

# TỐI ƯU HÓA THÀNH PHẦN HẠT TRO XỈ NHIỆT ĐIỆN SỬ DỤNG LÀM CỐT LIỆU CHO BÊ TÔNG CHỊU NHIỆT

Đỗ Thị Phương<sup>a,\*</sup>, Lê Văn Tri<sup>b</sup>, Vũ Minh Đức<sup>c</sup>

<sup>a</sup>*Khoa Xây dựng Cầu đường, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng, số 54 đường Nguyễn Lương Bằng, Đà Nẵng, Việt Nam*

<sup>b</sup>*Khoa Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng miền Trung, số 24 đường Nguyễn Du, Thành phố Tuy Hòa, Phú Yên, Việt Nam*

<sup>c</sup>*Khoa Vật liệu xây dựng, Trường Đại học Xây dựng, số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

*Nhận ngày 26/08/2019, Sửa xong 08/10/2019, Chấp nhận đăng 08/10/2019*

## Tóm tắt

Các tính chất của bê tông chịu nhiệt (BTCN) chịu ảnh hưởng của loại cốt liệu và thành phần hạt. Cốt liệu sử dụng cho loại bê tông này cần bền nhiệt, không bị phân hủy, nóng chảy, ổn định khi chịu nhiệt. Thành phần hạt được tính toán và lựa chọn theo mật độ sắp xếp các cỡ hạt với số điểm tiếp xúc lớn nhất. Bài báo nghiên cứu thành phần hạt tối ưu của tro xỉ nhiệt điện Cẩm Phả sử dụng làm cốt liệu cho BTCN. Thành phần hạt liên tục của xỉ nhiệt điện được tính toán theo công thức Andersen với  $D_{\max} = 5$  mm. Khối lượng thể tích và độ rỗng của hỗn hợp hạt ứng với các chế độ đầm rung được xác định. Bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm đã xác định được thành phần hỗn hợp hạt cốt liệu tối ưu có giá trị khối lượng thể tích lớn nhất và độ rỗng nhỏ nhất, với giá trị tính toán  $n = 0,43$  và thời gian đầm rung 60s.

*Từ khóa:* tro xỉ nhiệt điện; công thức Andersen; cốt liệu chịu nhiệt; bê tông chịu nhiệt; khối lượng thể tích.

OPTIMIZATION OF PARTICLE SIZE DISTRIBUTION OF AGGREGATE FROM COAL ASH FOR HEAT – RESISTANT CONCRETE

## Abstract

The properties of heat-resistant concrete (HRC) are influenced by types and partical size distribution of aggregates. To make this concrete, the requirements of aggregates are heat-resistant, unmelted, undecomposed heat-stable. The partical size distribution is calculated and selected according to corresponding packing density of aggregate mixture with the highest contact points. This paper investigates the optimization of particle size distribution of coal ash from Cam Pha thermal power plant that can be used as granular aggregate for HRC. Continuous particle size distribution of coal ash was calculated by Andersen's formular with maximum particle size of 5 mm. Bulk density and porosity of aggregate mixture in different vibration time were measured. With experimental planning method, the composition of the blended aggregate which has the highest bulk density and the smallest porosity has been determined with calculated value  $n$  of 0,43 and time of vibration of 60s.

*Keywords:* coal ash; Andersen's formular; heat – resistant aggregate; heat-resistant concrete; bulk density.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(5V\)-14](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(5V)-14) © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

## 1. Đặt vấn đề

Khả năng chịu nhiệt của bê tông không chỉ phụ thuộc vào sự biến đổi của thành phần đá chất kết dính khi ở nhiệt độ cao mà còn chịu ảnh hưởng của thành phần cốt liệu khi bị đốt nóng do chúng

\*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: [dtphuong@dut.udn.vn](mailto:dtphuong@dut.udn.vn) (Phương, Đ. T.)

không bền nhiệt và biến đổi thể tích khi bị tác động nhiệt. Vì vậy khi chế tạo BTCN cần phải nghiên cứu đến các đặc tính, yêu cầu đối với cốt liệu sử dụng.

