

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ПІГМЕНТНОГО КОНЦЕНТРАТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ШКІРЯНОГО ПОРОШКУ
OPTIMIZATION OF COMPOSITION OF PIGMENTARY CONCENTRATE WITH USAGE OF TANNING POWDER

ОПТИМІЗАЦІЯ СОСТАВА ПИГМЕНТНОГО КОНЦЕНТРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЖЕВЕННОГО ПОРОШКА

А.ДАНИЛКОВИЧ, Л.ОЛЕНКО, О.ВАСИЛЮК
A.DANILKOVICH, L.OLENKO, O.VASILYUK
А.ДАНИЛКОВИЧ, Л.ОЛЕНКО, О.ВАСИЛЮК

Велике значення для підвищення споживчої вартості готових багатошарових матеріалів мають оздоблювальні процеси. Вони дозволяють усунути недоліки та поліпшити, а іноді і зовсім змінити зовнішній вигляд матеріалів, розширити та поновити їх асортимент відповідно до вимог сучасної моди.

Широке застосування у покривному фарбуванні знаходять пігментні концентрати (ПК). Ці суміші представляють собою високодисперговані пігменти, ретельно перетерті з певною зв'язуючою речовиною. До них входять також пластифікатори, диспергатори, поверхнево-активні речовини (ПАР), антисептики і вода¹. Проте часто деякі компоненти ПК шкідливо впливають на людей і довкілля. Так, використання ПК на основі казеїну потребує обов'язкового введення до його складу антисептика – фенолу², вміст органічних розчинників в деяких ПК впливає на час біологічного розкладання, а рослинна сировина призводить до нестабільності властивостей отриманих складів³.

Перераховані недоліки вказують на актуальність роботи щодо вдосконалення складових ПК, які сьогодні широко використовуються, більш екологічно безпечними та економічно вигідними.

Такими ефективними заміниками можуть бути відходи виробництва. Так, в роботі⁴ вказується, що однією із найважливіших проблем сучасного виробництва шкіри та хутра є велика кількість білкових відходів, кількість яких у світовому масштабі складає 50 млрд. тон в рік⁵. Вони знаходять обмежене застосування і у великій кількості накопичуються в зовнішньому середовищі, погіршуючи його екологічний стан⁶.

Найбільш відомими шляхами використання колагенмістких відходів є їх диспергування та деструкція в лужному чи кислотному середовищі. Так, застосування білкових гідролізатів, отриманих з відходів хромових шкір, дозволяють удосконалити технологію фарбувально-жирувальних процесів шкіряного виробництва⁷, наповнювання⁸ та оздоблювання⁹ шкір, а саме: зменшити витрату відомих органічних наповнювачів на 35–40 %, збільшити вихід шкіри по площі та поліпшити її ергономічні показники¹⁰. Так, зокрема,

¹ Справочник кожевника (Отделка. Контроль производства) / Под ред. Н.А. Балберовой. – М.: Легпромбытиздат, 1987. – 256 с.; Дубининский М.З. Покрывное крашение кож. – М.: Легпромбытиздат, 1985. – 120 с.

² Журавський В.А., Касьян Е.С., Данилкович А.Г. Технологія шкіри та хутра. – К.: ДАЛПУ, 1996. – 744 с.

³ Справочник кожевника (сырье и материалы) / Р.Я. Афанасьева, Н.С. Афонская, М.М. Бернштейн и др. / Под ред. К.М. Зурабяна. – М.: Легк. и пищев. пром-сть, 1984. – 384с.

⁴ Завада А.П., Горбачов А.А. Особливості виготовлення штучної шкіри з відходів, що містять колаген. // Матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. “Сучасні екологічно безпечні технології виробництва шкіри та хутра”. – К.: КНУТД, 2005. – С. 54 – 55.

