{-2}$	$Y_i^{tb}.10^{-2}$	$\overline{Y}_i.10^{-2}$	$(Y_i^{tb} - \overline{Y}_i)^2.10^{-6}$	
1	0,34	40	15	1,5	3,42	3,52	3,51	3,483	3,497	0,0002	3,03
2	0,26	40	15	1,5	1,92	2	1,95	1,957	2,623	44,3334	1,63
3	0,34	20	15	1,5	1,41	1,45	1,42	1,427	1,701	7,5167	0,43
4	0,26	20	15	1,5	1,08	1,15	1,16	1,130	0,826	8,4827	1,90

Stt	Biến thực				Độ nở sun phát trung bình ở tuổi 28 ngày Y = ε_{28} (%)						Phương sai, $S_i^2 . 10^{-7}$
	$\frac{N}{CKD}$	TB (%)	SF90 (%)	PC (%)	$\varepsilon_1.10^{-2}$	$\varepsilon_2.10^{-2}$	$\varepsilon_3.10^{-2}$	$Y_i^{tb}.10^{-2}$	$\overline{Y}_i.10^{-2}$	$(Y_i^{tb} - \overline{Y}_i)^2.10^{-6}$	
5	0,34	40	5	1,5	4,31	4,35	4,2	4,287	4,201	1,2284	6,03
6	0,26	40	5	1,5	3,12	3,3	3,24	3,220	3,326	0,8789	8,40
7	0,34	20	5	1,5	1,52	1,55	1,56	1,543	2,405	72,0377	0,43
8	0,26	20	5	1,5	1,34	1,32	1,35	1,337	1,530	3,7378	0,23
9	0,34	40	15	0,5	3,51	3,56	3,64	3,570	3,497	0,7296	4,30
10	0,26	40	15	0,5	2,8	3,1	2,94	2,947	2,623	10,5084	22,53
11	0,34	20	15	0,5	1,56	1,43	1,51	1,500	1,701	4,0334	4,30
12	0,26	20	15	0,5	1,28	1,31	1,25	1,280	0,826	19,4702	0,90
13	0,34	40	5	0,5	4,35	4,65	4,05	4,350	4,201	3,0334	90,00
14	0,26	40	5	0,5	3,25	3,47	3,42	3,380	3,326	0,4389	13,30
15	0,34	20	5	0,5	3,34	3,5	3,2	3,347	2,405	91,1229	22,53
16	0,26	20	5	0,5	1,38	1,35	1,35	1,360	1,530	2,8900	0,30
$MaxS^2 = 9.10^{-6}$					$\sum (Y_i^{tb} - \overline{Y}_i)^2 = 27,467.10^{-5}$					$S_{II}^2 = \sum S_i^2 = 180,266.10^{-7}$	

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 7 đã tiến hành kiểm tra độ tin cậy của mô hình thực nghiệm theo chuẩn số Kochren, trình tự tính toán như sau:

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

$S_{II}^2 = \sum S_i^2 = 180,266.10^{-7}$ và $maxS^2 = 9.10^{-6}$ (bảng 7).

- Giá trị tính toán của chuẩn số Kochren (G_{tt}) theo công thức (3):

$$G_{tt} = \frac{S_{max}^2}{S_{II}^2} = \frac{9.10^{-6}}{180,266.10^{-7}} = 0,4992 \qquad (3)$$

Giá trị tra bảng của chuẩn số Kochren G_α (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. et al., 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: $\mathbf{G_{0,05}(3, 16) = 0,5466.}$

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 chương trình 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):

$$Y = 0,02507 + 0,00431x_1 + 0,00892x_2 - 0,00346x_3 - 0,00209x_4 + 0,00092x_1.x_2 - 0,00098x_1.x_3 - 0,00044x_1.x_4 - 0,00064x_2.x_3 + 0,00047x_2.x_4 + 0,00047x_3.x_4 - 0,00112x_1.x_2.x_3 - 0,001696x_1.x_2.x_4 + 0,00166x_1.x_3.x_4 - 0,00154x_2.x_3.x_4 - 0,00066x_1.x_2.x_3.x_4. \qquad (4)$$

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 β_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 của 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. et al., 1983) thu được $t_{0,025}(48) = 2,4066$.

Giá trị tính toán của chuẩn số Student (t_{bj}) đối với hệ số β_j xác định theo công thức (6):

$$t_{\beta j} = \frac{|\beta_j|}{S_{bj}} \Rightarrow |\beta_j| = t_{\beta j} \times S_{\beta j}, \qquad (6)$$

Độ lệch chuẩn ($S_{\beta j}$) của các hệ số trong phương trình hồi quy xác định theo công thức (7):

$$S_{\beta j} = \sqrt{\frac{S_{ll}^{2}}{N}}, \quad (7)$$

Với N là tổng số thí nghiệm (N = 16) và $S^2_{ll} = \sum S_i^2 = 180{,}266.10^{-7}$ (bảng 7).