Theo các kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy khi đốt nóng bê tông kéo dài, đốt nóng lặp lại theo chu kỳ ở các nhiệt độ thì cường độ nén của bê tông từ cốt liệu đá vôi, đá granit ở nhiệt độ cao hơn 200°C bắt đầu giảm; ở 600°C sẽ xuất hiện vết nứt; ở 800°C vết nứt phát triển lớn hơn và bê tông dần bị phá hủy. Còn bê tông dùng cốt liệu cát, sỏi ở nhiệt độ đến 300°C thì cường độ bê tông cũng giảm đáng kể, khi nhiệt độ tăng lên 400-500°C sẽ xuất hiện vết nứt và cường độ giảm dần, dẫn đến mất hoàn toàn. Khi tác động ở nhiệt độ cao hơn xảy ra sự biến đổi thể tích của cốt liệu quắc tự do do sự biến đổi thù hình của  $\beta$  quắc. Các vật liệu chứa quắc như cuội, sỏi, cát quắc, sa thạch và các loại cốt liệu tự nhiên từ khoáng cacbonat không thể dùng làm cốt liệu cho BTCN [1, 2]. Các loại cốt liệu sử dụng cho BTCN cần phải thỏa mãn yêu cầu về độ bền nhiệt và tính ổn định thể tích cao, không bị phân hủy ở nhiệt độ cao, bảo tồn được cấu trúc của bê tông dưới tác dụng của nhiệt độ. Một số các nghiên cứu chỉ ra, để làm cốt liệu cho BTCN, người ta có thể sử dụng các vật liệu bền ở nhiệt độ cao (tùy theo nhiệt độ sử dụng) gồm các khoáng tự nhiên như đá bazan, diaba, diorit, quặng crômmit và các khoáng nhân tạo như keramzit, aglôporit, phế liệu gạch sa mốt, gạch đỏ; tro đáy, xỉ luyện kim [3-7].

Hầu hết các tính chất chủ yếu của BTCN chịu ảnh hưởng rất lớn của loại cốt liệu, thành phần hạt cốt liệu như cường độ, độ bền nhiệt, nhiệt độ biến dạng dưới tải trọng, độ chịu lửa, độ ổn định thể tích, ... Thành phần hạt của hỗn hợp hạt cốt liệu được xác định bởi từng loại cỡ hạt cốt liệu lớn, cốt liệu bé và tỷ lệ phối hợp giữa chúng. Một hỗn hợp cốt liệu có thành phần hạt tối ưu khi các hạt lớn đóng vai trò làm bộ khung chịu lực, các hạt nhỏ đóng vai trò lấp đầy và lấp đầy tạo nên cấu trúc đặc chắc cho BTCN. Do đó cần phải lựa chọn và tính toán thành phần hạt hợp lý và tối ưu [8]. Theo nguyên tắc của Bozenov [8] và nguyên lý của Cainarski [9-12], việc lựa chọn thành phần hạt theo mật độ sắp xếp các cỡ hạt với số điểm tiếp xúc lớn nhất, đóng vai trò quan trọng trong thực tế sản xuất các loại vật liệu xây dựng. Trong sản xuất bê tông và bê tông cốt thép nói chung hay BTCN nói riêng cũng như trong sản xuất gốm sứ, người ta thường sử dụng phương pháp tính toán và lựa chọn thành phần hạt theo các nguyên tắc này. Trong Bảng 1 giới thiệu sự phụ thuộc của mật độ khối xếp vào phương pháp sắp xếp và số điểm tiếp xúc của các hạt theo Cainarski, trong đó các hạt có dạng hình cầu và có kích thước như nhau. Bảng 2 giới thiệu số liệu về độ rỗng và đường kính các cỡ hạt sắp xếp (với cụm sắp xếp dạng tháp và dạng tứ diện – có số điểm tiếp xúc lớn nhất).

Bảng 1. Sự phụ thuộc của mật độ khối xếp vào phương pháp sắp xếp và số điểm tiếp xúc của các hạt

Phương pháp sắp xếp các hạt	Số lượng các hạt (%) có số điểm tiếp xúc với hạt bên cạnh										Số điểm tiếp xúc trung bình	Mật độ, %	
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Theo lý thuyết		Theo thực tế	
Sự đổ tự do	0,7	8,6	26,8	36,2	22,1	5,3	0,2	-	-	6,92	56	55	
Sự rung lắc đến mật độ cao nhất	-	0,9	5,8	12,9	15,6	12,9	10,8	15,1	26,0	9,51	66	63	
Sự đầm lên chặt các lớp	0,1	0,8	5	16,7	20,6	19,8	13,3	12,4	12,3	9,14	65	64	

Khi hỗn hợp có nhiều cấp hạt, khả năng lấp đầy các khoảng trống càng lớn, độ rỗng giảm, diện tích tiếp xúc giữa các hạt tăng, nội ma sát tăng, làm tăng sự ổn định, dẫn tới tăng mật độ, cường độ, độ ổn định thể tích, độ chịu lửa, nhiệt độ biến dạng dưới tải trọng, ... Để tăng khả năng tiếp xúc giữa