⁵ Чакърска И., Панкова М., Апостолов Г. Молекулярномассовые, инфракрасные и электронно-микроскопические исследования лиофилизатов фосфорнокислых коллагеновых гидролизатов. // Матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. “Сучасні екологічно безпечні технології виробництва шкіри та хутра”. – К.: КНУТД, 2005. – С. 22 – 23.

⁶ *What to do with waste?* // World Leather. – 1999–2000. – Vol. 12, №8. – P. 23.

⁷ Glubish P.A., Danilkovich A.G., Zhygotsky A.G. Application of protein filler at formation of elastic leather // Buletinul institutului politehnic din iasi. – 2002. – Т. XLVIII(LII). – Fask. 1-2, p. 79–82.

⁸ Глубиш П.А. Розробка і впровадження нових препаратів на основі білковмісної вторинної сировини // Вісник ДАЛПУ. – 2000. – №3. – С. 39–42; Глубиш П.А. Розробка і впровадження у виробництво шкіри нових препаратів з дублених шкіряних відходів // Сучасні технології в легкій та текстильній промисловості. – К.: ДАЛПУ, 1995. – Т. 2. – С. 150–155.

⁹ *Costantinescu Maria.* Пигментные пасты на базе гидролизата коллагена для отделки кож // Ind. Usoara. – 1983. – Vol. 30, №8. – S. 343–349; Журавський В.А. Малоотходная технология кожевенного производства. – М.: Легпромбытиздат, 1993. – 128 с.; *Сатіанарайан Паніграхі.* Модифіковані колагенвмісні продукти для оздоблювання хромових шкір // Легка пром-сть. – 1997. – №3. – С. 55–56.

¹⁰ Глубиш П.А. Розробка і впровадження у виробництво шкіри нових препаратів з дублених шкіряних відходів // Сучасні технології в легкій та текстильній промисловості. Т. 2. – К.: КАЛПУ. – 1995. – С. 150–155; *Сатіанарайан Паніграхі, Журавський В.А., Романь А.С., Андреева О.А.* Применение коллагенсодержащих продуктов в кожевном производстве // Праці III-ої Міжнар. науково-практ. конф. “Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини” (СИЭТ-98) / м. Кам'янець-Подільський: 1998. – С. 44–46.

доведено, що золі колагену, отримані із стружки напівфабрикату хромового дублення, можуть використовуватися на різних стадіях виробництва шкіри¹¹. Проте відомі шляхи утилізації таких відходів передбачають обов'язкову їх додаткову переробку, що робить процес довготривалим та трудомістким.

З метою спрощення та здешевлення технологічних процесів проводяться роботи¹² щодо пошуку шляхів використання неперероблених відходів шкіряного виробництва, таких як шкіряний порошок, для наповнення композиційних полімерних матеріалів.

Можливість використання відходів шкіряного виробництва вже встановлена нами раніше¹³, де показано застосування шкіряного порошку для отримання ПК із високою покривною здатністю, стабільністю та значним температурним інтервалом експлуатації і зберігання. При цьому спостерігаються наступні позитивні ефекти: утилізація цінних колагенмістких відходів шляхом повернення їх у виробництво, зниження собівартості ПК, доступність та безпечність використаних матеріалів.

У розробленому складі ПК досягається значна економія матеріалів порівняно із відомими ПК¹⁴ не тільки за рахунок введення як пігменту пилоподібних відходів шкіряного виробництва, а й внаслідок використання алкілкарбокситаноламінів сумішшю природних нафтових газової фракції або синтетичних жирних кислот фракції C₇...C₉ (АКЕА), які проявляють властивості, як пластифікатора, так і диспергатора, а застосування полівінілового спирту (ПВС), на відміну від казеїну, не потребує додаткового введення консервуючих агентів (Рис. 1).

Мета даної роботи полягає в оптимізації розробленого складу ПК на основі колагенмістких відходів шляхом дослідження впливу кожного компоненту на фізико-механічні властивості вільних плівок та покривної фарби.

