

КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

ХРУТЬБА ВІКТОРІЯ ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 666.32.001.57

МОДЕЛЮВАННЯ І ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА  
КЕРАМІЧНОЇ ПЛИТКИ

Спеціальності 05.17.11 - Технологія силікатних та тугоплавких  
неметалічних матеріалів

05.17.08 - Процеси та апарати хімічної технології

А в т о р е ф е р а т  
дисертації на здобуття наукового  
ступеня кандидата технічних наук

К и ї в - 1 9 9 4

Дисертація є рукопис.

Робота виконана у Київському політехнічному інституті

Наукові керівники: доктор технічних наук, професор  
Крупа Олексій Арсентійович  
кандидат технічних наук, доцент  
Колеснікова Раїса Миколаївна

Офіційні опоненти:

1. Доктор технічних наук, професор  
Вознесенський Віталій Анатолійович
2. Кандидат технічних наук, с.н.с.  
Доценко Борис Михайлович

Провідна організація: Полонський порцеляновий завод

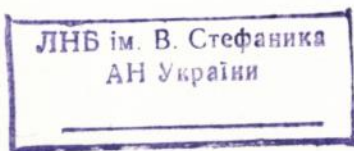
Захист дисертації відбудеться "20" червня 1994 р.  
о 14<sup>30</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради  
Д 068.14.06 у Київському політехнічному інституті за  
адресою: 252056, м. Київ - 56, проспект Перемоги, 37.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці інституту.

Автореферат розісланий "19" травня 1994 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

В.Я. КРУТЛИЦЬКА



ЛНБ України ім.В.Стефаника



00777496 (1)

КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

ХРУТЬБА ВІКТОРІЯ ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 666.32.001.57

МОДЕЛЮВАННЯ І ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА  
КЕРАМІЧНОЇ ПЛИТКИ

Спеціальності 05.17.11 - Технологія силікатних та тугоплавких  
неметалічних матеріалів

05.17.08 - Процеси та апарати хімічної технології

А в т о р е ф е р а т  
дисертації на здобуття наукового  
ступеня кандидата технічних наук

Київ - 1994

АВ 30.17

Дисертація є рукопис.

Робота виконана у Київському політехнічному інституті

Наукові керівники: доктор технічних наук, професор  
Крупа Олексій Арсентійович  
кандидат технічних наук, доцент  
Колеснікова Раїса Миколаївна

Офіційні опоненти:

1. Доктор технічних наук, професор  
Вознесенський Віталій Анатолійович
2. Кандидат технічних наук, с.н.с.  
Доценко Борис Михайлович

Провідна організація: Полонський порцеляновий завод

Захист дисертації відбудеться "20" червня 1994 р.  
о 14<sup>30</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради  
Д 068.14.06 у Київському політехнічному інституті за  
адресою: 252056, м. Київ - 56, проспект Перемоги, 37.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці інституту.

Автореферат розісланий "19" травня 1994 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

В.Я. КРУТЛИЦЬКА

## АНОТАЦІЯ

Дисертаційна робота присвячена установленню оптимальних рецептурно-технологічних режимів виробництва керамічної глазурованої облицювальної плитки на основі розроблених експериментально-статистичних моделей (ЕСМ) цього процесу з використанням створеного алгоритмічного та програмного забезпечення.

У роботі проаналізовано процес виробництва керамічної фасадної плитки, обґрунтовано застосування методів експериментально-статистичного моделювання для його формалізації. Здійснено побудову D-оптимальних планів експерименту, по яких проведені дослідження. Одержані ЕСМ водопоглинання, усадки, границі міцності при згинанні і термічного коефіцієнту лінійного розширення (ТКЛР) для різних умов реалізації процесу. Поставлена і вирішена задача багатокритеріальної оптимізації при одержанні плитки з мінімальною величиною водопоглинання і усадки та максимальним значенням границі міцності; розроблені оптимальні рецептурно-технологічні режими виробництва глазурованої і неглазурованої плитки; приведені рекомендації по добору глазурного покриття для глазуровання черепка; подана кількісна оцінка ступеня впливу неоднорідності хімічного складу сировини на якість плитки; проведено пошук сукупностей значень рецептурно-технологічних параметрів, які забезпечують у кожній конкретній ситуації одержання матеріалу з необхідними показниками якості; одержані дані по структуро- і фазоутворенню при спеченні шлакокерамічних мас. Створено рецептуру для виробництва керамічної плитки зниженої матеріалоемкості з використанням місцевої сировини. Розроблена функціональна структура, алгоритмічне та програмне забезпечення автоматизованої інформаційно-пошукової системи рецептурно-технологічного моделювання складних систем із взаємозалежними і взаємозалежними компонентами.

Автор захищає: засіб проектування оптимальних рецептурно-технологічних режимів виробництва будівельної кераміки і одержання високоякісних плиток на основі розробки комплексу ЕСМ процесу; технологічні рекомендації по вибору оптимальних режимів виробництва глазурованої і неглазурованої керамічної плитки з необхідними показниками якості; комплекс ЕСМ процесу для різних умов його реалізації; результати інтерпретації машинного експерименту на одержаних моделях, що дозволяють виробляти керамічну плитку з заданими

властивостями і покращеної якості; оптимальний ресурсозберігаючий рецептурно-технологічний режим виробництва керамічної плитки з введенням добавок місцевої нетрадиційної сировини, розроблений з застосуванням методів математичного моделювання; стратегію і алгоритм проектування на ЕОМ режимів виробництва будівельної кераміки з заданим комплексом фізико-хімічних властивостей; розроблене програмне забезпечення для експериментально-статистичного моделювання і оптимізації складних хіміко-технологічних систем, до складу яких входять як взаємозалежні так і взаємозалежні чинники.

#### ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

##### Актуальність роботи.

Для успішного розвитку народного господарства України разом із нарощуванням об'ємів будівельних робіт, виробництва будівельних матеріалів та виробів, необхідна всебічна економія матеріальних і паливно-енергетичних ресурсів, шляхом розробки нових та вдосконалення існуючих ресурсозберігаючих технологій за рахунок застосування сучасних методів наукових досліджень, запровадження можливостей ЕОМ вже на стадії розробки оптимальних режимів виробництва.

Відомо, що якісні результати установаження оптимальних режимних параметрів одержані завдяки використанню методів експериментально-статистичного моделювання, які в останній час почали широко впроваджуватися в хімічній технології завдяки застосуванню засобів обчислювальної техніки. Проте не існує достатньо повної науково-обґрунтованої методики створення оптимальних рецептурно-технологічних режимів при виробництві будівельної кераміки, що затримує її вдосконалення та розвиток.

Робота проводилась відповідно з комплексною цільовою науково-технічною програмою 7.6 "Комп'ютерне матеріалознавство та інформатизація творення нових сполук і матеріалів", затвердженою Постановою ДКНТ України, та планами НДР кафедри кібернетики хіміко-технологічних процесів Київського політехнічного інституту згідно хоздоговорчих робіт з рядом науково-дослідних інститутів та підприємств Держбуду України та Росії.

Таким чином, дослідження, які спрямовані на розширення джерел сировини, створення фасадних плиток поліпшеної якості та зниженої матеріаломісткості шляхом розробки ЕОМ процесу з застосуванням методології математичного моделювання є актуальними.

**Мета роботи.** Установлення оптимальних рецептурно-технологічних режимів виробництва керамічної глазурованої облицювальної плитки на основі розроблених ЕСМ цього процесу з використанням створеного алгоритмічного та програмного забезпечення.

**Наукова новизна.** Автором вперше розроблено засіб проектування оптимальних рецептурно-технологічних режимів при створенні технології фасадної кераміки; визначені оптимальні рецептурно-технологічні умови виробництва глазурованих плиток з поліпшеними властивостями, зниженою матеріаломкістю і підвищеною довговічністю; виявлені фізико-хімічні особливості процесів та явищ, які мають місце; одержані дані про структуро- і фазоутворення при спеченні шлакокерамічних мас; розроблено комплекс ЕСМ, що дозволяють прогнозувати значення водопоглинання, усадки, границі міцності при згинанні, ТКЛР глазурованої плитки в залежності від хімічного складу сировини; обрано оптимальний рецептурно-технологічний режим виробництва фасадної керамічної плитки з використанням добавок нетрадиційної сировини; розроблено алгоритмічне і програмне забезпечення для експериментально-статистичного моделювання та оптимізації складних хіміко-технологічних систем, до яких входять взаємозалежні і взаємозалежні чинники.

**Практична цінність та реалізація результатів роботи.** Одержані технологічні рекомендації по вибору оптимальних значень рецептурно-технологічних параметрів при виробництві глазурованої і неглазурованої плитки, а також з урахуванням неоднорідного хімічного складу сировини передані для використання на київський завод "Керамік". Результати обчислювального експерименту по одержаних ЕСМ дозволили визначати оптимальні рецептурно-технологічні режими виробництва керамічної плитки з використанням глин Шахровського родовища.

Розроблена автоматизована система експериментально-статистичного моделювання й прийняття рішень на основі одержаних моделей при дослідженні багатокomпонентних технологічних систем використовуються в учбовому процесі Київського політехнічного інституту, а також упроваджена для експлуатації у ряді науково-дослідних і проектно-конструкторських організацій, та підприємств Держбуду України та Росії.

Економічний ефект від впровадження результатів роботи на київському заводі "Керамік" склав 38,64 млн.крб. (в цінах УІ 1993р.)

**А пробація роботи.** Основні результати роботи докладались і обговорювались на: областних науково-технічних семінарах "САПР и АСУТП в химической промышленности" (м. Черкаси, 1987р. і 1989р.); науково-технічній конференції "Проблемы экологии и ресурсосбережения" (м. Чернівці, 1991р.); VII Всесоюзній конференції "Математические методы в химии" (ММХ-7) (м. Казань, 1991р.); науково-технічному семінарі "Математические методы в химии" (ММХ-8) (м. Тула, 1993р.); науково-технічному семінарі "Экспериментально-статистическое моделирование в компьютерном материало-ведении" (м. Одеса, 1993р.).

**П у б л і к а ц і і .** Основні результати роботи викладено в 20 публікаціях.

**С т р у к т у р а т а о б'є м д и с е р т а ц і і .** Дисертаційна робота складається з вступу, шести розділів, висновків, списку літератури та додатків. Робота викладена на 210 сторінках основного тексту, вміщує 35 малюнків, 24 таблиці. Список цитованої літератури вміщує 153 найменування. Додатки складають 51 сторінку.

#### ЗМІСТ РОБОТИ.

При вирішенні завдань вдосконалення якості і зростання випуску будівельних матеріалів найбільше проблем виникає з розробкою таких рецептурно-технологічних режимів, щоб вироби, які випускаються, відповідали необхідним вимогам при експлуатації.

Дослідження по підборі рецептур мас постійно проводяться в лабораторіях підприємств будівельних матеріалів, НДІ будівельного матеріалознавства. Проте існуючої інформації недостатньо в постійно змінливих умовах виробництва для визначення оптимальних режимів ведення процесу. Ця задача може бути успішно вирішена з застосуванням методології експериментально-статистичного моделювання.

Таким чином нижче сформульовані основні етапи роботи :

1. Провести дослідження процесу виробництва керамічної облицювальної плитки з метою виявлення домінуючих параметрів ведення процесу, визначити ступінь їх впливу на якість одержуваного виробу, розробити комплекс експериментально-статистичних моделей процесу.
2. Встановити оптимальні рецептурно-технологічні режими виробництва керамічної глазурованої плитки. Розробити рекомендації по вибору існуючих фритованих глазурей і визначити рецептуру сирової глазури для глазурного покриття в оптимальній зоні ведення процесу.
3. Виявити ступінь впливу неоднорідності хімічного складу викорис-

товуваної сировини на показники якості керамічної плитки.

