

Отже, визначальне значення при одержанні забарвленого скла під час взаємообміну між композицією та поверхнею скла з утворенням колоїдної системи дрібних частинок міді у скляній матриці, що характеризується червоним кольором, має присутність у склі катіонів відновників – олова та заліза. Катіони олова, з одного боку, дають змогу одержати у скляній матриці частинки металевої міді, а з іншої, не сприяють подальшій коагуляції. Забарвлення поверхні скла в червоний колір може відбуватися за рахунок катіонів заліза (поверхня, що мала контакт із захисною атмосферою). Однак цей процес залежить як від вмісту в композиції сульфату міді, так і від часу термообробки.

Зміна складу поверхні забарвленого скла підтверджують дослідження кутів змочування поверхні флоат-скла дистильованою водою. Для вихідного флоат-скла значення кута змочування має такі значення: для поверхні, яка мала контакт з розтопом олова кут  $Q = 36,6^\circ$ , а для поверхні, яка контактувала із захисною атмосферою, кут  $Q = 50^\circ$ . У результаті термообробки композицій, нанесених на поверхню флоат-скла, кути змочування для двох поверхонь збільшуються до значення  $58\text{--}88^\circ$ , відповідно. Збільшення кута змочування пояснюється процесами взаємообміну катіонів, що входять до складу композиції ( $\text{Cu}^{2+}$  і  $\text{K}^+$ ), і поверхнею скла (катіони  $\text{Na}^+$ ), які проходять під час термооброблення, що зумовлює підвищення водостійкості скла.

**Висновок.** Термообробка поверхні флоат-скла евтектичними солевими сумішами на основі системи  $\text{K}_2\text{SO}_4 - \text{CuSO}_4$  дає можливість під час однократного термооброблення одержати покриття жовто-зелених та червоних тонів, які характеризуються високою однорідністю та підвищеною водостійкістю. Механізм забарвлення поверхні скла слід віднести до утворення під час термооброблення в поверхневих шарах частинок колоїдного розміру різної природи оксиду та металу.

1. Seward T.P., *Non-Cryst J. Solid* 40. – 1980. – 499 p. 2. Венгер Є.Ф., Гончаренко А.В., Дмитрук М.Л. *Оптика малих частинок і дисперсних середовищ*. – К.: Наукова думка, 1999. – С. 113–118. 3. *Справочник по плавкости солевых систем / Под ред. Н.К. Воскресенской*. – М., 1961. – Т. 1. – С. 296. 4. Сильвестрович С.И., Акимова Е.М., Салекова Л.Г. и др. // *Тр. Моск. хим.-техн. ин-та им. Д.И. Менделеева*. – 1982. – Вып. 123. – С. 36–42.

УДК 66.011: 666.1.031.2

Й.М. Яцишин, Т.Б. Жеплинський, Т.Я. Мрак  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра хімічної технології силікатів

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНВЕКТИВНИХ ПОТОКІВ ВАННОЇ СКЛОВАРИЛЬНОЇ ПЕЧІ

© Яцишин Й.М., Жеплинський Т.Б., Мрак Т.Я., 2004

**Методом математичного планування експерименту досліджувались умови формування пересипного конвективного потоку скляної маси у ванній печі. Встановлено, що максимальні значення швидкості потоку отримуються за умови мінімальної різниці температур по глибині басейну ванної печі.**

**The method of experiment mathematical planning investigated speed of a return flow of melted glass. Is established, that the maximal speed of a flow can arise under condition of the minimal difference of temperatures on depth.**

**Постановка проблеми.** Підвищення продуктивності роботи ванних скловарильних печей викликає необхідність інтенсифікації процесу варіння скла. Відомо, що активізувати топлення шихти нагріванням зверху можна створенням високого теплового напруження над зоною варіння.

Для інтенсивного топлення шихти нагрівання знизу, в першу чергу, необхідно створити в потоках скляної маси потужний пересипний цикл, який забезпечить подання достатньої кількості тепла під шар шихти. Отже, правильно організувавши конвективні потоки скляної маси у ванній скловарильній печі, можна значно активізувати варіння скла без додаткових затрат паливно-енергетичних ресурсів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Важливе значення конвективних потоків і, зокрема, пересипного циклу у варінні скла призвело до широкого обговорення в літературі умов активізації руху скляної маси в зоні варіння. Що підтверджується в роботах [1, 2, 4].

Однак умови руху скляної маси в пересипному циклі все ще вивчені недостатньо. Зокрема не вивчене питання виявлення найбільш оптимальних щодо потужності пересипного конвективного потоку температурних режимів із застосуванням методів математичного моделювання.

**Мета роботи.** Виявлення за методом математичного моделювання оптимальних температурних режимів пересипного циклу конвективних потоків скляної маси.

**Методи досліджень і матеріали.** Для вирішення поставленого завдання за основу було прийнято:

1. Розрахунок максимальної швидкості верхнього потоку пересипного циклу скляної маси за формулами А.А. Соколова [3]:

$$W_{\text{макс}} = \frac{230 \cdot \Delta\rho_{\text{в}} \cdot g \cdot H_{\text{в}}^3}{\mu_{\text{в}} \cdot L_{\text{к}}}; \quad H_{\text{в}} = \frac{H_{\text{п}}}{1 + 4 \sqrt{\frac{\mu_{\text{н}} \cdot \Delta\rho_{\text{в}}}{\mu_{\text{в}} \cdot \Delta\rho_{\text{н}}}}}$$

де  $\Delta\rho_{\text{в}}$  і  $\Delta\rho_{\text{н}}$  – різниця густин по довжині печі верхнього і нижнього потоків скляної маси, відповідно;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $H_{\text{в}}$  – глибина верхнього потоку скляної маси;  $\mu_{\text{н}}$  і  $\mu_{\text{в}}$  – середні значення коефіцієнтів динамічної в'язкості верхнього і нижнього потоків скляної маси відповідно;  $L_{\text{к}}$  – довжина зони конвекції;  $H_{\text{п}}$  – глибина печі.