Bảng 2. Độ rỗng lý thuyết của hỗn hợp nhiều cỡ hạt

Các giá trị	Các cỡ hạt đưa vào sắp xếp lên chặt				
	Cỡ hạt thứ nhất (làm bộ khung)	Cỡ hạt thứ 2	Cỡ hạt thứ 3	Cỡ hạt thứ 4	Cỡ hạt thứ 5
Bán kính hạt	$R$	$0,414R$	$0,225R$	$0,175R$	$0,117R$
Độ rỗng, %	25,95	20,7	19,0	15,8	14,9

các hạt đó có thể áp dụng chế độ công nghệ như đầm rung cho kết quả như Bảng 1 hay phối hợp các cỡ hạt khác nhau cho kết quả như Bảng 2.

Trong bài báo này giới thiệu phương pháp thiết kế thành phần hạt cốt liệu từ tro xỉ của nhà máy nhiệt điện ( $D_{max} = 5 \text{ mm}$ ), áp dụng các chế độ công nghệ làm chặt với các thời gian rung lên chặt khác nhau để tạo ra hỗn hợp hạt có mật độ cao nhất hay độ rỗng nhỏ nhất. Xác định giá trị độ rỗng thực tế định hướng cho việc tính toán lượng cần nước cho cốt liệu cũng như lượng chất kết dính sử dụng trong thành phần của bê tông. Thành phần hạt tối ưu của cốt liệu tro xỉ được nghiên cứu thích hợp chế tạo vữa hoặc BTCN hạt nhỏ.

## 2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Vật liệu

Trong nghiên cứu này, cốt liệu sử dụng chế tạo BTCN là phế thải tro xỉ của nhà máy nhiệt điện Cẩm Phả (Quảng Ninh). Cốt liệu này dạng rời, là sản phẩm còn lại khi cháy ở nhiệt độ cao trong buồng đốt của than đá ángtraxit, than mỡ, ... Thành phần hóa và các đặc tính kỹ thuật của tro xỉ nhiệt điện được thể hiện trong Bảng 3 và 4.

Bảng 3. Thành phần hóa của tro xỉ nhiệt điện (% , theo khối lượng)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MKN
59,78	24,74	5,17	1,92	0,37	4,22	0,83	0,86	2,11

Tro xỉ nhiệt điện Cẩm Phả có thành phần hóa thích hợp chế tạo BTCN, do hàm lượng Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO và MKN tương tự như trong nghiên cứu của Anghelescu và cs. [6]; Dinh [13].

Bảng 4. Các đặc tính kỹ thuật của tro xỉ nhiệt điện

STT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả	Phương pháp thử
1	Khối lượng riêng	g/cm <sup>3</sup>	2,63	TVCN 4030:2003 [14]
2	Khối lượng thể tích xốp	kg/m <sup>3</sup>	1386	TCVN 7572-6:2006 [15]
3	Độ ẩm	%	4,7	TCVN 7572-7:2006 [16]
4	Độ hút nước	%	9,97	TCVN 7572-4:2006 [17]
5	Độ chịu lửa	°C	1335	TCVN 6530-4:1999 [18]

Khi phân loại các cỡ hạt xỉ nguyên khai, theo quan sát ngoại quan ta thấy hạt có kích thước lớn hơn có bề mặt nhám ráp hơn so với các hạt có kích thước nhỏ hơn. Hạt có cấu trúc dạng tâm lớp xếp

chồng lên nhau. Hạt có kích thước  $d > 5$  mm có hình dáng hạt thoi dẹt, có nhiều góc cạnh; cỡ hạt  $d = 2,5 \pm 5$  mm có dạng dẹt nhưng vuông vắn hơn (tỷ lệ chiều dài  $l$  so với chiều rộng hạt  $b$ :  $l/b$  nhỏ); cỡ hạt  $d < 2,5$  mm có hình dạng tròn trịa hơn (tỷ lệ  $l/b$  bé), bề mặt nhẵn mịn hơn so với hạt lớn. Các hạt có  $d > 5$  mm khi đập ra có cấu trúc lớp vẩy, đôi khi có lỗ rỗng bé do quá trình cháy của than tạo ra. Về màu sắc, các hạt xỉ có  $d > 5$  mm có màu xám tro, có một ít hạt có màu xám đen; các hạt có  $d < 5$  mm hầu hết có màu xám tro. Hàm lượng cỡ hạt  $d > 5$  mm tương đối thấp (9,9%) nên các tác giả xử lý gia công đập tạo cỡ hạt có  $d \leq 5$  mm, sau đó sàng phân loại các cỡ hạt; hạt có mô đun độ lớn ( $M_{dl}$ ) bằng 2,15. Thành phần hạt của tro xỉ nguyên khai và tro xỉ sau khi gia công cỡ hạt xác định theo TCVN 7572-2:2006 [19] được thể hiện trong Bảng 5.