4. Розробити ресурсозберігаючий рецептурно-технологічний режим виробництва плитки з використанням добавок місцевої сировини.

Процес виробництва керамічної плитки це складна, стохастична система, вивчення якої доцільно проводити з використанням методів оптимального планування експерименту. Вплив випадкових чинників і недостатня вивченість, відсутність відомостей про фізико-хімічну сутність явищ не дозволяють використати детермінований підхід при розробці математичного описання процесу вцілому.

Об'єктом дослідження в цій роботі був спосіб виробництва керамічної плитки, який складається з приготування маси, її пресування, сушкою та випалом у виробничих печах київського заводу "Керамік". Головними факторами, які суттєво впливають на процес, обрані: складові керамічної маси - глиняна сировина (глина ЧПК); плавні - нефелін, шлак, скло; опісники - пісок і шамот. Технологічні параметри - тиск пресування, температура випалу виробів. Вихідними змінними обрані водопоглинання, усадка і границя міцності при згинанні. Априорно відомо про нелінійний характер впливу факторів на вихідні змінні, що обумовлює вибір повного полінома другого ступеня при розробці математичного описання процесу. Інтервали змінювання факторів, необхідні значення вихідних змінних представлені в табл. I.

Таким чином, це завдання зводиться до класу задач "складна технологія-властивість". Проте внаслідок складної області існування параметрів для вирішення задачі було запропоновано перейти від взаємозалежних до взаємозалежних чинників і представити сумішеві фактори їх відношенням до головного компонента шлікера - глини. Одержані чинники представлені в таблиці I.

Згідно обраного D-оптимального плану були проведені експериментальні дослідження, обробка результатів яких і прийняття конкретних технологічних рішень проводилось з використанням розробленої автоматизованої системи рецептурно-технологічного моделювання "МІОРІТ", що призначена для надання практичної допомоги досліднику в організації оптимального експерименту при моделюванні і оптимізації складних технологічних систем, які являють собою суміші різних компонентів, а також включають взаємозалежні параметри.

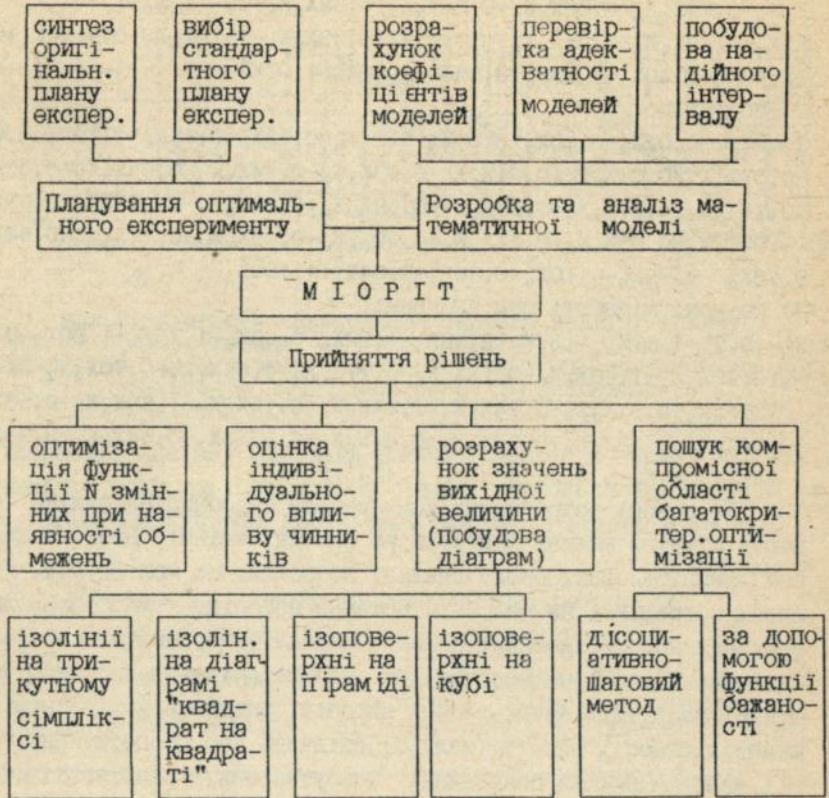
Система, структуру якої зображено на мал. I, містить основні блоки вибору планів експерименту, побудову та статистичний аналіз

Таблиця I

Наслідки попереднього аналізу досліджуваного процесу

Найменування	Умовні позначки	Одиниці вимірюван.	Фасадна плитка	Глазур. фасадна плитка	Фасадна плит. місц. сировини
Глина ЧПК	$C_1$	%	60 - 80	60 - 80	40 - 60
Глина Шахровська	$C_7$	%	-	-	10 - 30
Шлак	$C_2$	%	15 - 30	10 - 25	10 - 25
Нефелін	$C_3$	%	0 - 7	0 - 7	-
Скло	$C_4$	%	0 - 7	-	0 - 10
Пісок	$C_5$	%	0 - 7	-	-
Шамот	$C_6$	%	5 - 15	0 - 10	0 - 10
Тиск	P	МПа	3,0	-	5,0
Температура	T	°C	1010	-	1050
<b>Ф а к т о р и</b>					
Сумішеві фактори, які представлені у вигляді відношень масових долей компонентів суміші	$X_1$		$C_3/C_1$	$C_2/C_1$	$C_7/C_1$
	$X_2$		$C_2/C_1$	$C_3/C_1$	$C_4/C_1$
	$X_3$		$C_4/C_1$	$C_5/C_1$	$C_2/C_1$
	$X_4$		$C_5/C_1$	T	$C_6/C_1$
	$X_5$		$C_6/C_1$		T
	$X_6$		T		
	$X_7$		P		
<b>Вихідні змінні</b>					
Водопоглинання	$U_1$	%	не більше ніж I2		
Усадка	$U_2$	%	не більше ніж 4,5		
Границя міцності при згинанні	$U_3$	МПа	не менше ніж I2		
<b>Властивості обраних планів</b>					
Кількість чинників			7	5	4
Кількість дослідів			36	21	15
Детермінант інформаційної матриці			$4,7 \cdot 10^{42}$	$8,8 \cdot 10^{10}$	$1,17 \cdot 10^{12}$