Об'єктом дослідження є процес оптимізації складу пігментного концентрату, предметом – склад ПК, що містить шкіряний порошок у вигляді пилоподібних відходів оздоблювального цеху шкіряного виробництва (табл. 1).

ПК готували шляхом послідовного змішування інгредієнтів, що входять до їх складу, з наступним затиранням при додаванні розрахованої кількості води до одержання пастоподібної маси. Дослідження ПК проводили за стандартними методиками із визначенням покривної здатності ПК та покривної фарби. Покривну фарбу готували шляхом змішування ПК та акрилової емульсії МБМ-3 в співвідношенні 15:85.

Таблиця 1

Склад пігментного концентрату

Компонент	Вміст, мас. %
Шкіряний порошок з розміром частинок 3,0...0,3 мкм	10 – 20
Полівініловий спирт (10 %-ий)	5 – 10
Алкілкарбокситаноламіни суміші природних нафтових газової фракції або синтетичних жирних кислот фракції C ₇ ...C ₉	1 – 5
Вода	решта

¹¹ Кислотно-лужні властивості золів колагену як поліфункціонального матеріалу шкіряного виробництва / С.М.Кернер, П.А.Глубіш, А.Г.Данилкович, О.Г.Жигоцький // Вісті академії інженерних наук України. – 1995. – №2. – с.58–65.

¹² Кутьин В.А. и др. О свойствах кожевенного порошка – нового гидрофильного наполнителя // Кожевенно-обувная пром-сть. – 1975. – №12. – С. 49–52; Булгакова И.В. Использование кожевенной стружки для додубливания и наполнения бахтармянного спилка // Кожевенно-обувная пром-сть. – 1994. – №11-12. – С. 38–39; Комплексная оценка структурно-механических свойств композиционного материала эпоксидный полимер – наполнитель / Билым Н.А., Попова Н.Г., Горлов В.И., Кабатов Ю.Л., Косарин В.Н. // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 1985. – № 1. – С. 39–42.

¹³ Використання пилоподібних відходів шкіряного виробництва у складі пігментних концентратів / Л.М.Оленко, Н.В.Омельченко, А.Г.Данилкович, О.В.Ковтуненко. // Матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. “Сучасні екологічно безпечні технології виробництва шкіри та хутра”. – К.: КНУТД, 2005. – С. 30 – 31.

¹⁴ Пат. 2074561. Россия МПК⁷ С 14 С 11/00. Состав пигментного концентрата для отделки кожи / А.А. Шляев, З.Н. Ушакова, О.П. Кузина, А.А. Фесенко; Фирма «Пигмент». – №95106106/12; Заявл. 20.04.1995; Опубл. 27.02.97; А.С. СРСР 1475923, МПК⁴ С 14 С 11/00. Состав пигментного концентрата для отделки кожи / В.И. Шарахов, О.А. Лукашева, К.М. Зурабян, Л.Г. Хлыстова, Н.П.Гурова, Т.И. Минаева; Всесоюз. заоч. ин-т текстил. и лег. пр-сти. – №4246874/31-12; Опубл. 30.04.89; Бюл. №16.