Bảng 5. Thành phần hạt của tro xỉ nhiệt điện

Cỡ hạt, mm	Tro xỉ nguyên khai		Tro xỉ sau khi gia công cỡ hạt	
	$a_i$ (%)	$A_i$ (%)	$a_i$ (%)	$A_i$ (%)
> 5	9,9	9,9	0	0
2,5 ÷ 5	11,47	21,37	12,8	12,8
1,25 ÷ 2,5	20,83	42,2	17,72	30,52
0,63 ÷ 1,25	13,7	55,9	12,47	42,99
0,315 ÷ 0,63	15,67	71,57	12,58	55,57
0,14 ÷ 0,315	18,27	89,83	17,67	73,24
< 0,14	10,17	100	26,76	100

trong đó  $a_i$  là lượng sót riêng biệt (%),  $A_i$  là lượng sót tích lũy (%).

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Đã có nhiều nghiên cứu thiết lập các công thức và biểu đồ xác định tỷ lệ các cỡ hạt theo cấp phối hạt liên tục hay gián đoạn [1, 2, 8, 9, 12, 20]; trong bài báo này nhóm tác giả sử dụng công thức Andersen ứng với  $D_{max} = 5$  mm.

$$Y_i = \left(\frac{d_i}{D}\right)^n \cdot 100 \quad (1)$$

trong đó  $Y_i$  là hàm lượng các cỡ hạt có kích thước nhỏ hơn giá trị  $d_i$  cho trước (%);  $D$  là kích thước lớn nhất của hạt (mm);  $n$  là chỉ số mức xác định bằng thực nghiệm đối với từng loại hỗn hợp và điều kiện sắp xếp,  $n = 0,35 \pm 0,5$ .

Một hỗn hợp hạt có thành phần hạt tối ưu khi đạt được giá trị khối lượng thể tích lớn nhất hay độ rỗng nhỏ nhất. Độ rỗng thực tế của hỗn hợp hạt bao gồm độ rỗng giữa các hạt cốt liệu và độ rỗng hở được xác định thông qua phương pháp thể tích nước tuyệt đối. Phương pháp này dựa trên lượng nước đưa vào hỗn hợp cốt liệu đến khi hỗn hợp cốt liệu hút nước đến bão hoà, sau đó tính được lượng nước chiếm phần rỗng giữa các hạt cốt liệu, lượng nước hút vào lỗ rỗng trong các hạt; qua đó tính được độ rỗng giữa các hạt, độ rỗng hở trong hạt mà trong các công thức lý thuyết tính độ rỗng không xác định được. Để tăng điểm tiếp xúc giữa các hạt, hỗn hợp hạt được phối trộn thành phần hạt theo công thức (1) được đầm chặt trên bàn rung với các thời gian rung khác nhau như 0s, 30s và 60s. Khối lượng thể tích của các hỗn hợp hạt sau khi rung được xác định, sau đó đem ngâm hỗn hợp đến trạng thái bão hoà nước nhằm xác định độ rỗng thực tế của hỗn hợp hạt, độ rỗng hở trong hạt và độ rỗng giữa các hạt. Để tìm thành phần hạt tối ưu cho khối lượng thể tích hỗn hợp hạt lớn nhất, các tác giả đã sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm bậc hai tâm xoay của Box và Hunter [21].

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Tính toán thành phần hạt theo công thức Andersen

Thành phần hạt cốt liệu xỉ nhiệt điện được tính toán trên cơ sở công thức Andersen (1); thành phần hạt liên tục được tính toán với  $D_{\max} = 5$  mm, giá trị  $n = 0,35 \pm 0,5$  được thể hiện trong Bảng 6.

