

## Nghiên cứu phế thải tro xỉ nhiệt điện chế tạo viên xây: gạch, bloc dùng chất kết dính polyme silic

Nguyễn Nhân Hòa<sup>1\*</sup>, Vũ Minh Đức<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Khoa Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội.

### TỪ KHOÁ

Tro xỉ nhiệt điện  
Cốt liệu  
Công thức Andersen  
Chất kết dính polyme silic  
Khối lượng thể tích  
Viên xây: gạch, bloc

### TÓM TẮT

Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu tro xỉ nhiệt điện Cẩm Phả-Quảng Ninh làm cốt liệu chế tạo viên xây: gạch, bloc dùng chất kết dính polyme silic (CKD PS). Từ các kết quả nghiên cứu tro xỉ, sử dụng phương trình Andersen tính toán thành phần hạt cốt liệu tro xỉ qua chỉ số n. 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 (KLTT) lớn nhất, độ rỗng bé nhất với chỉ số  $n = 0,43$  và thời gian làm chặt 60 s. Với phương pháp thể tích nước tuyệt đối đã xác định được độ rỗng thực tế của hỗn hợp hạt cốt liệu, là cơ sở tính lượng CKD PS để tính thành phần phối liệu viên xây. Bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm, đã xác định được thành phần tối ưu phối liệu chế tạo viên xây với các tính chất của hỗn hợp vữa phối liệu và tính chất mẫu viên xây. Thành phần phối liệu viên xây gạch, bloc: cốt liệu  $1760 \text{ kg/m}^3$ , CKD PS  $480 \text{ kg/m}^3$ , phụ gia/CKD PS = 0,1. Ngoài ra bài báo cũng giới thiệu dây chuyền công nghệ chế tạo viên xây gạch, bloc từ tro xỉ nhiệt điện và CKD PS. Đề tài có ý nghĩa lớn về khoa học, kinh tế, thực tiễn và bảo vệ môi trường.

### KEYWORDS

Coal ash  
Aggregates  
Andersen's formula  
Silicon polymer binder  
Volumetric mass  
Brick & block

### ABSTRACT

This paper introduces the results of studying on coal ash from Cam Pha-Quang Ninh thermal power plant as aggregates to manufacture bricks and blocks using silicon polymer binder (CKD PS). From the research results of this waste, by using Andersen's formula to calculate the particle composition of coal ash aggregates through the index n. By the experimental planning, the optimal aggregate composition has been determined with the highest bulk density, the smallest porosity with index  $n = 0.43$  and time of compaction by vibration equals 60 seconds. With the absolute water volume method, the actual porosity of the aggregate particle mixture has been determined, which is the basis for calculating the amount of CKD PS to calculate the composition of the aggregates. By the experimental planning, the optimal composition of raw materials has been determined with the properties of the binder and the properties of the bricks. This composition of bricks and blocks: aggregates  $1760 \text{ kg/m}^3$ , CKD PS  $480 \text{ kg/m}^3$ , additive/CKD PS = 0.1. In addition, this article also introduces the technological line to manufacture bricks, blocks from the coal ash of the thermal power plant and CKD PS. The topic has great significance in terms of science, economy and environmental protection.

### 1. Đặt vấn đề

Hiện nay các nước trên thế giới cũng như ở Việt Nam, việc phát triển kinh tế luôn cần gắn liền với sự phát triển sản xuất bền vững. Để thực hiện điều này, cần chú trọng một số các biện pháp trong đó là phát triển công nghiệp tái chế để sử dụng các nguồn phế thải, thải phẩm công nghiệp, nghiên cứu sử dụng và sử dụng các công nghệ cao không phế thải, bảo vệ môi trường,... Đặc biệt trong công nghiệp sản xuất vật liệu xây dựng, việc tái chế sử dụng các phế thải của các ngành công nghiệp chế tạo các sản phẩm mới chất lượng cao ngày càng trở nên cấp thiết và được quan tâm phát triển.

Theo các số liệu điều tra thống kê [1,2,3,4,5], lượng tro nhiệt

điện thải ra và được tái sử dụng ở một số nước trên thế giới thể hiện trong Bảng 1 dưới đây.

Qua các số liệu cho thấy lượng tro thải ra hàng năm rất lớn, còn lượng tro tái sử dụng cũng không cao, trừ một số nước như: Mỹ, Trung Quốc, Đức, Ấn Độ. Việc tái chế sử dụng ở mỗi nước ở các lĩnh vực cũng khác nhau [3,4,6]. Ở Ấn Độ, lượng tro thải chủ yếu dùng trong sản xuất xi măng chiếm 23,75 % trong tổng lượng tái chế 38 %, ngoài ra dùng trong bê tông 0,45 %, giao thông 3,66 % và các lĩnh vực khác. Ở Trung Quốc, lượng tro thải chủ yếu sản xuất xi măng tới 44 %, trong bê tông 16 %, trong giao thông 5 %, đặc biệt trong sản xuất vật liệu xây dựng đến 28 %. Còn ở Mỹ, tỷ lệ tro tái sử dụng chiếm 65 %, trong bê tông chiếm 19,63 %, trong xi măng chiếm 19 %

\*Liên hệ tác giả: hoann@nuce.edu.vn

Nhận ngày 11/10/2021, sửa xong ngày 04/11/2021, chấp nhận đăng 15/01/2022

<https://doi.org/10.54772/jomc.01.2022.253>

(trong tổng lượng tái chế). Nhìn chung việc tái chế sử dụng tro xỉ nhiệt điện trong lĩnh vực sản xuất vật liệu phục vụ xây dựng công trình: xi măng, bê tông, vật liệu xây dựng khác.

