

$$\sigma_{\theta} = \frac{\alpha \cdot E \cdot Q}{8 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot \delta \cdot t} \cdot \left[\frac{4 \cdot a \cdot t}{r^2} \left(1 - e^{\frac{-r^2}{4 \cdot a \cdot t}} \right) - 2e^{\frac{-r^2}{4 \cdot a \cdot t}} \right] e^{-b \cdot t} \quad (2)$$

де α — коефіцієнт лінійного розширення;
 E — модуль пружності;
 Q — кількість тепла;
 λ — коефіцієнт теплопровідності;
 δ — товщина металевої пластини;
 a — коефіцієнт температуропровідності;
 b — коефіцієнт температуровіддачі;
 r — радіус;
 t — час.

Достатня складність традиційних математичних аналітичних моделей вимагає застосування відповідних програмних комп'ютерних засобів. До таких засобів, у першу чергу, належить система MathCAD. Використання цієї системи суттєво спрощує засвоєння навчального матеріалу, який представлено *складними аналітичними моделями, а за рахунок графічних можливостей системи MathCAD* суттєво підвищується наочність його подання.

У розробленій моделі інтегрованого змісту навчання зв'язок 3 між техніко-технологічними параметрами та термодформаційними показниками забезпечується за допомогою запропонованих і розроблених нами редуційних аналітичних моделей.

Прикладом редуційних аналітичних моделей представлення змісту навчання майбутніх інженерів є модель, яка побудована на основі традиційних аналітичних моделей (1):

$$\sigma_r = f(K_{I_r} \cdot I_{3\theta}; K_{U_r} \cdot U_{3\theta}; \frac{K_{V_r}}{V_{3\theta}}) \quad (3)$$

$$\sigma_{\theta} = f(K_{I_{\theta}} \cdot I_{3\theta}; K_{U_{\theta}} \cdot U_{3\theta}; \frac{K_{V_{\theta}}}{V_{3\theta}}) \quad (4)$$

де $K_{I_r}, K_{I_{\theta}}$ — коефіцієнти пропорційності деформації від струму зварювання;
 I — струм зварювання;

$K_{U_r}, K_{U_{\theta}}$ — коефіцієнти пропорційності деформації від напруги зварювання;
 U — напруга зварювання;

$K_{V_r}, K_{V_{\theta}}$ — коефіцієнти пропорційності деформації від швидкості зварювання;
 V — швидкість зварювання.

Запропоновану модель інтегрованого змісту навчання було покладено в основу розробленої технології навчання майбутніх інженерів зварювального виробництва на основі використання системи MathCAD. Модель цієї технології навчання представлено на рис. 3.

Перший етап технології інтегрованого навчання присвячено інтеграції знань з фізико-хімічних параметрів та термодформаційних показників, а також техніко-технологічних параметрів та фізико-хімічних параметрів на репродуктивному рівні. На цьому етапі широко застосовуються традиційні аналітичні моделі змісту навчання. Багаточисельні розрахунки за цими моделями здійснюються в системі MathCAD. Це дозволяє *забезпечити ефективну аналітичну діяльність студентів і високий ступінь інтеграції знань з фізико-хімічних параметрів, термодформаційних показників та техніко-технологічних параметрів (гілки 1 та 2 моделі рис. 2).*

На другому етапі технології інтегрованого навчання здійснюється зворотна інтеграція знань з фізико-хімічних та техніко-технологічних параметрів на продуктивному рівні. Основу цього етапу складає використання проблемно-пошукових методів для вирішення виробничих