математичних моделей, прийняття по ним рішень. Її ядром є диспетчер, який здійснює координацію роботи усіх програмних модулів, передає основні параметри, виконує введення вхідних даних, завдання типу задачі: "технологія-властивість", "склад-властивість", "склад - технологія-властивість", здійснює сервісні і допоміжні функції. Блок побудови планів експерименту включає вибір стандартного плану експерименту з бази даних системи та синтез D-оптимальних планів. Після реалізації експерименту здійснюється статистична обробка результатів, яка складається в одержанні коефіцієнтів регресійного рівняння і оцінці його адекватності досліджуваному процесу. Математичні моделі дають змогу приймати конкретні технологічні рішення, зокрема: здійснити оптимізаційний пошук по моделі з використанням комплексного метода Бокса; оцінювати вплив кожного із досліджуваних чинників на показники якості виробів; прогнозува-



Мал.І. Структурна схема автоматизованої системи МІОРІТ

ти властивості одержуваного виробу та здійснювати вибір рецептурно-технологічного режиму для конкретного показника якості з використанням графічної інтерпретації результатів моделювання у вигляді ізоліній або ізоповерхней відгуку; вирішувати задачу багатокритеріальної оптимізації. Розроблене програмне забезпечення має дружній інтерфейс, контекстно-залежну систему допомоги і не потребує від користувача спеціальних знань програмування.

З використанням даної системи одержано адекватні математичні моделі процесу: I) по водопоглинанню:

$$Y_1 = 10,05 - 0,66X_1 + 0,02X_2 + 0,43X_3 + 0,67X_4 + 1,44X_5 + 1,30X_6 - 1,13X_7 - 0,07 \times X_1X_2 - 0,91X_1X_3 - 0,70X_1X_4 - 0,02X_1X_5 + 0,50X_1X_6 - 0,24X_1X_7 - 0,44X_2X_3 + 1,03 \times$$

$$X_2X_4-0,77X_2X_5+0,08X_2X_6+0,20X_2X_7-0,32X_3X_4+0,77X_3X_5-1,16X_3X_6-0,29X_3X_7-0,16X_4X_5+0,05X_4X_6-0,04X_4X_7-0,48X_5X_6-1,10X_5X_7-0,91X_6X_7+0,86X_1^2+2,75X_2^2+0,40X_3^2+1,73X_4^2+3,86X_5^2+2,68X_6^2-1,07X_7^2 \quad (1)$$

2) по усадці:

$$Y_2=2,37-0,07X_1-0,18X_2+0,01X_3-0,24X_4-0,13X_5+0,22X_6-0,19X_7-0,08X_1X_2-0,07X_1X_3+0,04X_1X_4+0,01X_1X_5-0,13X_1X_6-0,14X_1X_7-0,06X_2X_3-0,05X_2X_4+0,14X_2X_5-0,07X_2X_6+0,05X_2X_7-0,09X_3X_4+0,06X_3X_5-0,14X_3X_6-0,05X_3X_7-0,01X_4X_5-0,05X_4X_6+0,21X_4X_7+0,20X_5X_6+0,09X_5X_7-0,11X_6X_7-0,64X_1^2-0,68X_2^2-0,39X_3^2-0,10X_4^2+0,26X_5^2+0,34X_6^2+1,10X_7^2 \quad (2)$$

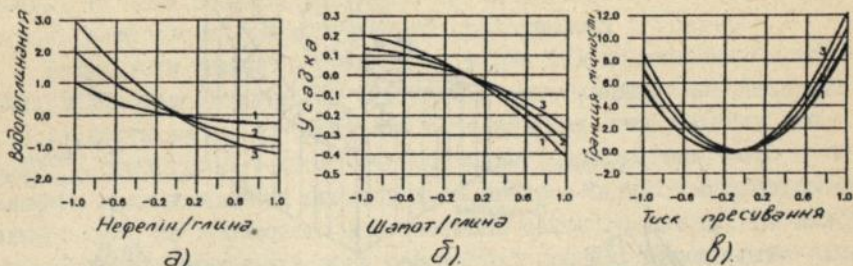
3) по межі міцності при згинанні:

$$Y_3=19,71+1,37X_1-1,37X_2+2,19X_3-1,52X_4-0,08X_5+1,46X_6+1,80X_7-0,11X_1X_2+0,42X_1X_3+1,69X_1X_4-0,14X_1X_5-0,77X_1X_6+1,05X_1X_7-0,70X_2X_3-3,08X_2X_4-0,27X_2X_5-0,31X_2X_6-0,74X_2X_7-1,24X_3X_4-0,16X_3X_5-1,50X_3X_6-0,53X_3X_7-0,64X_4X_5+0,92X_4X_6+0,64X_4X_7+0,94X_5X_6+1,57X_5X_7-0,66X_6X_7-8,99X_1^2-4,64X_2^2+0,81X_3^2-5,44X_4^2+4,90X_5^2+6,42X_6^2+9,01X_7^2 \quad (3)$$

На основі розроблених ЕСМ процесу виробництва плитки оцінювався ступінь впливу факторів на вихідні змінні. Деякі з цих діаграм квазіоднфакторного аналізу зображені на мал.2а,б,в. Як випливає з графіків на мал.2а зростання нефеліну у масі приводить до зниження водопоглинання. Плавень сприяє утворенню рідкої фази, веде до заповнення певного об'єму пор переміщення частинок кристалічної фази, ущільненню, усадці виробів. Зниження усадки при збільшенні кількості шамоту (мал.2б) свідчить про процеси кристалізації малоусадних та безусадних новоутворень і реалізації із зерен шамоту малоусадної структури. Збільшення тиску пресування (мал.2в) зміцнює плитку завдяки розвитку контактних поверхней, взаємодії твердих частинок і витісненню повітря із пор. Дані діаграми дозволяють кількісно оцінити ступінь впливу факторів на якість плитки.