**Bảng 1.** Lượng tro bay thải ra và tỉ lệ tái sử dụng tro bay tại một số nước.

TT	Nước	Lượng tro bay thải ra, triệu tấn/năm	Tỷ lệ tro bay tái sử dụng, %
1	Ấn Độ	112	38
2	Trung Quốc	100	45
3	Hà Lan, Ý, Đan Mạch	100	2
4	Nhật Bản	96,3	11,3
5	Đức	85	40
6	Pháp	85	3
7	Mỹ	75	65
8	Canada	75	6
9	Anh	50	15
10	Úc	45	13,1
11	Nga	26,7	18

Còn ở Việt Nam, theo tính toán sơ bộ [6,7,8] hiện cả nước, tính đến 2019 đang tồn chứa khoảng trên 40 triệu tấn tro xỉ nhiệt điện và hàng năm thải ra khoảng 17,8 triệu tấn/năm. Trong đó tro bay là 14,2 triệu tấn và xỉ (tro đáy) là 3,6 triệu tấn, tro xỉ đốt theo công nghệ than phun là 12,7 triệu tấn/năm chiếm khoảng 71,4 %, còn tro xỉ đốt theo công nghệ tầng sôi là 5,1 triệu tấn/năm chiếm khoảng 28,6 %. Tro xỉ của các nhà máy nhiệt điện hiện nay chủ yếu nằm ở bãi chứa, hồ nước, khu đất rộng chiếm nhiều diện tích để tồn chứa, gây ô nhiễm môi trường nghiêm trọng. Các cơ quan nghiên cứu khoa học, các Viện, Trường Đại học, các cơ sở sản xuất từ nhiều năm nay đã nghiên cứu sử dụng tro xỉ trong các lĩnh vực xây dựng công trình, đã đem lại hiệu quả kinh tế kỹ thuật nhất định nhưng tỷ lệ sử dụng còn hạn chế so với lượng tro xỉ thải ra hàng năm. Các lĩnh vực sử dụng tro xỉ chủ yếu là: phụ gia cho xi măng, cho bê tông, xây dựng giao thông, thủy lợi, sản xuất vật liệu xây dựng (VLXD).

Việc nghiên cứu và phát triển công nghiệp tái chế sử dụng tro xỉ nhiệt điện làm nguyên liệu cho ngành sản xuất VLXD sẽ góp phần tháo gỡ vấn đề bức bách hiện nay trong việc giải quyết diện tích tồn chứa, giảm ô nhiễm môi trường. Mặt khác việc sử dụng tro xỉ nhiệt điện với chất kết dính polyme silic (CKD PS) chế tạo viên xây gạch, bloc đã tạo ra dạng sản phẩm mới trong xây dựng mà còn giảm lượng dùng xi măng trong xây dựng góp phần giảm lượng phát thải CO<sub>2</sub> bảo vệ môi trường sống. Vì vậy, việc nghiên cứu chế tạo viên xây từ tro xỉ nhiệt điện với CKD PS mang tính cấp thiết và thực tiễn, có ý nghĩa khoa học, kinh tế trong việc tiết kiệm năng lượng và bảo vệ môi trường, cần được đầu tư đầy đủ trong việc nghiên cứu, sản xuất và sử dụng trong xây dựng công trình.

Để chế tạo viên xây gạch, bloc từ tro xỉ nhiệt điện và CKD PS cần phải nghiên cứu thành phần hạt của hỗn hợp hạt cốt liệu tro xỉ,

quá trình rắn chắc của CKD PS, cũng như thành phần phối liệu tro xỉ – CKD PS chế tạo viên xây.

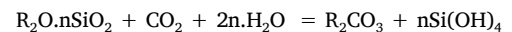
Thành phần hạt của hỗn hợp hạt cốt liệu được xác định bởi từng loại cỡ hạt cốt liệu lớn, bé và tỷ lệ phối hợp giữa chúng. Một hỗn hợp cốt liệu có thành phần hạt tối ưu, khi các hạt lớn đóng vai trò làm bộ khung chịu lực, các hạt nhỏ đóng vai trò lấp đầy, lèn chặt tạo nên cấu trúc đặc chắc cho vật liệu, do đó cần phải nghiên cứu tính toán lựa chọn thành phần hạt cốt liệu tro xỉ hợp lý. Theo nguyên tắc Bozenov [9] và nguyên lý Cainarski [10,11,12], việc lựa chọn thành phần hạt theo mật độ sắp xếp các cỡ hạt với số điểm tiếp xúc lớn nhất, có thể năng cực tiểu, đóng vai trò quan trọng trong thực tế sản xuất các loại VLXD (bê tông, gốm sứ, vật liệu chịu lửa,...).

Khi hỗn hợp có nhiều cấp hạt, khả năng lấp đầy các khoảng trống càng lớn, diện tích tiếp xúc giữa các hạt tăng, nội ma sát tăng, làm tăng sự ổn định cấu trúc hạt, dẫn tới tăng mật độ, độ rỗng giảm, tăng cường độ, độ ổn định thể tích tăng.

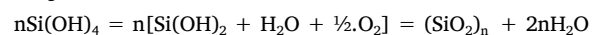
Trong nghiên cứu này, giới thiệu phương pháp nghiên cứu cốt liệu tro xỉ của nhà máy nhiệt điện Cẩm Phả (Quảng Ninh) với tính toán thành phần hạt cốt liệu, các công nghệ làm chặt với thời gian khác nhau để xác định hỗn hợp hạt có mật độ cao nhất hay độ rỗng nhỏ nhất. Trên cơ sở xác định độ rỗng thực tế của hỗn hợp hạt cốt liệu, tính toán lượng chất kết dính chế tạo viên xây gạch, bloc.

Ngoài việc xác định thành phần hỗn hợp hạt cốt liệu tro xỉ, cơ sở của việc chế tạo viên xây là quá trình rắn chắc của CKD PS. Đây là CKD dạng lỏng, có thành phần hóa học là m.R<sub>2</sub>O.nSiO<sub>2</sub> (n = 2 ÷ 3,5); đặc tính của CKD PS được đánh giá bởi giá trị mô đun silicat M<sub>c</sub>, M<sub>c</sub> = n/m.