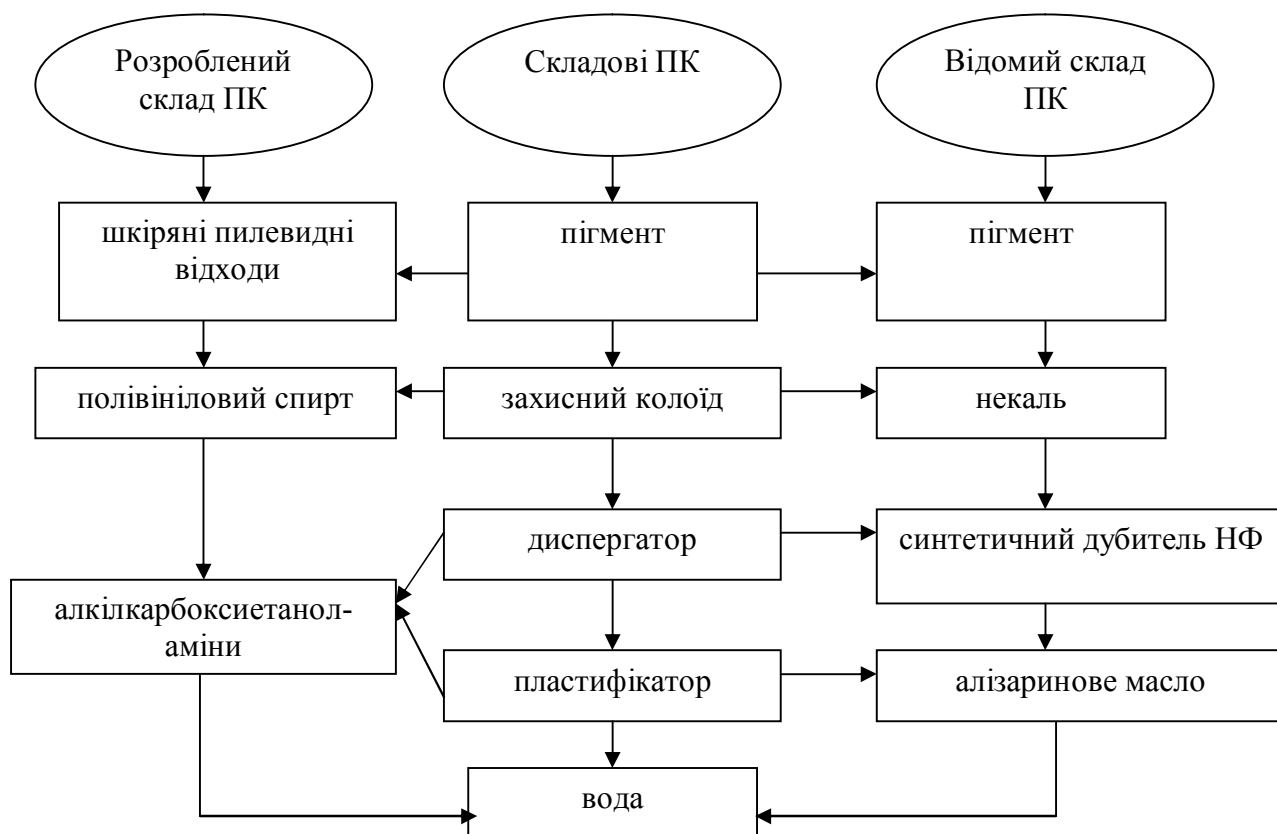


Рис. 1. Схема порівняння композицій пігментних концентратів

Плівки з покривної фарби отримували на тефлонових формах за стандартною методикою товщиною 100 ± 10 мкм, їх формування проводили при температурі 20 °С з наступною термообробкою протягом 3 год. при температурі 60 °С. Дослідження фізико-механічних властивостей плівок здійснювали згідно методик¹⁵, при цьому похибка не перевищувала 5 %.

Для моделювання властивостей і в подальшому оптимізації складу ПК було використано відповідно метод відношення концентрацій компонентів¹⁶ і функцію бажаності¹⁷, запропоновану Харингтоном, де факторами є незалежні змінні величини – концентрації компонентів ПК, мас. %: шкіряний порошок (x_1), АКЕА (x_2), ПВС (x_3) та вода (x_4). Критеріями оптимізації обрано фізико-механічні властивості вільних плівок та покривної фарби на основі акрилової дисперсії із вмістом ПК 15 %, а саме: y_1 – модуль еластичності, МПа; y_2 – межа міцності, МПа; y_3 – відносне видовження, %; y_4 – покривна здатність фарби, $г/м^2$.