Спільна оцінка впливу технологічних факторів - тиску та температури - на значення вихідних змінних при стабілізації рецептури шликера, приведена на мал.3. На графіках відображаються загальні закономірності змінювання вихідних змінних, що пояснюється процесами, які мають місце при випалі плитки - спочатку спечення склообразуючих шлакових зерен у просторовий каркас, проміжки якого заповнені продуктами розкладання глинистих матеріалів, потім спечення місць контакту різних кристалічних та аморфних фаз з утворенням міцної, малоусадної полікристалічної структури.

Аналіз одержаних поверхней дозволяє вибрати область реаліза-



Мал.2. Діаграми квазіоднфакторного аналізу впливу плавня на водопоглинання (а), опіснювачів на усадку (б), тиска пресування на границю міцності при згинанні (в) на нижньому (1), середньому (2) і верхньому (3) варіюванні

ції процесу, яка має найбільш плоский вигляд поверхні відгуку і відповідає найбільш стабільному режиму ведення процесу. Деякі обрані режими виробництва керамічної плитки приведено в табл.2.

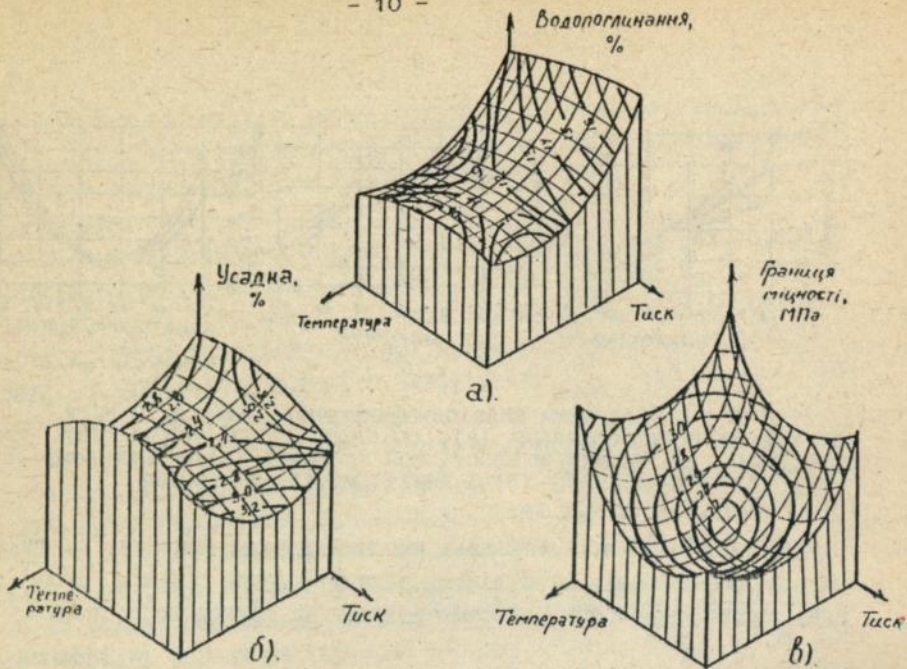
Таблиця 2

Оптимальні рецептурно-технологічні режими для виробництва керамічної фасадної плитки

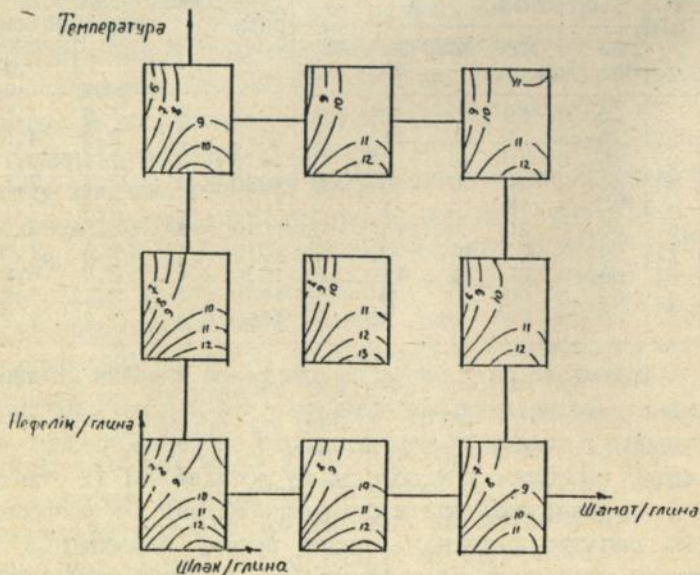
N П/П	Рецептура, %						Температура, С	Тиск МПа	Усадка, %	Водопоглинання, %	Границя міцності при згинанні
	гли-не-шлак на фел.	скло	ша-мот	пі-сок							
1.	60	0	25	0	8	7	1010	3	1,9	7,5	21,8
2.	70	4	15	0	11	0	1010	3	2,9	4,5	30,4
3.	75	0	15	2	8	0	1010	3	2,1	5,7	23,9
4.	60	2	30	0	8	0	1030	3	2,7	7,6	26,5
5.	70	4	15	0	11	0	1030	3	3,4	5,7	27,2
6.	60	2	20	4	14	0	1010	4	2,5	7,9	23,5
7.	60	2	20	11	0	7	1010	4	1,3	7,8	22,6
8.	65	0	20	4	11	0	1030	4	2,2	6,4	27,1
9.	65	6	20	0	8	1	1030	4	2,1	7,9	16,7
10.	60	6	20	6	8	0	1050	4	1,2	7,8	28,6

Оптимізаційний пошук по одержаним моделям виявив спільні координати індивідуальних оптимумів для мінімальних значень водопоглинання і усадки та максимального значення границі міцності виробу, що дозволило при подальшому дослідженні їх стабілізувати.