Quá trình phản ứng của CKD PS tạo ra các gel axit silicic theo phương trình:



Quá trình rắn chắc của CKD PS theo cơ chế trung ngưng của gel Si(OH)<sub>4</sub>. Quá trình trùng ngưng các gel axit silicic được thực hiện theo phương trình sau:



Các axit silicic được tạo thành từ quá trình phản ứng trên sẽ thực hiện phản ứng trùng ngưng để hình thành mạng lưới khung không gian polyme silic (SiO<sub>2</sub>)<sub>n</sub>.

Khối bốn mặt [SiO<sub>4</sub>] là đơn vị kết cấu cơ bản của mạng lưới tinh thể silicat SiO<sub>2</sub> được hình thành do sự lai hóa sp<sup>3</sup> của các đám mây điện tử hóa trị trong nguyên tử silic, 4 đám mây lai hóa sp<sup>3</sup> tạ với đám mây p của nguyên tử oxy thành 4 liên kết δ. Khi ở nhiệt độ thường sự trùng ngưng của các gel axit silicic xảy ra chậm, tức là mạng lưới không gian polyme silic của các gel axit tạo ra rất ít, dẫn đến độ bền của sản phẩm chưa cao. Như vậy khi tăng nhiệt độ quá trình trùng ngưng diễn ra nhanh và triệt để, mạng lưới không gian các gel axit silic tạo thành ngày càng nhiều, chúng gắn kết các hạt cốt liệu chặt chẽ và làm tăng độ bền, nâng cao tính chất cơ lý của sản phẩm.

Để đẩy nhanh quá trình rắn chắc, người ta sử dụng các phụ gia chứa các thành phần tạo gel axit silicic hay các thành phần của phụ gia thúc đẩy quá trình phản ứng trùng ngưng của các gel axit silicic.

**2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu**

**2.1. Cốt liệu – tro xỉ nhiệt điện Cẩm Phả – Quảng Ninh**

Trong nghiên cứu này, cốt liệu sử dụng chế tạo viên xây gạch block là phế thải tro xỉ của Nhà máy nhiệt điện Cẩm Phả – Quảng Ninh.

**2.1.1. Tro bay nhiệt điện Cẩm Phả**

Tro bay nhiệt điện Cẩm Phả (tr.CP) sử dụng có các đặc tính thành phần hóa và các tính chất cơ lý ở Bảng 2, Bảng 3 [13].

Từ Bảng 3 cho thấy tro bay Cẩm Phả (tr.CP) có hàm lượng mất khi nung (MKN) thấp, hàm lượng SiO<sub>2</sub> cao, độ mịn cao, độ ẩm thấp, có thể sử dụng làm cốt liệu chế tạo viên xây, block dùng CKD PS.

**2.1.2. Xi nhiệt điện Cẩm Phả- Quảng Ninh**

Phế thải xi Cẩm Phả (Xi.CP) cũng được xác định thành phần hóa, ở Bảng 4.

Lượng MKN trong xi Cẩm Phả khá nhỏ ở Bảng 4, hàm lượng

SiO<sub>2</sub> cao, phù hợp với việc dùng làm cốt liệu chế tạo viên xây gạch, block dùng CKD PS.

*Thành phần hạt của xi nhiệt điện Cẩm Phả*

Khi phân loại các cỡ hạt xi nguyên khai, quan sát ngoại quan cho thấy: hạt kích thước lớn, bề mặt nhám ráp hơn hạt nhỏ. Hạt có cấu trúc dạng tấm lớp nếp xiên (các lớp hạt xếp chồng nhau). Hạt kích thước d > 5 mm có hình dạng thoi dẹt, nhiều góc cạnh; hạt kích thước 2,5 đến 5 mm có dạng dẹt nhưng ngắn hơn (tỷ lệ chiều dài l so với chiều rộng hạt b : l/b nhỏ); hạt có d < 2,5 mm, hình dạng tròn hơn, ít góc cạnh, bề mặt nhẵn mịn hơn so với hạt lớn. Trong các hạt d > 5 mm còn một số lỗ rỗng nhỏ do than cháy tạo ra. Về màu sắc, hạt có d > 5 mm có màu xám tro, có một ít màu xám đen; hạt có d ≤ 5 mm hầu hết có màu xám tro. Hàm lượng hạt d > 5 mm tương đối thấp (10,7 %), nên được gia công đập tạo cỡ hạt d ≤ 5 mm.

Thành phần hạt của xi Cẩm Phả nguyên khai và xi sau khi gia công cỡ hạt xác định theo TCVN 7572-2:2006 [14], giới thiệu ở Bảng 5 [13].

Một số chỉ tiêu tính chất của xi nhiệt điện Cẩm Phả giới thiệu ở Bảng 6.

**Bảng 2.** Thành phần hóa của tro bay nhiệt điện Cẩm Phả – Quảng Ninh.

Thành phần hóa của tro, %									
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>	SO <sub>3</sub>	MKN <sup>(*)</sup>
56,59	23,42	4,89	1,82	0,35	3,99	0,76	0,81	-	3,98

\*MKN: Hàm lượng mất khi nung

**Bảng 3.** Một số tính chất cơ lý của tro bay nhiệt điện Cẩm Phả (tr.CP).

STT	Chi tiêu, tính chất	Phương pháp thử	Đơn vị	Kết quả
1	Độ mịn (sốt sàng N° 008)	TCVN 4030-2003	%	6,50
2	Khối lượng riêng (γ <sub>a</sub> )	TCVN 4030-2003	g/cm <sup>3</sup>	2,36
3	Khối lượng thể tích (γ <sub>o</sub> )	TCVN 4030-2003	kg/m <sup>3</sup>	575
4	Chỉ số hoạt tính	TCXD VN 311-2004	%	85
5	Độ ẩm (W)	TCVN 4030-2003	%	1,8

**Bảng 4.** Thành phần hóa của xi Cẩm Phả (Xi.CP).

Thành phần hóa của xi, %										
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	MnO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MKN
57,56	25,50	3,58	1,32	1,34	5,99	0,13	0,03	0,77	0,13	3,52