Do đó 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 β_j của phương trình hàm hồi quy được cho là có nghĩa nếu thỏa mãn điều kiện: $|\beta_j| \geq t_{0{,}025}(48) \times S_{\beta j} = 2{,}4066 \times S_{\beta j} = 2{,}4066 \times 0{,}00106 = 0{,}0025545.$

Sau khi loại bỏ các hệ số không có nghĩa đã thu được phương trình hồi quy thu gọn (8):

$$Y = 0{,}02507 + 0{,}00431x_1 + 0{,}00892x_2 - 0{,}00346x_3 \quad (8)$$

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

Tính tương hợp của mô hình thực nghiệm được kiểm tra theo chuẩn số Fisher, trình tự tính toán như sau:

- Tính phương sai dư (S^2_d) của mô hình theo công thức (9):

$$S_d^2 = \frac{\sum \left(Y_i^{tb} - \overline{Y_i}\right)^2}{N - m} \quad (9)$$

Trong đó: Y^{tb}_i và $\overline{Y_i}$ - 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 trinh hồi quy (8) (m = 4).

$\sum (Y_i^{tb} - \overline{Y_i})^2 = 27{,}467.10^{-5}$ (bảng 7) và thu được $S_d^2 = \frac{27{,}467.10^{-5}}{16-4} = 2{,}288.10^{-5}$

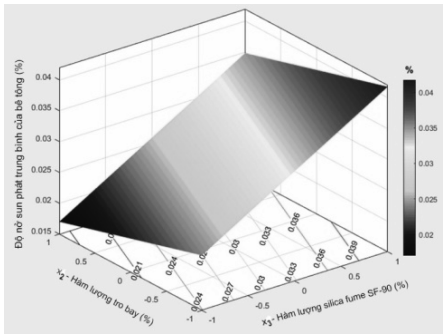
- Tính phương sai lặp (S^2_{ll}) của kết quả thí nghiệm: $S_{ll}^2 = \sum S_i^2 = 180{,}266.10^{-7}$.

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

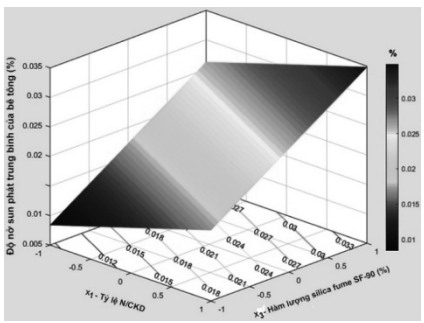
Giá trị tra bảng của chuẩn số Fisher $F_\alpha(f_1, f_2)$ được xác định theo bảng phân bố chuẩn số Fisher trong bảng 3.5 của tài liệu (Bolshev L. N. et al., 1983) với các bậc tự do $f_1 = N = 16$ và $f_2 = N - m = 16 - 4 = 12$ tại sai số $\alpha = 0{,}01$ đã thu được giá trị tra bảng của chuẩn số Fisher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

Vì $F_{tt} = 1{,}269 < F_{0{,}01}(16, 12) = 4{,}0096$, 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 x_1, x_2 và x_3.

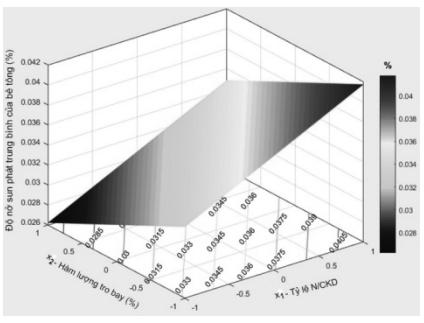
Với sự trợ giúp của phần mềm Matlab đã biểu diễn bề mặt không gian và các đường đồng mức của phương trình hồi quy (8), được trình bày trong hình 2, 3 và 4.



Hình 2. Biểu diễn bề mặt không gian và các đường đồng mức của hàm hồi quy (8) khi $x_1 = 1$



Hình 3. Biểu diễn bề mặt không gian và các đường đồng mức của hàm hồi quy (8) khi $x_2 = 1$



Hình 4. Biểu diễn bề mặt không gian và các đường đồng mức của hàm hồi quy (8) khi $x_3 = 1$

Từ phương trình hồi quy (8) cho thấy rằng khi tăng tỉ lệ $\frac{N}{CKD}$ (biến x_1) và hàm lượng tro bay (biến x_2), đồng thời giảm hàm lượng silica fume SF-90 (biến x_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 đáng kể, có chứa 24,17% Al_2O_3 và 6,15% Fe_2O_3, trong môi trường sun phát Natri 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 bành trướng thể tích. Mặt khác, ảnh hưởng của hàm lượng phụ gia siêu dẻo SR 5000F (biến x_4) trong khoảng từ 0,5% đến 1,5% theo khối lượng của xi măng đối với độ nở sun phát trung bình của các mẫu thí nghiệm ở trong môi trường Na_2SO_4 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. Sử dụng tiêu chuẩn ACI 211.4R-2008 kết hợp với tổ hợp phụ gia biến tính đã xác được thành phần cấp phối của bê tông có cường độ kháng nén là 57,2 Mpa, cường độ kéo khi uốn là 4,15 MPa ở tuổi 28 ngày và tính chống nước ở tuổi 28 ngày bằng 0,6 MPa, đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật của bê tông thủy công theo TCVN 8218:2009 và có thể được sử dụng để xây dựng các công trình thủy.