Одержані результати були використані для розробки оптимального рецептурно-технологічного режиму виробництва глазурованої плитки, здійснити добір фритованої та установити рецептуру сирови



Мал.3. Поверхні відгуку для водопоглинання (а), усадки (б), границі міцності при згинанні (в).



Мал.4. Ізолінії на діаграмі "квадрат на квадраті" для водопоглинання.

глазурі для нанесення глазурного покриття при відповідності ТКЛР глазурі та маси. Область існування змінних, досліджувані чинники і основні властивості обраного плану представлені в табл. I.

Результати машинного експерименту для водопоглинання по одержаних ЕСМ, представлені на діаграмах типу "квадрат на квадраті" (мал. 4), дають змогу прогнозувати значення вихідних змінних для обраного рецептурно-технологічного режиму виробництва. Вибір оптимального режиму ведення процесу здійснювався побудовою плезіоптимальної зони за допомогою дісоціативно-шагового методу. На мал. 5 заштрихована компромісна зона реалізації процесу виробництва плитки, яка побудована в результаті накладання номограм, розрахованих для кожної вихідної змінної.

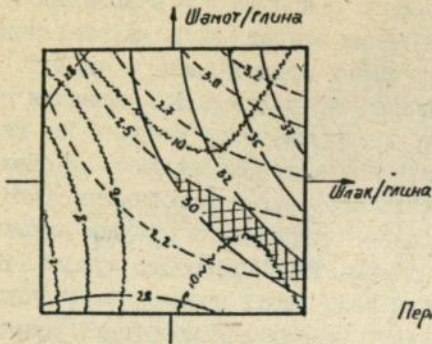
Таким чином, одержані результати дозволяють виробити рекомендації по добору оптимального рецептурно-технологічного режиму при умові відповідності значень ТКЛР глазурі та черепка, з використанням існуючих фритованих глазурей і розробити рецептуру сирій глазурі для нанесення глазурного покриття в оптимальній зоні ведення процесу.

При визначенні ТКЛР фритованої глазурі використовувався метод розрахунку, розроблений Апенем. Одержані результати дозволили пропонувати певного виду фриту для обраного режиму виробництва.

Для розробки рецептури сирій глазурі, використовувалося 40-60% датоліту, до 30% перліту, 10-40% глини. Це завдання класифікується як задача типу "склад-властивість", а поверхня відгуку описується поліномом неповного кубічного ступеня. Обробка результатів експериментів, проведених по спеціально синтезованому D-оптимальному плану, дозволила одержати рівняння залежності ТКЛР від складу суміші. Результати обчислювального експерименту представлені на діаграмі "склад-властивість" (мал. 6) і дозволяють визначати склад суміші при виробництві глазурі з заданим значенням ТКЛР.

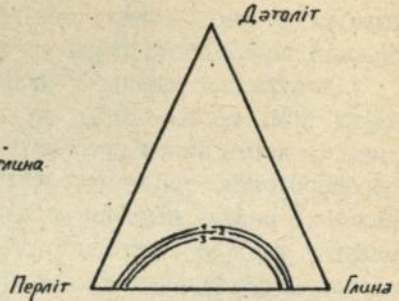
Неоднорідність хімічного складу сировини, що використовується у виробництві плитки, справляє збурюваний вплив на показники якості виробу, веде за собою нестабільність процесу та появу браку. Тому для оцінки впливу хімічного складу сировини на вихідні змінні необхідно було розробити ряд ЕСМ для яких один фактор (глина) є змінюваним, а інші - стабільні. Сушка, пресування, випал велись в однакових умовах.

Згідно обраному раніше плану було проведено 3 серії експери-



Мал.5 Компромiсна зона реалiзацiї виробництва керамiчної плиткi:

- iзолiнii границi мiцностi;
- iзолiнii усадки;
- ~ ~ ~ iзолiнii водопоглинання.

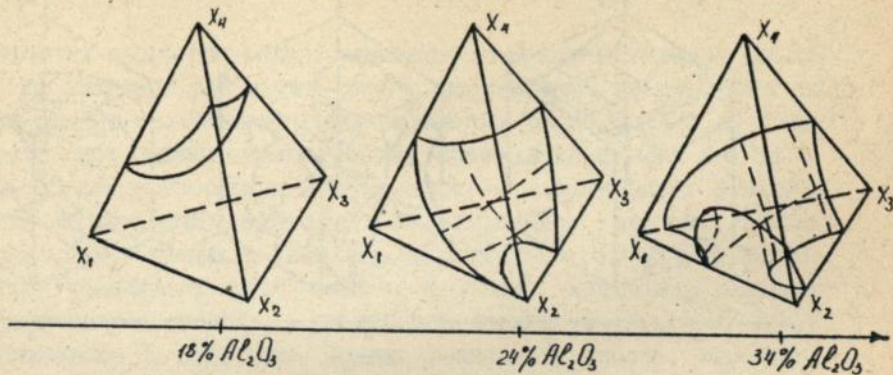


Мал.6. Iзолiнii ТКЛР на дiаграмi "склад-власливiсть"

- 1 - вiеличина ТКЛР  $4,0 \times 10^{-6}$  ;
- 2 - вiеличина ТКЛР  $4,5 \times 10^{-6}$  ;
- 3 - вiеличина ТКЛР  $5,0 \times 10^{-6}$  .