**Bảng 5.** Thành phần hạt của xi nhiệt điện Cẩm Phả.

Cỡ hạt, mm	Xi nguyên khai		Xi sau khi gia công cỡ hạt		M <sub>dl</sub>
	Lượng sót riêng-a, %	Lượng sót tích lũy A <sub>i</sub> , %	Lượng sót riêng-a, %	Lượng sót tích lũy A <sub>i</sub> , %	
> 5,0	10,70	10,70	-	-	2,537
2,5 ÷ 5	11,44	22,14	12,80	12,80	
1,25 ÷ 2,5	15,84	37,98	17,72	30,52	
0,63 ÷ 1,25	11,14	49,12	12,47	42,99	
0,315 ÷ 0,63	11,24	60,36	12,58	55,57	
0,14 ÷ 0,315	15,79	76,15	17,67	73,24	
< 0,14	23,85	100	26,76	100	

**Bảng 6.** Một số chỉ tiêu tính chất của xi Cầm Phá

STT	Chỉ tiêu, tính chất	Phương pháp thử	Đơn vị	Kết quả
1	Khối lượng riêng, $\gamma_a$	TCVN 7572-4 :2006 [14]	g/cm <sup>3</sup>	2,63
2	Khối lượng thể tích, $\gamma_o$	TCVN 7572-4 :2006 [14]	kg/m <sup>3</sup>	1430
3	Độ hút nước, $H_p$	TCVN 7572-4 :2006 [14]	%	8,3
4	Độ ẩm, W	TCVN 7572-7 :2006 [15]	%	6,34
5	Mô đun độ lớn, $M_{dl}$	-	-	2,537

Qua số liệu ở Bảng 4, 5, 6 cho thấy có thể sử dụng xi Cầm Phá làm cốt liệu chế tạo viên xây gạch, block dùng chất kết dính polyme silic (CKD PS).

**2.1.3. Phương pháp nghiên cứu thành phần hạt cốt liệu tro xi**

Theo lý thuyết nghiên cứu thành phần hạt với nguyên tắc của Bozenov và nguyên lý Cainarski [9 ÷ 12], việc lựa chọn tính toán thành phần hạt trên cơ sở mật độ sắp xếp các cỡ hạt với số điểm tiếp xúc dính kết lớn nhất, có thể năng cực tiểu, được tính toán theo phương trình Andersen ứng với  $D_{max} \leq 5$  mm [16]

$$Y_i = (d_i/D)^n \cdot 100 \quad (1)$$

Trong đó :  $Y_i$  là hàm lượng các cỡ hạt có kích thước nhỏ hơn giá trị cỡ hạt  $d_i$  cho trước, % ;  $D$  là kích thước lớn nhất của hạt (mm) ;  $n$  là chỉ số mức xác định bằng thực nghiệm, phụ thuộc vào bản chất vật liệu, hình dạng, kích thước, tính chất bề mặt, điều kiện sắp xếp làm chặt,... ;  $n = 0,35 \div 0,5$ .

Một hỗn hợp hạt có thành phần hạt tối ưu khi đạt được giá trị mật độ lớn nhất, độ rỗng bé nhất. Độ rỗng thực tế của hỗn hợp hạt bao gồm: độ rỗng giữa các hạt và độ rỗng hờ của hạt, được xác định bằng phương pháp thể tích nước tuyệt đối, mà các công thức lý thuyết tính độ rỗng không xác định được. Trên cơ sở đó xác định lượng chất kết dính của hỗn hợp phối liệu chế tạo viên xây.

Để tăng điểm tiếp xúc dính kết giữa các hạt, hỗn hợp hạt được sắp xếp làm chặt với chế độ công nghệ rung làm chặt trong thời gian: 0 s ; 30 s, 60 s. Bằng phương pháp thể tích nước tuyệt đối xác định được độ rỗng thực tế của hỗn hợp hạt được làm chặt với chế độ công nghệ phù hợp.

Để xác định thành phần hạt tối ưu cho khối lượng thể tích hỗn hợp hạt lớn nhất, độ rỗng bé nhất, sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm bậc 2 tâm xoay [17].

**2.2. Chất kết dính polyme silic (CKD PS)**

CKD PS có công thức hóa học  $mR_2O.nSiO_2$ ; có khối lượng phân tử 284,22; là chất lỏng trong có màu vàng xanh; có độ nhớt cao, mật độ  $\rho = 1,45 \div 1,5$  g/cm<sup>3</sup>; Mô đun silic là tỷ số n/m. Đánh giá đặc tính của CKD PS: là chất không bị cháy, không bị ăn mòn, rất hoạt động hóa học, có phản ứng kiềm, có thể tác dụng với nhiều chất ở dạng

lỏng, rắn, được sử dụng rộng rãi trong xây dựng.

**2.3 Phụ gia (PG)**

Phụ gia được sử dụng trong nghiên cứu có công thức hóa học  $Na_2SiF_6$ , có hàm lượng Na: 24,57% ; Si: 14,89% ; F: 30,32%; Khối lượng phân tử là 188, là chất rắn dạng bột màu trắng. Công dụng để tăng cường gel axit silicic, tăng cường quá trình trùng ngưng, polyme hóa hỗn hợp cốt liệu, tăng nhanh khả năng rắn chắc, tính bền nước cho vật liệu viên xây.

**2.4 Phương pháp nghiên cứu hỗn hợp vữa phối liệu (hhvpl) và các tính chất của mẫu viên xây**

**2.4.1. Hỗn hợp vữa phối liệu (hhvpl)**

- Khối lượng thể tích của hhvpl được xác định theo công thức

$$\gamma_{ohhv} = \frac{G_{hhv}}{V_{hhv}}; \text{ kg/m}^3 \quad \text{Trong đó : } G_{hhv} - \text{khối lượng hhvpl, kg}$$

$$V_{hhv} - \text{thể tích của hhvpl, m}^3$$

- Hệ số làm chặt  $K_{lc}$  được xác định theo công thức :

$$K_{lc} = \frac{\gamma_{omth}}{\gamma_{ohhv}}; \quad \text{Trong đó : } \gamma_{omth} - \text{KLTT mẫu tạo hình, kg/m}^3$$

$$\gamma_{ohhv} - \text{KLTT của hhvpl, kg/m}^3$$

Hệ số làm chặt  $K_{lc}$  đặc trưng cho khả năng làm chặt của viên xây gạch, block khi tạo hình. Từ đó xác định chế độ công nghệ tạo hình hợp lý để viên xây đạt chất lượng cao.