Оскільки перевага фактору x_4 у вихідній суміші істотна порівняно з іншими компонентами суміші, то для моделювання властивостей q -компонентної суміші

$\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_q)$, де $\sum_{i=1}^q x_i = 1$, використано модель, що передбачає використання концентрацій компонентів по відношенню до води виду:

$$\mathcal{F} = b_0 + \sum_{i=1}^{q-1} b_i \frac{x_i}{x_q} + \sum_{1 \leq i < j \leq q-1} b_{ij} \frac{x_i x_j}{x_q^2} + \dots \quad (1)$$

¹⁵ Данилкович А.Г. Практикум з хімії і технології шкіри та хутра. - К.: Київський держ. універ. технол. та дизайну, 1999.- 428 с.

¹⁶ Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. – М.: Наука, 1976. – 392 с.

¹⁷ Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии: Учеб. пособие для хим.-технол. спец. вузов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1985 – 327 с.

У симплексному просторі $0 = g_i \leq x_i \leq h_i = 1$, межі експерименту $[g_i; h_i]$ можна подати у вигляді наступної залежності: $x_i^{(0)} \mp p_{x_i}$, де $x_i^{(0)} = \frac{1}{2}(g_i + h_i)$ і $p_{x_i} = \frac{1}{2}(h_i - g_i)$ відповідно центр плану й інтервал варіювання за змінною x_i , чи більш зручним способом для даної задачі: $x_i^{(0)} \mp x_i^{(0)} p_{x_i}^{\%}$, де $p_{x_i}^{\%}$ – %-ий інтервал варіювання за змінною x_i , тобто частка (у %) p_{x_i} у складовій центру плану $x_i^{(0)}$.

Для планування подібних експериментів в симплексному просторі є сенс зводити останні до стандартних планів 1-го порядку ПФЕ¹⁸ 2^{q-1} , які оптимальні за багатьма критеріями оптимальності¹⁹, з використанням наступного лінійного перетворення:

$$\delta_i = \frac{z_i - z_i^{(0)}}{p_{z_i}} = \frac{\frac{x_i}{x_q} - \left(\frac{x_i}{x_q}\right)^0}{p_{z_i}} \quad (i=1,2,\dots,q-1) \quad (2)$$

де $z_i = x_i/x_q$ – відношення, що може бути використане в якості нової змінної для побудови факторних планів різного типу; $z_i^{(0)} = x_i^{(0)}/x_q^{(0)} = (x_i/x_q)^{(0)}$ – відносний вміст i -го і q -го компонентів у вихідній точці плану $(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_q^{(0)})$, а p_{z_i} – інтервал варіювання нової змінної z_i .

І тоді модель у δ -координатах з областю допустимих значень в інтервалі $[-1; +1]$ прийме вигляд:

$$\mathfrak{F} = \tilde{b}_0 + \sum_{i=1}^{q-1} \tilde{b}_i \delta_i + \sum_{1 \leq i < j \leq q-1} \tilde{b}_{ij} \delta_i \delta_j + \dots \quad (3)$$

Переклад u -ї точки з δ -координат у x -координати здійснюється через проміжні z -координати за формулами:

$$z_i^{(u)} = z_i^{(0)} + \delta_i^{(u)} p_{z_i} \quad (i=1, 2, \dots, q-1) \quad (4)$$

$$\begin{cases} x_i^{(u)}/x_q^{(u)} = z_i^{(u)}, & (i=1,2,\dots,q-1) \\ x_1^{(u)} + x_2^{(u)} + \dots + x_q^{(u)} = 1. \end{cases} \quad (5)$$

На практиці задача склад-властивість технологічно має незмінні обмеження на компоненти $0 \leq g_i \leq x_i \leq h_i \leq 1$. Тому для одержання x -плану у відношеннях з обмеженнями на компоненти з δ -плану в ± 1 перший синтезують із критерію оптимальності x -плану (6) за змінними $p_{z_1}, p_{z_2}, \dots, p_{z_{q-1}}$:

$$R_{\max} = \sum_{1 \leq i < j \leq n} R_{\bar{x}^{(i)}\bar{x}^{(j)}}(p_{z_1}, p_{z_2}, \dots, p_{z_{q-1}}) \quad (6)$$