ментальних досліджень з використанням глини, до складу яких входять 54%, 59%, 67%  $\text{SiO}_2$ , 33%, 24%, 18%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , а також незначна кількість домішок у вигляді сполук K, Na, Ca, Fe, Mg та інших. Обробка одержаних результатів дозволила побудувати ряд ЕСМ процесу по кожній серії дослідів. Для конкретної оцінки ступеню впливу неоднорідності хімічного складу глини результати розрахунків по моделях представлено на тетраедрі. Так на мал.7 зображено змінювання ізоповерхні відгуку границі міцності 25 МПа при різних кількості  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в масі. Збільшення його кількості веде за собою зростання, як площі ізоповерхні, так і самого значення вихідної змінної. Ускладнення виду поверхні свідотствує про нестабільність процесу та його чутливості до зміни рецептурного режиму.

Дані обчислювального експерименту дали змогу представити значення вихідних змінних на діаграмі стану багатокомпонентних систем. Досліджувана зона являє собою розплав різних алюмосилікатів K, Na, Mg, Ca та твердих розчинів. Мікрогетерогенна структура матеріалу складається з перетворених зерен кварцу, каркасу із ліквованих та закристалізованих зерен шлаку та мілкодисперсного термоструктурованого глинистого матеріалу, в якому локалізується основний об'єм пор. Утворення кристалічних фаз, особливо в зонах контакту, де найбільш вірогідно виникнення евтектичних розплавів, сприяє утворенню міцної каркасної структури спеченого черепка. Виявлено, що утворена рідка фаза частково розчиняє складові частини ма-

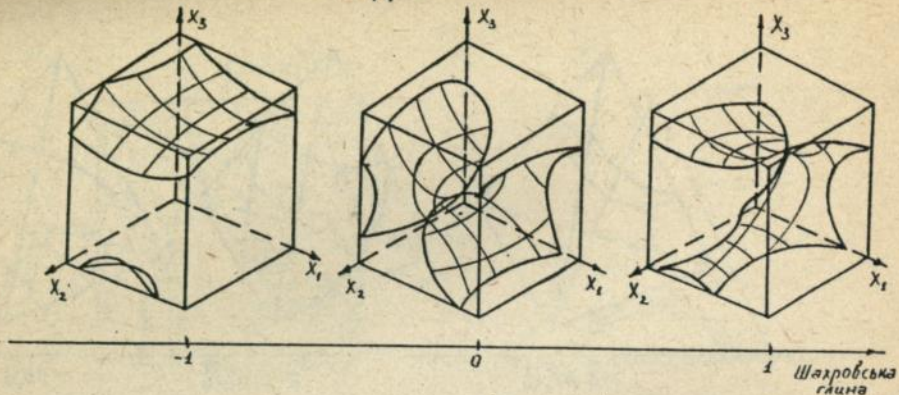


Мал.7. Змінювання ізоперхні границі міцності згинанні 25 МПа в залежності від кількості  $Al_2O_3$  в масі:  $X_1$  - глина,  $X_2$  - шлак,  $X_3$  - нефелін,  $X_4$  - шамот.

си, та сприяє утворенню лейциту. Забезпечення специфічних заданих властивостей черепка здійснюється зміною його хімічного складу.

Для зниження собівартості виробів, скорочення розходу більш цінної сировини і впровадження ресурсозберігаючих технологій, запропоновано вводити в керамічну масу добавку місцевої сировини - шахровську глину, а нефелін замінити склобоєм. Прийнята область варіювання змінних, досліджувані чинники і властивості обраного плану представлені в табл. I. Обробка результатів проведених експериментів дозволила одержати ряд ЕСМ процесу.

Одержані результати обчислювального експерименту при стабілізації температури випалу на верхньому рівні її варіювання зображені у вигляді ізоперхней на кубі у координатах  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$  при зміні кількості шахровської глини (мал.8). Повільна зміна конфігурації поверхні границі міцності яке дорівнює 19 МПа, при невеликих добавках шахровської глини свідчить про стабільність досліджуваного процесу. Проте, як видно із графіків, вказаний показник суттєво залежить від кількості шахровської глини, а конфігурація поверхні, зі зростанням добавки глини, ускладнюється від плоского для нижнього рівня до двох наближаючихся поверхней на середньому і ускладненої седлоподібної поверхні на верхньому рівні варіювання фактору. Це свідчить про нестабільність процесу при збільшенні кількості шахровської глини та її збурюючому впливу на процес. Деякі рецептурно-технологічні режими виробництва плитки з використанням добавок шахровської глини приведено в табл.3.



Мал.8. Змінювання ізоповрхні границі міцності згинання 19 МПа в залежності від кількості шахровської глини в масі:  
 $X_1$  - скло/глина,  $X_2$  - шлак/глина,  $X_3$  - шамот/глина

Таблиця 3

Оптимальні режими виробництва фасадної плитки з використанням шахровської глини

Рецептура, %					Температура, °C	Усадка, %	Водопоглинання, %	Границя міцності, МПа
Глина ЧПК	глина шахровська	скло	шамот	шлак				
40	30	10	10	10	1050	3,68	8,99	17,57
45	25	4	7	19	1050	3,74	8,36	20,01
60	10	4	4	22	1050	4,27	9,01	20,88
45	25	10	10	10	1050	4,13	7,91	20,27
50	30	0	4	16	1050	4,21	7,63	19,30
40	30	4	4	22	1050	3,27	8,44	30,27
50	20	8	9	13	1050	4,10	8,24	20,43
60	20	0	4	16	1050	4,31	7,79	20,17
55	20	0	3	22	1040	2,90	10,40	18,95

ВИСНОВКИ.

1. Вивчено сучасний стан проблеми виробництва керамічної плитки, обґрунтовано застосування методів математичного моделювання для формалізації процесу і вибір стохастичного підходу для розробки математичного опису даного процесу, виявлені домінуючі фактори, що чинять суттєвий вплив на показники якості виробів.