**2.4.2. Phương pháp nghiên cứu các tính chất của mẫu sản phẩm chế tạo**

- Khối lượng thể tích của viên xây - theo TCVN 6355-5 :2009
- Độ hút nước của viên xây - theo TCVN 6355-4:2009
- Cường độ nén của viên xây - theo TCVN 6355-2 :2009
- Độ co thể tích của viên xây - theo TCVN 201-1986

**3. Kết quả nghiên cứu**

**3.1. Nghiên cứu cốt liệu tro xi Cầm Phá chế tạo viên xây gạch, block**

**3.1.1. Tính toán thành phần hạt theo phương trình Andersen (1)**

Thành phần hạt liên tục được tính toán với  $D_{max} = 5$ mm, giá trị  $n = 0,35 \div 0,5$  được thể hiện ở Bảng 7.

**Bảng 7.** Thành phần hạt liên tục tính theo phương trình Andersen.

Chỉ số n	Giá trị $Y_i, a_i, A_i, \%$	Cỡ sàng, mm							$M_{dl}$
		5,0	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	
0,41	$Y_i$	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	55,10	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	53,39	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	
0,5	$Y_i$	100	70,71	50,00	35,50	25,10	16,73	-	3,020
	$a_i$	0	29,29	20,71	14,50	10,46	8,37	16,73	
	$A_i$	0	29,29	50,00	64,50	74,90	83,27	100	

Từ kết quả tính ở Bảng 7 cho thấy: Khi giá trị n tăng từ 0,35 đến 0,5, hàm lượng các cỡ hạt thay đổi khác nhau: cỡ hạt từ 2,5 đến 5 mm tăng 7,75 %; cỡ hạt 1,25 đến 2,5 mm tăng 3,81 %; cỡ hạt 0,63 đến 1,25 mm tăng 1,4%; cỡ hạt 0,315 đến 0,63 mm hầu như không thay đổi; cỡ hạt 0,14 đến 0,315 mm giảm 1,02 % ; cỡ hạt < 0,14 mm giảm mạnh 11,88 %. Hàm lượng cỡ hạt thô tăng dần, trị số  $M_{dl}$  tăng đến 23,52 %, tương đối đồng đều, do vậy độ rỗng của hỗn hợp hạt cốt liệu cũng tăng.

Để xác định thành phần hạt tối ưu với chế độ công nghệ làm chặt thích hợp, đạt KLTT lớn nhất, độ rỗng bé nhất, cần thay đổi giá trị n, thay đổi hàm lượng các cỡ hạt. Như vậy chỉ với một nhân tố là giá trị n có thể xác định 6 loại cỡ hạt để có KLTT lớn nhất, phương pháp này đơn giản như trong nghiên cứu của nhiều tác giả [10, 11,12].

**3.1.2. Xác định khối lượng thể tích (KLTT) và độ rỗng của hỗn hợp hạt cốt liệu với các chế độ công nghệ làm chặt**

Bằng phương pháp thể tích nước tuyệt đối xác định KLTT và độ rỗng của các cấp phối hỗn hợp hạt cốt liệu tro xỉ, tính theo phương trình Andersen (1), với các chế độ làm chặt đầm rung thời gian khác nhau 0 s, 30 s, 60 s, kết quả thu được ở Bảng 8.

Từ số liệu thực nghiệm, tính toán ở Bảng 8 cho ta thấy: Ở trạng thái đổ đóng 0 s, khi chỉ số n tăng từ 0,35 đến 0,43 thì KLTT của hỗn hợp hạt cốt liệu (hhhcl) tăng dần, còn độ rỗng của hhhcl giảm dần. Còn giá trị n từ 0,43 tới 0,50 thì KLTT của hhhcl giảm dần và độ rỗng của hhhcl lại tăng dần. Tại giá trị n = 0,43 thì KLTT của hhhcl đạt lớn nhất và độ rỗng bé nhất.

Khi đầm rung 30 s, 60 s thì sự thay đổi KLTT và độ rỗng của hhhcl cũng theo quy luật trên. Tăng thời gian làm chặt từ 0s lên 60 s,

KLTT của hhhcl tăng dần, nếu tăng thời gian làm chặt hơn nữa thì KLTT của hhhcl có xu hướng giảm do lúc đó hhhcl trở nên lỏng lẻo, tăng độ rỗng. Thời gian làm chặt đối với hhhcl tro xỉ có  $D_{max} = 5$  mm hợp lý là 60 s với chỉ số n = 0,43.

So sánh giá trị độ rỗng cho thấy: độ rỗng chung tính theo lý thuyết  $r_{ch}^{lt}$  lớn hơn độ rỗng chung thực tế thí nghiệm  $r_{ch}^{tt}$ , vì  $r_{ch}^{tt}$  căn cứ vào thể tích nước tuyệt đối chiếm chỗ trong hhhcl (không có lỗ rỗng kín và lỗ rỗng < 0,1  $\mu$ m). Từ độ rỗng thực tế  $r_{ch}^{tt}$  xác định được lượng CKD PS để chế tạo hhhvpl cho tạo hình viên xây, block.

**3.1.3. Xác định thành phần hạt cốt liệu tối ưu**

Bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm (QHTN), đề tài đã xác định thành phần hhhcl tro xỉ Cẩm Phả tối ưu với  $D_{max} = 5$  mm, với chế độ đầm rung 60 s, nhân tố ảnh hưởng là chỉ số n, với hàm mục tiêu là giá trị KLTT của hhhcl. Bảng mã hóa và Bảng ma trận QHTN ở Bảng 9, Bảng 10.

Giải bài toán QHTN có được phương trình hồi quy về KLTT của hỗn hợp hạt cốt liệu :

$$Y_{70} = 1706,42 + 2,0259.x - 18,1859.x^2.$$

Giá trị cực đại KLTT của hhhcl tro xỉ nhiệt điện Cẩm Phả có được là  $Y_{max} = 1706,5 \text{ kg/m}^3$  tại  $x = 0,0557$  hay  $n \approx 0,43$ .