при обмеженнях $g_k \leq x_k^{(u)} \leq h_k$, ($k=1,2,\dots,q$; $u=1,2,\dots,n$);

де $R_{\bar{x}^{(i)}\bar{x}^{(j)}} = \sqrt{(x_1^{(j)} - x_1^{(i)})^2 + (x_2^{(j)} - x_2^{(i)})^2 + \dots + (x_q^{(j)} - x_q^{(i)})^2}$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$; $i < j$) – відстань між будь-якою i -ою і j -ою точками плану; n - кількість точок плану.

Для оптимізації складу, котрий характеризується m показниками якості, використовується функція бажаності:

$$D = \sqrt[m]{d_1 d_2 \dots d_m} \quad (7)$$

де d_i ($i = 1, 2, \dots, m$) – часткова функція бажаності i -того показника якості y_i , яка приймає значення з інтервалу $[0; 1]$ і визначається за залежністю:

$$d_i = \exp[-\exp(-y_i')] \quad (8)$$

¹⁸ Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. – М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. – 304 с.

¹⁹ Федоров В.В. Теория оптимального эксперимента (планирование регрессионных экспериментов). – М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва "Наука", 1971 – 312 с.

де y'_i – безрозмірне значення показника якості y_i , що визначається, зазвичай, за лінійною залежністю:

$$y'_i = b_0^{(i)} + b_1^{(i)} y_i \quad (9)$$

Коефіцієнти $b_0^{(i)}, b_1^{(i)}$ залежностей (9) визначають із систем рівнянь:

$$\begin{cases} y_i^{\text{гірше}} = b_0^{(i)} + b_1^{(i)} y_i^{\text{гірше}} \\ y_i^{\text{краще}} = b_0^{(i)} + b_1^{(i)} y_i^{\text{краще}} \end{cases}, \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (10)$$

де $y_i^{\text{гірше}}, y_i^{\text{краще}}$ – відповідно найгірше і найкраще значення критерію якості y_i , відповідно зменшити або збільшити яке далі не є можливим за причиною технологічного характеру і яке встановлюється експериментатором; $y_i^{\text{гірше}}, y_i^{\text{краще}}$ – найгірше і найкраще значення безрозмірного критерію якості, яке визначається на підставі (8) за формулами:

$$y_i^{\text{гірше}} = -\ln(-\ln d_{\text{гірше}}), \quad y_i^{\text{краще}} = -\ln(-\ln d_{\text{краще}}) \quad (11)$$

де $d_{\text{гірше}}$ і $d_{\text{краще}}$ – гірше і краще значення часткових функцій бажаності (8), які зазвичай приймають на практиці відповідно 0.2 і 0.8.

Максимум функції бажаності D , побудованої за (7), відповідає оптимальному складу \bar{x}^{opt} , який має найкращі компромісні значення показників якості y_i ($i = 1, 2, \dots, m$).

Попередні дослідження дозволили визначити межі вмісту зазначених компонентів у складі ПК (табл. 1). Відхилення від визначених меж призводить до незадовільного забарвлення плівки чи навіть до неможливості отримання ПК внаслідок зростання в'язкості.

Так, зокрема, зменшення вмісту шкіряного пилу у складі ПК менше 10 % знижує інтенсивність забарвлення покривної фарби в зв'язку з його недостатньою кількістю, а при збільшенні понад 20 % – зростає в'язкість пігментного концентрату, що погіршує його якісні показники. Використання полівінілового спирту у складі ПК менше 5 % не запобігає седиментації частинок пилоподібних шкіряних відходів, а більше 10 % сприяє зростанню жорсткості отриманих плівок. Зменшення вмісту алкілкарбоксиетаноламінів нижче 1 % знижує видовження плівок і сприяє зростанню міцності, а отже і їх жорсткість. Підвищення вмісту даної складової понад 5 % має зворотний вплив на властивості плівок, тому що в розробленому складі АКЕА мають властивості поверхнево-активної речовини, а також виконують функції пластифікатора та диспергатора.