2. Для вивчення сумісного впливу на швидкість потоку температур верхнього і нижнього шару скляної маси на протилежних кінцях конвективного циклу було реалізовано повний трифакторний експеримент другого порядку [5].

**Результати досліджень.** Для вивчення впливу температури (°C) верхнього і нижнього шару скляної маси біля завантажувальної кишені (x2, x3) і температури нижнього шару скляної маси в районі квельпункта (x1) на максимальну швидкість (м/год) пересипного конвективного потоку (y) був реалізований повний трифакторний експеримент другого порядку. При цьому приймалися незмінними такі параметри формування потоку: температура верхнього шару скляної маси в районі квельпункта 1450 °C; глибина басейну 1,2 м; довжина зони конвекції 10 м.

Для проведення повного факторного експерименту виходили з умов, наведених в табл. 1.

Таблиця 1

**Основні характеристики факторів  
(температура потоків скляної маси, °C) математичного плану експерименту**

Характеристика	X1 нижній потік квельпункта	X2 верхній потік завантаження	X3 нижній потік завантаження
Верхній рівень	1275	1250	1050
Нижній рівень	1200	1100	1000
Нульовий рівень	1238	1175	1025
Крок	38	75	25

Матриця планування і результати експериментів наведені в табл. 2.

**Матриця планування та результати визначення  
максимальної швидкості пересипного конвективного потоку**

№	X1	X2	X3	Y, м/год
1	1	1	1	11,98
2	-1	1	1	4,67
3	1	-1	1	17,53
4	-1	-1	1	8,70
5	1	1	-1	4,56
6	-1	1	-1	2,07
7	1	-1	-1	8,54
8	-1	-1	-1	4,55
9	-1,215	0	0	6,18
10	1,215	0	0	7,38
11	0	-1,215	0	7,32
12	0	1,215	0	6,37
13	0	0	-1,215	6,24
14	0	0	1,215	7,39
15	0	0	0	6,81

На основі одержаних результатів були розраховані значення коефіцієнтів регресії:  $B_0 = 6,246$ ,  $B_1 = 2,198$ ,  $B_{11} = 0,483$ ,  $B_2 = -1,57$ ,  $B_{22} = 0,527$ ,  $B_3 = 2,242$ ,  $B_{33} = 0,507$ ,  $B_{13} = 1,208$ ,  $B_{12} = -0,378$ ,  $B_{23} = -0,39$ , що відповідають моделі:  $Y = 6,246 + 2,198 \cdot X_1 - 1,57 \cdot X_2 + 2,242 \cdot X_3 - 0,378 \cdot X_1 \cdot X_2 + 1,208 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,39 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,483 \cdot X_1^2 + 0,529 \cdot X_2^2 + 0,119 \cdot X_3^2$ .

Отримана математична залежність дала змогу виявити екстремуми функції. Максимальному значенню швидкості пересипного конвективного потоку (17 м/год) відповідають такі значення факторів  $X_1 = 1$ ;  $X_2 = -1$ ;  $X_3 = 1$ , що відповідають таким значенням температур: температура верхнього шару скляної маси біля завантажувальної кишені 1100 °С, температура нижнього шару біля завантажувальної кишені 1050 °С, температура верхнього шару у квельпункті – 1450 °С, температура нижнього шару в районі квельпункта – 1275 °С. Мінімальному значенню швидкості (2,07 м/год) відповідають фактори  $X_1 = -1$ ;  $X_2 = 1$ ;  $X_3 = -1$ , що відповідають таким значенням температур: температура верхнього шару скляної маси біля завантажувальної кишені 1250 °С, температура нижнього шару біля завантажувальної кишені 1000 °С, температура верхнього шару у квельпункті – 1450 °С, температура нижнього шару в районі квельпункта – 1200 °С.

**Висновки.** Одержані результати показали, що, окрім збільшення різниці середніх значень температур у зоні квельпункта і у зоні завантажувальної кишені, для досягнення максимальних швидкостей конвективних потоків (>15м/год) потрібно досягнути якомога меншої різниці температур по глибині басейну ванної печі, збільшення цієї різниці значно зменшує швидкість конвективних потоків (<4м/год). Отже, теплоізоляція дна і стін басейну ванної скловарильної печі, а також застосування додаткового електричного підігрівання (ДЕП) є вагомим засобом підвищення потужності конвективних потоків скляної маси.

1. Панкова Н.А., Севастьянов Р.И., Сафронов В.Г. Влияние температуры стекломассы на ее конвекцию в зоне варки // *Стекло и керамика*. – 1980. – № 7. – С. 6–7. 2. Соколов А.А. Свободная тепловая конвекция, независимая от подъемной силы // *Стекло и керамика*. – 1984. – № 4. – С. 11–13. 3. Соколов А.А. Расчет основного конвекционного потока стекломассы в ваннных печах // *Стекло и керамика*. – 1962. – № 4. – С. 7–10. 4. Соколов А.А., Пчеляков К.А. Моделирование процессов гидродинамики вязких расплавов. – М.: Стройиздат, 1972. – 127 с. 5. Саутин С.Н., Пунин А.Е. Мир комп'ютеров и химическая технология. – Л.: Химия, 1991. – 144 с.