2. Bằng phương pháp quy hoach thực nghiệm và sử dụng phần mềm Matlab thu được phương trình hồi quy bậc nhất (8), bề mặt không gian và các đường đồng mức của hàm mục tiêu này đã được biểu diễn trên các hình 2, 3 và 4. 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 x_1 (tỷ lệ N/CKD), x_2 (hàm lượng tro bay), x_3 (hàm lượng silica fume SF-90) và x_4 (hàm lượng phu gia siêu dẻo SR 5000F).

3. Trong phạm vi nghiên cứu tỷ lệ (N/CKD), các hàm lượng tro bay và silica fume SF-90 có ảnh hưởng đáng kể đến độ nở thể tích 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

Phạm Hữu Hanh, và Nguyễn Văn Tuấn (2006). "*Nghiên cứu chế tạo bê tông mác cao dùng trong công trình biển – Bê tông trọng lực*". Hội thảo khoa học quốc tế: Một số thành tựu mới trong nghiên cứu Vật liệu xây dựng hiện đại. Hà Nội, 46-63.

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

Nguyễn Minh Tuyển (2007). *Quy hoạch thực nghiệm*. NXB Khoa học và Kỹ thuật. Hà Nội.

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

Chindaprasirt, P., Kanchanda, P., Sathonsaowaphak, A., and Cao, H. T. (2007). "*Sulfate resistance of blended cements containing fly ash and rice husk ash*". Construction and Building Materials, 21(6), 1356-1361.

Irassar, E. F., Di Maio, A., and Batic, O. R. (1996). "*Sulfate attack on concrete with mineral admixtures*". Cement and Concrete Research, 26(1), 113-123.

Lam Van Tang, Bulgakov, B., Aleksandrova, O., Anh Ngoc Pham, and Bazhenov Y. (2018). "*Effect of rice husk ash on hydrotechnical concrete behavior*". IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 365(032007), https://doi:10.1088/1757-899X/365/3/032007.

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

Sahmaran, M., Kasap, O., Duru, K., and 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, and 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).

Tikalsky, P. J., and 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.

Torii, K., Taniguchi, K., and Kawamura, M. (1995). "*Sulfate resistance of high fly ash content concrete*". Cement and concrete research, 25, 759-768.

Anufrieva, E. V. (2009). "*Corrosion resistant concrete for hydraulic construction. Town-planning aspects of sustainable development of large cities*". Kharkov: KNUGH them. A.N. Beketova, 93, 537-541. (In Russia)

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

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

Ferronskaya, A. V. (2006). *Durability of concrete and reinforced concrete structures*. Publisher ACB Moscow. (In Russia)

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

Ngo Xuan Hung, Tang Van Lam, Bulgakov, B. I., Alexandrova, O. V., Larsen, O. A., Ha Hoa Ki, and 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. https://doi.org/10.22227/1997–0935.2018.6.768-777. (In Russia)

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., and 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., and 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)

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*" . Journal Industrial and Civil Engineering, 3, 11- 21. https://doi.org/10.33622/0869-7019.2019.03.11-21. (In Russia)

Tang Van Lam, Bulgakov, B. I., and Alexandrova, O. V. (2017). "*Mathematical modeling of the influence of raw materials on the strength of high-quality fine-grained concrete under compression*". Scientific and Engineering Journal for Construction and Architecture, 9(108), 999-1009. https://doi.org/10.22227/1997-0935.2017.9.999-1009. (In Russia)

Abstract:

SIMULATION OF EFFECTS OF COMPLEX ORGANO-MINERAL ADDITIVE ON THE SULPHATE EXPANSION OF CONCRETE USED IN HYDRAULIC CONSTRUCTION

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 "Kansko-Achinskogo", silica fume SF-90 (SF-90) 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 adequately described the influence of the W/B, FA, SF90 and SR5000 contents on the sulphate expansion of concrete. The regression equation shows that the W/B ratio, the contents of FA and SF-90 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, fly ash, microsilica, sulphate expansion, compressive strength, complex organo-mineral additive, experimental model, objective function.

Ngày nhận bài: 12/8/2019

Ngày chấp nhận đăng: 05/9/2019