Bảng 6. Thành phần hạt liên tục tính theo công thức Andersen

Chỉ số $n$	$Y_i, a_i, A_i$ (%)	Cỡ sàng (mm)							$M_{dl}$
		5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	< 0,14	
0,35	$Y_i$	100	78,46	61,56	48,43	38,00	28,61	-	2,449
	$a_i$	0	21,54	16,90	13,13	10,43	9,39	28,61	
	$A_i$	0	21,54	38,44	51,57	62,00	71,39	100	
0,37	$Y_i$	100	77,38	59,87	46,47	35,95	26,63	-	2,537
	$a_i$	0	22,62	17,50	13,41	10,51	9,32	26,63	
	$A_i$	0	22,62	40,13	53,53	64,05	73,37	100	
0,41	$Y_i$	100	75,26	56,64	42,77	32,19	23,09	-	2,700
	$a_i$	0	24,74	18,62	13,87	10,58	9,11	23,09	
	$A_i$	0	24,74	43,36	57,23	67,81	76,91	100	
0,43	$Y_i$	100	74,23	55,1	41,04	30,46	21,49	-	2,777
	$a_i$	0	25,77	19,13	14,04	10,58	8,97	21,49	
	$A_i$	0	25,77	44,90	58,96	69,54	78,51	100	
0,45	$Y_i$	100	73,20	53,59	39,37	28,82	20,01	-	2,850
	$a_i$	0	26,80	19,62	14,22	10,55	8,81	20,01	
	$A_i$	0	26,80	46,41	60,63	71,18	79,99	100	
0,47	$Y_i$	100	72,20	52,12	37,77	27,27	18,63	-	2,920
	$a_i$	0	27,80	20,07	14,35	10,50	8,64	18,63	
	$A_i$	0	27,80	47,88	62,23	72,73	81,37	100	
0,50	$Y_i$	100	70,71	50,00	35,50	25,10	16,73	-	3,020
	$a_i$	0	29,29	20,71	14,50	10,40	8,37	16,73	
	$A_i$	0	29,29	50,00	64,50	74,90	83,27	100	

Theo kết quả tính ở Bảng 6 ta thấy khi giá trị  $n$  thay đổi thì hàm lượng các cỡ hạt thay đổi tăng giảm khác nhau; cỡ hạt  $2,5 \pm 5$  mm tăng 7,75%; cỡ hạt  $1,25 \pm 2,5$  mm tăng 3,81%; cỡ hạt  $0,63 \pm 1,25$  mm hầu như không thay đổi; cỡ hạt  $0,14 \pm 0,315$  mm giảm 1,02%; cỡ hạt  $< 0,14$  giảm mạnh 11,88%. Khi  $n$  thay đổi từ 0,35 đến 0,5, hàm lượng cỡ hạt thô tăng dần, làm trị số  $M_{dl}$  tăng đáng kể đến 23,52% và tăng khá đồng đều. Như vậy, khi tính toán thành phần hạt liên tục theo công thức (1) với giá trị  $n$  lớn sẽ có hỗn hợp hạt thô, có nghĩa độ rỗng của hỗn hợp hạt cốt liệu tăng; do đó để thay đổi hàm lượng các cỡ hạt (6 loại cỡ hạt) cần thay đổi giá trị  $n$  để xác định thành phần hạt tối ưu với chế độ công nghệ (làm chặt) thích hợp để đạt được sự sắp xếp làm chặt cao nhất, mật độ lớn nhất tức là khối lượng thể tích cao nhất và độ rỗng thấp nhất. Như vậy, thông qua một nhân tố là giá trị  $n$  xác định được hàm lượng các cỡ hạt (thô, mịn) từ 5 đến  $< 0,14$  mm đạt được giá trị khối lượng thể tích

cao nhất; phương pháp này đơn giản tương tự như trong nghiên cứu của Некрасов, К.Д.; Еремин, Н.Ф.; Баженов, Ю.М. [1, 2, 9, 12].

### 3.2. Khối lượng thể tích và độ rỗng của hỗn hợp hạt tương ứng với các chế độ công nghệ làm chặt

Khối lượng thể tích và độ rỗng của các cấp phối hạt tro xỉ nhiệt điện tính toán theo công thức Andersen ( $n = 0,35 \pm 0,5$ ) tương ứng với các chế độ công nghệ làm chặt khác nhau (đầm rung 0s, 30s, 60s) được giới thiệu trong Bảng 7.