Зважаючи на зазначені технологічні обмеження, було визначено в табл. 2 область експерименту $g_i \leq x_i \leq h_i$ ($i = 1, 2, \dots, 4$).

Таблиця 2

Параметри ділянки експерименту в позначеннях методу “у відношеннях концентрацій”

Інгредієнт	$x_i^{(0)}$	$p_{x_i}^{\%}$	g_i	h_i
x_1	0.125	60	.05	.2
x_2	0.04	75	.01	.07
x_3	0.08	62.5	.03	.13
x_4	0.6	50	.3	.9

На підставі (1) при $q = 4$, модель неповного (в позначеннях ПФЕ) другого порядку приймає вигляд:

$$\mathcal{F} = b_0 + b_1 \frac{x_1}{x_4} + b_2 \frac{x_2}{x_4} + b_3 \frac{x_3}{x_4} + b_{12} \frac{x_1 x_2}{x_4^2} + b_{13} \frac{x_1 x_3}{x_4^2} + b_{23} \frac{x_2 x_3}{x_4^2} \quad (12)$$

Або в δ -змінних:

$$\mathcal{F} = \tilde{b}_0 + \tilde{b}_1 \delta_1 + \tilde{b}_2 \delta_2 + \tilde{b}_3 \delta_3 + \tilde{b}_{12} \delta_1 \delta_2 + \tilde{b}_{13} \delta_1 \delta_3 + \tilde{b}_{23} \delta_2 \delta_3 \quad (13)$$

Для отримання коефіцієнтів моделі (12) був синтезований за (6) план в обмеженій (табл. 2) ділянці симплексу, який наведено в табл. 3 і характеризується даними табл. 4, які пов'язують між собою змінні δ_i і x_i .

Таблиця 3

План експерименту в δ -, z -, і x -координатах

i	План в δ -координатах			План в z -координатах			План в x -координатах				y
	δ_1	δ_2	δ_3	z_1	z_2	z_3	x_1	x_2	x_3	x_4	
1	+1	+1	+1	0.2833	0.0907	0.1753	0.1828	0.0585	0.1131	0.6456	y_1
2	-1	+1	+1	0.1333	0.0907	0.1753	0.0953	0.0648	0.1253	0.7147	y_2
3	+1	-1	+1	0.2833	0.0427	0.1753	0.1887	0.0284	0.1167	0.6662	y_3
4	-1	-1	+1	0.1333	0.0427	0.1753	0.0987	0.0316	0.1297	0.7400	y_4
5	+1	+1	-1	0.2833	0.0907	0.0913	0.1933	0.0619	0.0623	0.6825	y_5
6	-1	+1	-1	0.1333	0.0907	0.0913	0.1014	0.0691	0.0696	0.7599	y_6
7	+1	-1	-1	0.2833	0.0427	0.0913	0.1999	0.0301	0.0644	0.7056	y_7
8	-1	-1	-1	0.1333	0.0427	0.0913	0.1051	0.0338	0.0721	0.7889	y_8
ЦП	0	0	0	0.2085	0.0669	0.1335	0.1480	0.0475	0.0948	0.7098	y_0

де ЦП – центр плану експерименту

Таблиця 4

Зв'язок між змінними δ_i і x_i

Змінна	$z_i^{(0)}$	Оптимальні p_{z_i} інтервали
z_1	0.2083	.075
z_2	0.0667	.024
z_3	0.1333	.042
Критерій оптимальності плану $R_{\max} = 2.863381$		

Таблиця 5

Результати експерименту

Вихідна змінна	Експериментальна точка							
	1	2	3	4	5	6	7	8
y_1	2.84	2.49	3.76	1.79	2.78	2.41	3.92	1.90
y_2	4.32	4.66	5.14	3.71	4.22	4.77	5.22	4.04
y_3	485	528	295	798	494	503	262	766
y_4	28.7	30.8	25.8	33.4	28.2	30.4	23.8	31.7