**3.2. Nghiên cứu chất kết dính polyme silic (CKD PS)**

Các tính chất của hỗn hợp vữa phối liệu (hhvpl), tính chất của viên gạch, viên block ngoài phụ thuộc vào lượng CKD PS mà còn phụ thuộc vào mật độ của CKD PS, vào tỷ lệ phụ gia (PG) với CKD PS. Mật độ CKD PS -  $\rho_{CKD}$  và tỷ lệ PG/CKD PS ảnh hưởng quyết định đến tính công tác (độ chảy loang); thời gian trộn vữa phối liệu; KLTT của

hvhpl, KLTT viên xây (xác định hệ số làm chặt  $K_{lc} = \gamma_0 \text{ viên xây} / \gamma_0 \text{ vữa}$ ; cường độ nén và độ co, độ hút nước của viên xây gạch, bloc,...

Qua nghiên cứu thực nghiệm chế tạo viên xây gạch, bloc, đề tài đã nghiên cứu ảnh hưởng của mật độ CKD PS -  $\rho_{CKD}$  từ 1,25 đến 1,30 g/cm<sup>3</sup> và tỷ lệ PG/CKD PS từ 0,125 đến 0,08 tới tính chất của viên xây với cùng thành phần phối liệu (lượng cốt liệu, thành phần hạt cốt liệu, lượng CKD PS, phụ gia), cùng chế độ công nghệ chế tạo,...; Đã xác định được mật độ hợp lý của CKD PS là 1,30 g/cm<sup>3</sup> và tỷ lệ PG/CKD là 0,1 cho KLTT và cường độ nén đạt cao nhất, độ co bé.

**3.3. Nghiên cứu chế tạo viên xây gạch, bloc từ tro xỉ nhiệt điện Cẩm Phả và CKD PS**

Từ các kết quả nghiên cứu tro xỉ, CKD và PG, đề tài đã chế tạo hvhpl, chế tạo mẫu viên xây; Tiến hành QHTN xác định cấp phối tối ưu chế tạo viên xây gạch bloc. Các nhân tố ảnh hưởng là: tỷ lệ PG/CKD PS là  $x_1$ ; giá trị n là  $x_2$ . Bảng mã hóa và bảng ma trận QHTN ở Bảng 11, Bảng 12.

Giải bài toán QHTN được các hàm hồi quy tính chất của viên xây:

- KLTT :  $\widehat{Y}_{\gamma_0} = 1991,54 - 3,90625.x_1 - 4,81525.x_2 - 6,50.x_1.x_2 -$

$24,757.x_1^2 - 16,907.x_2^2;$

- Độ co thể tích :  $\widehat{Y}_{C_v} = 0,84 + 0,041.x_1 - 0,02255.x_2 + 0,08.x_1.x_2 - 0,019.x_1^2 - 16,907.x_2^2;$

- Độ hút nước :  $\widehat{Y}_{H_p} = 9,92 + 0,26767.x_1 - 0,39013.x_2 + 0,35.x_1.x_2 - 1,41728.x_1^2 + 1,41728.x_2^2;$

- Cường độ nén :  $\widehat{Y}_{R_n} = 61,18 + 1,63455.x_1 + 2,75907.x_2 - 4,30.x_1.x_2 - 7,12682.x_1^2 - 0,30182.x_2^2;$

Thành phần cấp phối chế tạo viên xây đạt giá trị tối ưu với thành phần hạt ứng với giá trị n = 0,43; tỷ lệ PG/CKD PS = 0,1. Lượng cốt liệu là 1760 kg/m<sup>3</sup>; CKD PS là 480 kg/m<sup>3</sup>.

Sản phẩm viên xây gạch, bloc đạt các chỉ tiêu: KLTT  $\gamma_{ovx} = 1961,3 \text{ kg/m}^3$ ; Độ co thể tích  $C_v = 0,85 \%$ ; độ hút nước  $H_p = 10,2 \%$ ; Cường độ nén  $R_n = 65,7 \text{ kg/cm}^2$ .

**3.4. Dây chuyền công nghệ chế tạo viên xây, đã áp dụng thử nghiệm**

Trên cơ sở của quá trình thí nghiệm, nhóm xây dựng sơ đồ dây chuyền công nghệ chế tạo viên xây gạch, bloc sử dụng cốt liệu tro xỉ nhiệt điện và CKD PS như Hình 1 dưới đây.

**Bảng 8.** Khối lượng thể tích, độ rỗng của các cấp phối hạt cốt liệu với các chế độ làm chặt thời gian rung khác nhau.

Chỉ số n	Thời gian rung, s	KLTT - $\gamma_0$ , kg/m <sup>3</sup>	Giá trị độ rỗng, r - (%)				Hiệu số $r_{ch}^{lt} - r_{ch}^{tt}$ , %
			Độ rỗng chung tính lý thuyết - $r_{ch}^{lt}$ , %	Độ rỗng chung tính thực tế - $r_{ch}^{tt}$ , %	Độ rỗng hờ trong hạt, $r_1$ , %	Độ rỗng giữa hạt, $r_1$ , %	
0,35	0	1424	45,86	-	-	-	-
	30	1669	36,50	34,2	3,52	31,06	2,30
	60	1680	36,12	33,7	3,41	30,50	2,42
0,41	0	1437	45,40	-	-	-	-
	30	1680	36,12	33,9	3,65	30,50	2,22
	60	1695	35,60	33,0	3,53	29,52	2,60
0,43	0	1440	45,20	-	-	-	-
	30	1687	35,90	33,5	3,71	29,96	2,40
	60	1699	35,40	32,8	3,60	29,17	2,60
0,45	0	1426	45,80	-	-	-	-
	30	1677	36,20	34,1	3,95	30,50	2,10
	60	1679	36,15	33,8	3,82	30,10	2,35
0,5	0	1414	46,20	-	-	-	-
	30	1644	37,50	35,4	4,15	31,60	2,10
	60	1658	37,00	34,8	4,06	30,83	2,10