Bảng 7. Khối lượng thể tích, độ rỗng của các cấp phối hạt với các chế độ công nghệ làm chặt

Chỉ số $n$	Thời gian làm chặt $t$ (s)	Khối lượng thể tích $\gamma_0$ (kg/m <sup>3</sup> )	Các giá trị độ rỗng, $r$ (%)				Hiệu số $r_c^{lt} - r_c^{tt}$ (%)
			Độ rỗng lý thuyết $r_c^{lt}$ (%)	Độ rỗng thực tế $r_c^{tt}$ (%)	Độ rỗng hở trong hạt $r_1$ (%)	Độ rỗng giữa hạt $r_2$ (%)	
0,35	0	1424	45,86	-	-	-	-
	30	1669	36,5	34,2	3,52	31,06	2,30
	60	1680	36,12	33,7	3,41	30,50	2,42
0,37	0	1432	45,6	-	-	-	-
	30	1674	36,3	34,0	3,59	30,76	2,30
	60	1684	36,0	33,5	3,49	30,18	2,50
0,41	0	1437	45,4	-	-	-	-
	30	1680	36,12	33,9	3,65	30,50	2,22
	60	1695	35,6	33,0	3,53	29,52	2,60
0,43	0	1440	45,2	-	-	-	-
	30	1687	35,9	33,5	3,71	29,96	2,40
	60	1699	35,4	32,8	3,60	29,17	2,60
0,45	0	1426	45,8	-	-	-	-
	30	1677	36,2	34,1	3,95	30,50	2,10
	60	1679	36,15	33,8	3,82	30,10	2,35
0,47	0	1420	46,0	-	-	-	-
	30	1650	37,3	35,3	4,06	31,50	2,00
	60	1662	36,8	34,6	3,90	30,80	2,20
0,50	0	1414	46,2	-	-	-	-
	30	1644	37,5	35,4	4,15	31,60	2,10
	60	1658	37,0	34,8	4,06	30,83	2,20

trong đó  $r_c^{lt}$  là độ rỗng chung tính toán theo lý thuyết (%);  $r_c^{tt}$  là độ rỗng chung thực tế xác định theo phương pháp thể tích nước tuyệt đối (%);  $r_1$  là độ rỗng hở trong hạt xác định theo phương pháp thể tích nước tuyệt đối (%);  $r_2$  là độ rỗng giữa hạt xác định theo phương pháp thể tích nước tuyệt đối (%).

Từ số liệu trong Bảng 7, ở trạng thái đồ đồng (không đầm rung – 0 s), khi chỉ số  $n$  tăng từ  $0,35 \pm 0,43$  thì khối lượng thể tích, độ rỗng của hỗn hợp hạt tăng dần nhưng từ giá trị  $n = 0,43 \pm 0,5$  thì khối lượng thể tích và độ rỗng của hỗn hợp hạt giảm dần. Tại giá trị  $n = 0,43$  thì lượng hạt nhỏ giảm vừa đủ để lấp đầy giữa các hạt lớn nên khối lượng thể tích đạt giá trị lớn nhất, độ rỗng nhỏ nhất; khi  $n > 0,43$

lượng hạt lớn tăng lên, lượng hạt nhỏ giảm quá nhiều không đủ để lấp đầy giữa các hạt lớn nên giá trị khối lượng thể tích giảm dần, độ rỗng tăng lên. Khi đầm rung, sự tăng giảm giá trị khối lượng thể tích và độ rỗng của hỗn hợp hạt cũng giống quy luật trên. Ngoài ra, khi tăng thời gian đầm rung từ 0s đến 60s, giá trị khối lượng thể tích của hỗn hợp hạt tăng dần và nếu tăng thời gian đầm > 60s thì giá trị khối lượng thể tích của hỗn hợp hạt có xu hướng giảm do sau khi đạt được mức độ lèn chặt, rung động sẽ làm hỗn hợp hạt lỏng lẻo. Thời gian rung đối với hỗn hợp cốt liệu xỉ có  $D_{max} = 5$  mm hợp lý là 60s với chỉ số  $n = 0,43$ .

So sánh các giá trị độ rỗng thì  $r_c^{tt} > r_c^{lt}$  do khi tính toán theo lý thuyết thì độ rỗng toàn phần của cốt liệu kể đến cả lỗ rỗng kín, còn khi tính theo thực tế ta căn cứ vào thể tích nước tuyệt đối chiếm chỗ trong hỗn hợp cốt liệu mà nước này không thể chui vào lỗ rỗng kín của cốt liệu được hoặc nước không thể chui qua các lỗ rỗng có kích thước  $d < 0,1 \mu m$ . Thông qua độ rỗng thực tế sẽ xác định được lượng nước nhào trộn vữa và bê tông chính xác hơn, tránh lượng nước dư thừa làm ảnh hưởng đến khả năng chịu nhiệt và độ bền nhiệt của vữa và BTCN.