Експериментальні дані, наведені в табл. 3 і 5, оброблено на ЕОМ і отримано наступні нелінійні моделі в δ -координатах:

$$\xi_1 = 2.73625 + .5887499\delta_1 - .10625\delta_2 - 1.624994 \cdot 10^{-2}\delta_3 - .40875\delta_1\delta_2 - 8.750036 \cdot 10^{-2}\delta_1\delta_3 + 5.125003 \cdot 10^{-2}\delta_2\delta_3$$

$$\xi_2 = 4.51 + .215\delta_1 - .0175\delta_2 - 5.25 \cdot 10^{-2}\delta_3 - .4374999\delta_1\delta_2 + 5.75 \cdot 10^{-2}\delta_1\delta_3 + 4.999989 \cdot 10^{-2}\delta_2\delta_3$$

$$\xi_3 = 516.375 - 132.375\delta_1 - 13.875\delta_2 + 10.125\delta_3 + 119.375\delta_1\delta_2 - 4.125\delta_1\delta_3 - 6.125\delta_2\delta_3$$

$$\xi_4 = 29.1 - 2.475\delta_1 + .425\delta_2 + .5749998\delta_3 + 1.4\delta_1\delta_2 + 4.999995 \cdot 10^{-2}\delta_1\delta_3 - .35\delta_2\delta_3$$

Адекватність моделей перевірялась за F -критерієм Фішера з постановкою 3 паралельних дослідів у центрі плану (табл. 6).

Таблиця 6

Значення залежної змінної y у центрі плану $\bar{x}^{(0)} = (0.1480; 0.0475; 0.0948; 0.7098)$

	y_1			y_2			y_3			y_4		
$\bar{x}^{(0)}$	2.75	2.73	2.74	4.53	4.56	4.5	525	518	511	28.7	29.2	29.7

Отримані моделі використано для багатокритеріального пошуку оптимального складу пігментного концентрату за допомогою узагальненої функції бажаності (7), яку складено за

отриманими моделями в δ -координатах при обмеженнях на вихідні змінні, які відповідають найгіршому і найкращому їх значенням: $y_1 - 2.3$ і 2.8 , $y_2 - 4.2$ і 6.0 , $y_3 - 500$ і 600 , $y_3 - 33$ і 27 . За методом сканування²⁰ з кроком 0.01 отримано оптимальний склад ПК в δ -координатах: $\delta_1 = -0.19$, $\delta_2 = -1$, $\delta_3 = -1$. Після їх приведення до відносного складу вихідних компонентів за (4) і (5), отримано такий склад, мас. %: $x_1 = 0.1458$, $x_2 = 0.0324$, $x_3 = 0.0690$, $x_4 = 0.7529$. При цьому вихідні змінні набувають таких значень: $y_1 = 2.71$, МПа, $y_2 = 4.51$, МПа, $y_3 = 562$, %, $y_4 = 29.3$, г/м², а функція бажаності $D = .547093$.

Таким чином, в результаті проведених досліджень отримано оптимальний склад пігментного концентрату для оздоблення багатошарових матеріалів, таких як натуральна, штучна та синтетична шкіра, який включає суміш компонентів: шкіряний порошок, алкілкарбоксиетаноламіни суміші природних нафтових гасової фракції або синтетичних жирних кислот фракції $C_7...C_9$, полівініловий спирт (10 %-ий), воду у співвідношенні 15:3:7:75. Отримане співвідношення не тільки визначає екстремальні значення фізико-механічних показників плівок і покривної фарби, а й передбачає технологічну простоту та зручність приготування композиції.

²⁰ Брановицкая С.В., Медведев Р.Б., Фиалков Ю.А. Вычислительная математика в химии и химической технологии – К.: Вища школа, 1986, – 216с.