**Bảng 9.** Bảng mã hóa quy hoạch thực nghiệm thành phần hỗn hợp hạt cốt liệu.

Nhân tố ảnh hưởng	Bảng mã hóa	Các mức quy hoạch					Khoảng cách $\delta$
		- 2 <sup>1/4</sup>	-1	0	+ 1	+ 2 <sup>1/4</sup>	
n	x	0,406	0,41	0,43	0,45	0,454	0,02



**Bảng 10.** Bảng ma trận quy hoạch thực nghiệm thành phần hỗn hợp hạt cốt liệu.

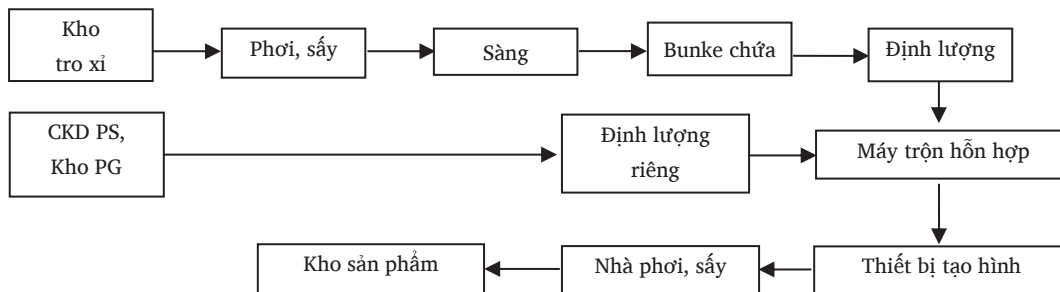
N <sup>o</sup>	Biến mã hóa		KLTT của hhhcl - $\gamma_{ohhcl}$ , kg/m <sup>3</sup>			
	x	x <sup>2</sup>	Y <sub>γ1</sub>	Y <sub>γ2</sub>	Y <sub>γ3</sub>	Y <sub>γTB</sub>
1	+1	+1	1689	1687	1688	1688
2	-1	+1	1690	1692	1694	1692
3	+2 <sup>1/4</sup>	+2 <sup>1/2</sup>	1680	1685	1683	1682
4	-2 <sup>1/4</sup>	+2 <sup>1/2</sup>	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

**Bảng 11.** Bảng mã hóa QHTN thành phần phối liệu chế tạo viên xây.

Nhân tố ảnh hưởng	Bảng mã hóa	Các mức quy hoạch					Khoảng cách $\delta$
		- 2 <sup>1/2</sup>	-1	0	+ 1	+ 2 <sup>1/2</sup>	
PG/CKDPS	x <sub>1</sub>	0,058	0,07	0,10	0,13	0,142	0,03
n	x <sub>2</sub>	0,402	0,41	0,43	0,45	0,458	0,02

**Bảng 12.** Ma trận QHTN thành phần phối liệu, chế tạo viên xây.

TT	Biến mã				Tính chất hhvpl			Tính chất của viên xây chế tạo															
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	KLTT vữa, kg/m <sup>3</sup>	Độ chảy loang, cm	Hệ số làm chặt, K <sub>lc</sub>	KLTT viên xây - $\gamma_{ovxx}$ , kg/m <sup>3</sup>				Độ co thể tích- C <sub>v</sub> , %				Độ hút nước, H <sub>p</sub> , %				Cường độ nén-R <sub>n</sub> , kG/cm <sup>2</sup>			
								Y <sub>γ1</sub>	Y <sub>γ2</sub>	Y <sub>γ3</sub>	$\bar{Y}_{\gamma TB}$	Y <sub>Cv1</sub>	Y <sub>Cv2</sub>	Y <sub>Cv3</sub>	$\bar{Y}_{CvTB}$	Y <sub>Hp1</sub>	Y <sub>Hp2</sub>	Y <sub>Hp3</sub>	$\bar{Y}_{HpTB}$	Y <sub>Rn1</sub>	Y <sub>Rn2</sub>	Y <sub>Rn3</sub>	$\bar{Y}_{RnTB}$
1	1	1	1	1	1380	142	1,42	1986	1962	1936	1961,3	0,98	0,91	0,89	0,93	13,2	13,4	13,6	13,4	59,2	62,1	55,6	59,3
2	1	-1	1	1	1350,7	141,6	1,46	1990	1958	1984	1977,3	0,78	0,70	0,75	0,74	13,2	13,3	13,2	13,2	56,5	59,2	56,8	57,5
3	-1	1	1	1	1292,3	133,3	1,39	1985	1949	1916	1941	0,87	0,81	0,79	0,82	12,0	11,2	11,9	11,7	61,9	63,3	64,5	63,2
4	-1	-1	1	1	1450	143,3	1,33	1947	1938	1908	1931	1,0	0,91	0,94	0,95	12,5	13,0	13,2	12,9	39,8	40,7	52,1	44,2
5	1,414	0	2	0	1379,3	153,3	1,40	1927	1945	1927	1933	0,99	0,97	0,89	0,95	12,8	12,8	12,8	12,8	53,9	41,6	42,7	46,1
6	-1,414	0	2	0	1274,7	164,3	1,54	1968	1968	1942	1958	0,55	0,78	0,61	0,65	12,9	13,1	12,0	12,7	50,7	51,4	49,5	43,5
7	0	1,414	0	2	1314	161,7	1,48	1943	1946	1960	1949,7	0,98	0,67	0,81	0,82	11,9	11,8	12,4	12,0	58,0	59,5	58,5	58,9
8	0	-1,414	0	2	1441,7	154,7	1,37	1971	1976	1971	1972,7	0,98	0,89	1,11	0,99	13,3	13,4	13,9	13,5	57,6	57,8	58,7	58,0
9	0	0	0	0	1504,3	133,3	1,34	2080	2004	1978	2020,7	0,91	0,77	0,82	0,83	13,8	13,6	14,9	14,1	51,5	53,0	54,1	52,9
10	0	0	0	0	1527,7	135,3	1,30	1964	1978	1942	1961,3	0,84	0,78	0,94	0,85	9,5	10,4	10,7	10,2	61,3	65,9	69,9	65,7
11	0	0	0	0	1481	135	1,34	1978	1984	1989	1983,7	0,73	0,89	0,91	0,84	8,9	8,1	9,7	9,1	66,7	61,8	62,5	63,7
12	0	0	0	0	1487,2	134,7	1,34	1993	1997	2001	1997	0,92	0,89	0,87	0,89	8,5	8,9	7,5	8,3	66,0	62,9	63,7	64,2
13	0	0	0	0	1542,3	139,3	1,29	2006	1992	1987	1995	0,79	0,80	0,79	0,79	8,1	8,5	7,1	7,9	59,8	55,7	62,5	59,4