### 3.3. Xác định thành phần hạt tối ưu

Để xác định thành phần hạt tối ưu của hỗn hợp hạt cốt liệu tro xỉ nhiệt điện có  $D_{max} = 5$  mm tương ứng với chế độ đầm rung 60s, các tác giả đã lập mô hình quy hoạch thực nghiệm, giải bài toán tối ưu thành phần hỗn hợp hạt cốt liệu tro xỉ nhiệt điện với nhân tố ảnh hưởng là chỉ số mức  $n$ , hàm mục tiêu là giá trị khối lượng thể tích với giá trị tại tâm quy hoạch là  $n = 0,43$  và khoảng quy hoạch 0,02; do bài toán quy hoạch thực nghiệm áp dụng kế hoạch bậc hai tâm xoay của Box và Hunter với một nhân tố ảnh hưởng nên giá trị của cánh tay đòn sao được xác định bằng 21/4 [21]. Bảng mã hóa và ma trận quy hoạch thực nghiệm cấp phối hạt được giới thiệu ở Bảng 8 và 9.

Bảng 8. Bảng mã hóa quy hoạch thực nghiệm thành phần hạt

Biến thực	Mã hóa	Các mức quy hoạch					Khoảng quy hoạch
		$-2^{1/4}$	-1	0	+1	$+2^{1/4}$	
$n$	$x$	0,406	0,41	0,43	0,45	0,454	0,02

Bảng 9. Bảng ma trận quy hoạch thực nghiệm thành phần hạt

No	Biến mã		Khối lượng thể tích của hỗn hợp hạt ( $kg/m^3$ )			
	$x$	$x^2$	$Y_{\gamma_1}$	$Y_{\gamma_2}$	$Y_{\gamma_3}$	$\bar{Y}_{tb}$
1	+1	+1	1689	1687	1688	1688
2	-1	+1	1690	1692	1694	1692
3	$+2^{1/4}$	+1,414	1680	1685	1683	1682
4	$-2^{1/4}$	+1,414	1692	1695	1693	1693
5	0	0	1700	1703	1705	1703
6	0	0	1703	1709	1710	1707
7	0	0	1699	1710	1715	1708

trong đó  $Y_{\gamma_i}$  là giá trị khối lượng thể tích của mẫu  $i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) ( $kg/m^3$ );  $\bar{Y}_{tb}$  là giá trị khối lượng thể tích trung bình của tổ mẫu ( $kg/m^3$ ).

Giải bài toán quy hoạch thực nghiệm có được hàm hồi quy về khối lượng thể tích của hỗn hợp hạt cốt liệu tro xỉ với  $D_{\max} = 5$  mm như sau:  $\bar{Y}_{\gamma_0} = 1706,4213 + 2,0259x - 18,1859x^2$ . Để kiểm tra tính tương hợp của phương trình hồi quy thông qua chuẩn số Fischer ( $F$ ), các giá trị cần tính toán là phương sai dư  $S_d^2 = 132,71$  và phương sai lặp  $S_{ll}^2 = 7$ , từ đó tính được  $F = 18,95$ . Với mức có nghĩa  $p = 0,05$ , bậc tự do dư  $f_1 = 2$ , bậc tự do lặp  $f_2 = 3$  thì  $F_b = 19,2$ . Nhận thấy  $F < F_b$  nghĩa là phương trình hồi quy tương hợp với bức tranh thực nghiệm [21]. Giá trị cực đại khối lượng thể tích hỗn hợp hạt cốt liệu tro xỉ nhiệt điện là  $Y = 1706,5$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) tại  $x = 0,0557$  hay  $n = 0,43$ . Kết quả này tương tự như trong nghiên cứu về thành phần hạt cốt liệu chế tạo vữa chịu nhiệt của Dinh [13].

#### 4. Kết luận

Dựa trên các kết quả thực nghiệm đã tiến hành, một số kết luận được rút ra như sau:

- Sử dụng công thức Andersen, hàm lượng các cỡ hạt (thô, mịn) được xác định đơn giản thông qua chỉ số  $n$  từ 0,35 đến 0,5.

- Hỗn hợp hạt sau khi được phối trộn thành phần hạt theo công thức Andersen, áp dụng các chế độ công nghệ làm chặt 30s, 60s để tìm được mật độ cao nhất.

- Với phương pháp thể tích nước tuyệt đối đã xác định được các giá trị độ rỗng hở, độ rỗng giữa hạt, cho phép xác định lượng cần nước của hỗn hợp cốt liệu từ đó có thể tính lượng chất kết dính phù hợp để tính toán thành phần BTCN.

- Bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm đã tìm ra thành phần hạt tối ưu của tro xỉ nhiệt điện Cẩm Phả thích hợp chế tạo BTCN với chỉ số mức  $n = 0,43$  và chế độ đầm chặt là 60s để đạt được giá trị khối lượng thể tích lớn nhất và độ rỗng nhỏ nhất.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Некрасов, К. Д., Шейкин, А. Е., Федоров, А. Е. (1964). Влияние нагрева на прочность бетона сб. Трудов НИИ ЖБ. Госстройиздат.
- [2] Некрасов, К. Д., Жусов, В. В., Щевченко, В. И. (1968). Исследование процессов оказывающих влияние на разрушение бетон при его нагребе. Т. И. Дрезден.
- [3] Netinger, I., Kesegic, I., Guljas, I. (2011). [The effect of high temperatures on the mechanical properties of concrete made with different types of aggregates](#). *Fire Safety Journal*, 46(7):425–430.
- [4] Hager, I., Tracz, T., Śliwiński, J., Krzemień, K. (2015). [The influence of aggregate type on the physical and mechanical properties of high-performance concrete subjected to high temperature](#). *Fire and Materials*, 40(5):668–682.
- [5] Некрасов, К. Д., Тарасова, А. П. (1967). Жаростойкий бетон на портландцементе. Издательство литературы по строительству. Москва.
- [6] Anghelescu, L., Cruceru, M., Diaconu, B. (2017). [Bottom ash as granular aggregate to manufacturing of lightweight heat resistant concretes](#). *International Journal of Energy and Environment*, 11:168–171.
- [7] Jankovic, K. (2002). [Using recycled brick as concrete aggregate](#). *Proceedings of Fifth Triennial International Conference on Challenges in Concrete Construction*, Dundee, UK, Thomas Telford Publishing, 231–240.
- [8] Duc, V. M. (1992). *Bê tông chịu nhiệt dùng xỉ măng poóc-lăng*. Luận án Phó tiến sĩ khoa học kỹ thuật chuyên ngành Vật liệu chi tiết và sản phẩm xây dựng, Đại học Xây dựng, Hà Nội.
- [9] Еремин, Н. Ф. (1986). Процессы и аппараты в технологии строительных материалов: Учебник для вузов по спец. “Производство строит. изд. и конструкций”. М.: Высш. шк. 280 с.
- [10] Замятин, Р. С., Пургин, А. К., Хорошавин и др, Л.Б. (1982). Огнеупорные бетоны: Справочник. М.: Металлургия. 192 с.
- [11] Тотурбиев, Б. Д. (1988). Строительные материалы на силикат-натриевых композициях. М.: Стройиздат.



- [12] Баженов, Ю. М., Ицкович, С. М., Чумаков, Л. Д. (1991). Технология заполнителей бетона. М., “Высш. шк.”.
- [13] Dinh, N. T. (2016). *Nghiên cứu chế tạo vữa chịu nhiệt sử dụng phế thải tro xỉ nhiệt điện và xi măng poóclăng (PCB)*. Luận văn Thạc sĩ kỹ thuật ngành Kỹ thuật vật liệu, Đại học Xây dựng, Hà Nội.
- [14] TCVN 4030:2003. *Xi măng–Phương pháp xác định độ mịn*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [15] TCVN 7572-6:2006. *Cốt liệu cho bê tông và vữa–Phương pháp thử Phần 6: Xác định khối lượng thể tích xốp và độ hồng*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [16] TCVN 7572-7:2006. *Cốt liệu cho bê tông và vữa–Phương pháp thử Phần 7: Xác định độ ẩm*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [17] TCVN 7572-4:2006. *Cốt liệu cho bê tông và vữa–Phương pháp thử Phần 4: Xác định khối lượng riêng, khối lượng thể tích và độ hút nước*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [18] TCVN 6530-4:1999. *Vật liệu chịu lửa–Phương pháp thử–Phần 4: Xác định độ chịu lửa*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [19] TCVN 7572-2:2006. *Cốt liệu cho bê tông và vữa–Phương pháp thử Phần 2: Xác định thành phần hạt*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [20] Đức, V. M., Đồng, N. V., Phượng, Đ. T., Hoa, B. T., Hòa, N. N. (2009). *Cốt liệu sử dụng chế tạo bê tông chịu nhiệt*. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD)-ĐHXD*, 3(2).
- [21] Tuyen, N. M. (2005). *Quy hoạch thực nghiệm*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.