2. З використанням математичної теорії експерименту проведено експериментальне вивчення процесу виробництва керамічної плитки по

результатах якого розроблені адекватні статистичні моделі. Проведено їх аналіз, у результаті якого напрацьовані рекомендації по вибору рецептурно-технологічних параметрів цього процесу на основі кількісної оцінки ступеня впливу чинників на вихідні змінні.

3. На основі розроблених ЕСМ виробництва глазурованої фасадної плитки, що включають залежності водопоглинання, усадки, границі міцності при згинанні і ТКЛР від рецептурно-технологічних факторів при моделюванні самої плитки, а також регресійні рівняння для датолітової глазури, проведений багатокритеріальний пошук плезіоптимальної зони для обраних показників якості. Вироблені рекомендації по використанню існуючих фритованих глазурей для нанесення глазурного покриття в оптимальній зоні ведення процесу. Здійснено вибір відповідних режимів з використанням сирової глазури для глазурювання черепка. Вироблені рекомендації по вибору оптимального складу керамічної маси та температури її випалу при умові відповідності значень ТКЛР глазури та черепка.

4. Подана кількісна оцінка ступеня впливу неоднорідності хімічного складу сировини на показники якості плитки на основі розроблених ЕСМ процесу. Проведено пошук сукупностей значень рецептурно-технологічних параметрів, які забезпечують у кожній конкретній ситуації одержання матеріалу з необхідними показниками якості. Одержані результати подані на діаграмах стану трьохкомпонентних систем, що дозволяє застосовувати їх як для вивчення фазового та хімічного складу плитки, так і для виробництва її з необхідними властивостями. Одержані дані по структуро- і фазоутворенню при спеченні шлакокерамічних мас.

5. Розроблено рецептурно-технологічний режим виробництва керамічної облицювальної плитки з введенням у рецептуру добавок глини Шахровського родовища, що дає економічний варіант виробництва плитки з замінов привозної сировини на місцеву.

6. Результати роботи у вигляді технологічних рекомендацій по реалізації процесу в оптимальних рецептурно-технологічних режимах передані київському заводу "Керамік".

7. Економічний ефект від впровадження результатів роботи на київському заводі "Керамік" склав 38,64млн.крб. (у цінах на VI I993р)

8. Розроблена функціональна структура, алгоритмічне та програмне забезпечення автоматизованої системи експериментально-статистичного моделювання і оптимізації складних ХТС, які вміщують взаємо-

залежні і взаємозалежні чинники.

9. Розроблене програмне забезпечення запроваджене для експлуатації у ряді проектних організацій.

Основний зміст дисертації викладено у 20 роботах, головними з яких є : І. Ляшенко Т.В., Колесникова Р.Н., Чернявская Л.П., Хрутьба В.А. Диалоговая автоматизированная система планирования и обработки экспериментов для моделирования многокомпонентных систем // Тезисы докладов Третьего областного научно-технического семинара "САПР и АСУТП в химической промышленности", г. Черкассы, 1989. - с.32.

2. Колесникова Р.Н., Чернявская Л.П., Хрутьба В.А. Моделирование процесса получения керамической плитки для выбора оптимальных условий его реализации // Вестник КПИ. Серия химическое машиностроение и технология. - К: изд-во "Льбидь", 1990. - с.62-65.

3. Хрутьба В.А. Многокритериальный поиск оптимального состава керамических масс при производстве фасадной керамической плитки // Тезисы докладов IV научно-технического семинара "САПР и АСУТП в химической промышленности", г. Черкассы, 1991. - с.18-21.

4. Статюха Г.А., Попский М.С., Хрутьба В.А. Планирование и обработка результатов эксперимента при оптимизации химико-технологических систем "состав-технология-свойства" // Тезисы докладов IV Всесоюз. конфер. "Математические методы в химии", г. Казань, 1991. - с.285

5. Колесникова Р.Н., Чернявская Л.П., Хрутьба В.А. Анализ влияния факторов на качество фасадной плитки // Вестник КПИ. Серия хим. машиностроение и технология. - К: изд-во "Льбидь", 1991. - с.61.

6. Колесникова Р.Н., Ляшенко Т.В., Хрутьба В.А. Оптимизация процесса получения керамической фасадной плитки // Заводская лаборатория, №3, 1992. - с.64.

7. Колесникова Р.Н., Крупа А.А., Хрутьба В.А. Выбор оптимальных режимов производства керамической глазурованной фасадной плитки. Деп. в ГНТБ Украины №1019, 1993.

8. Колесникова Р.Н., Крупа А.А., Хрутьба В.А. Исследование влияния химического состава сырья на свойства керамической массы при производстве фасадной плитки. Деп. в ГНТБ Украины №1949, 1993.

9. Колесникова Р.Н., Крупа А.А., Хрутьба В.А. Математическое моделирование рецептур глазурей в производстве облицовочной керамики // Тезисы докладов научно-технического семинара "Математические методы в химии", г. Тула, 1993. - с.105.

Ю. Колесникова Р.Н., Топоровский А.Л., Хрутьба В.А. Компьютерный поиск оптимальных материаловедческих и технологических решений // Тезисы докладов научно-технического семинара "Математические методы в химии" (ММХ-8), г.Тула, 1993.- с.104.

*асл* —

1994г. Зак. 67I, тир. IIJ экз.  
"Укргазпроект", Артема, 77

Ю. Колесникова Р.Н., Топоровский А.Л., Хрутьба В.А. Компьютерный поиск оптимальных материаловедческих и технологических решений // Тезисы докладов научно-технического семинара "Математические методы в химии" (ММХ-8), Г.Тула, 1993.- с.104.

*асл* —

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

457902

AB30177  
**AB 30.177**

1994г. Зак. 671, тир. 110 экз.  
"Укргазпроект". Артема, 77