**Hình 1.** Sơ đồ dây chuyền công nghệ chế tạo viên xây gạch, bloc sử dụng cốt liệu tro xỉ nhiệt điện và CKD PS.

#### 4. Kết luận

Từ các kết quả nghiên cứu thực nghiệm đạt được, nhóm rút ra được một số kết luận:

- Sử dụng phương trình Andersen xác định được hàm lượng các cỡ hạt lớn, bé chỉ cần chỉ số n, giá trị từ 0,35 đến 0,5.

- Thực hiện các chế độ công nghệ làm chặt 30 s, 60 s để xác định KLTT lớn nhất của hhhcl. Với phương pháp thể tích nước tuyệt đối đã xác định được độ rỗng thực tế của hhhcl, từ đó xác định được lượng CKD PS.

- Bằng phương pháp QHTN xác định được thành phần hạt tối ưu, với chỉ số n = 0,43 và chế độ rung làm chặt là 60 s.

- Bằng thực nghiệm xác định được mật độ hợp lý của CKD PS là 1,3 g/cm<sup>3</sup> và tỷ lệ PG/CKDPS = 0,1 thỏa mãn các yêu cầu công nghệ (độ chảy loang, thời gian trộn,...) và đạt được các yêu cầu tính chất của viên xây.

- Cũng bằng phương pháp QHTN đã xác định được thành phần phối liệu tối ưu chế tạo viên xây, khối với giá trị tương ứng n = 0,43 và PG/CKDPS = 0,1.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. C.M.S.Anjani, R.K.Gollakota, Vikranth Volli (2019), "Progressive utilisation prospects of coal fly ash : A review", Sci.Total Environ, 2019.
- [2]. C.E.Authority and T.C.Division (2018), "Fly ash generation at coal/lignite based thermal power stations and its utilization in the country for 1st half of the year 2017-18", Cent.Electr.Authority, New Delhi, 2018.
- [3]. X.Z.Shu-Hua Ma, Min-Di Xu, Qiqige, Xiao-Hui Wang (2017) "Challenges and Developments in the utilization of fly ash in China", International Journal of Environmental Science and Development; Vol.8, No.11, pp 781-785, 11/2017.
- [4]. American coal ash association (2018), "Coal ash recycling reaches records 64 percent amid shifting production and use patterns", 2018.
- [5]. "Renewables supply 25% of global power on 2017- IEA", Online available: <https://renewablesnow.com/news/renewables-supply-25-of-global-power-in-2017-iea-606070>. Truy cập 09/09/2021.
- [6]. Nguyễn Văn Hoan (2015), *Dự án sự nghiệp kinh tế về điều tra, khảo sát các nguồn phế thải công nghiệp làm vật liệu xây dựng*. Trung tâm xi măng-bê tông, Viện Vật liệu Xây dựng, 2015.
- [7]. *Thuyết minh đề án đẩy mạnh xử lý, sử dụng tro, xỉ, thạch cao của các nhà máy nhiệt điện, nhà máy hóa chất, phân bón để làm nguyên liệu sản xuất vật liệu xây dựng và sử dụng trong các công trình xây dựng*, Viện Vật liệu Xây dựng, 2017.
- [8]. Điều tra, khảo sát đánh giá và đề xuất giải pháp sử dụng triệt để nguồn tro xỉ nhiệt điện trong sản xuất vật liệu xây dựng, Viện Vật liệu Xây dựng, 2012.
- [9]. Vũ Minh Đức (1992), "*Bê tông chịu nhiệt dùng xi măng pooc lăng*", Luận án phó tiến sỹ Khoa học kỹ thuật, chuyên ngành Vật liệu chi tiết và sản phẩm, Đại học Xây dựng Hà Nội, Hà Nội, 1992.
- [10]. Еремин.Н.Ф. (1986), "*Процессы и аппараты в технологии строительных материалов*", Учебник для вузов Ло спец. "Производство строит. Изд. И Конструкций". М: Высш. шк.280с.
- [11]. Тотурбиев. Б. Д (1988), "*Строительные материалы на сизигкат натриевые композиции*". М: строииздат.
- [12]. Баженов. Ю. М, Ицкович.С.М, Чумаков.Л.Д (1991) "*Технология заложителей Бетона.М.*", Выси. мк.
- [13]. Nguyễn Văn Hùng (2021), *Nghiên cứu phế thải tro, xỉ nhiệt điện Cẩm Phả (Quảng Ninh) và đá mat chế tạo gạch block không nung dùng chất kết dính polyme silic*. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật ngành Kỹ thuật Vật liệu, Đại học Xây dựng Hà Nội, Hà Nội, 2021.
- [14]. 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.
- [15]. TCVN 9592-7 :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.
- [16]. Vũ Minh Đức, Nguyễn Văn Đồng, Đỗ Thị Phương, Bùi Thị Hoa, Nguyễn Nhân Hòa (2009), *Cốt liệu sử dụng chế tạo bê tông chịu nhiệt*. Tạp chí Khoa học công nghệ Xây dựng (KHCNXD)- Đại học Xây dựng Hà Nội, 3 (2).
- [17]. Nguyễn Minh Tuyền (2005) *Quy hoạch thực nghiệm*. Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, 2005.