

УДК 624.048:624.012.45

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИТРИМКИ ЗАЛІЗОБЕТОННОГО ВИРОБУ ПРИ ТЕПЛООВОЛОГІЙ ОБРОБЦІ У ФОРМІВНОМУ СТЕНДІ

Л. І. Чумак, к. т. н., доц., Н. М. Латиш, магістр

Ключові слова: математична модель, тепловолога обробка, витримка, залізобетонний виріб, регулювання, температура, оптимізація

Постановка проблеми. Основними завданнями для інтенсифікації виробництва залізобетонних виробів є підвищення якості продукції, економія матеріальних та енергетичних ресурсів. Виконання цих завдань неможливе без комплексної автоматизації виробничих процесів, оптимізації технологічних режимів та управління процесами виробництва. Виробничий процес тепловологої обробки залізобетонних виробів – важливий, відповідальний і найбільш енергоємний етап при їх виготовленні. В даний час і в осяжному майбутньому виготовлення залізобетонних виробів залишається переважним способом випуску конструкційних матеріалів для будівництва. Це пояснюється практично необмеженими ресурсами сировини для виготовлення в'язучих сумішей і заповнювачів, невеликою витратою сталеві арматури, високими конструкторськими і експлуатаційними якостями залізобетону, його відносно низькою енергоємністю. Щоб знизити витрати на виробництво, використовують формівні стенди, теплоносієм є гаряча вода, що дозволяє значно зменшити економічні затрати. Якість готового залізобетонного виробу (ЗБВ) характеризується його міцністю. Міцність ЗБВ залежить від параметрів якості, що формуються в процесі витримки.

Аналіз публікацій. Питання управління процесом ізотермічної витримки залізобетонного виробу раніше розглядалися такими відомими вченими як Л. А. Малініна, А. А. Афанасьєв, Є. І. Шмитько, І. І. Мартиненко, В. Ф. Лисенко та ін. Ці дослідження були ефективними, але мали великі економічні витрати. Для зниження затрат на виробництво залізобетонних виробів пропонується використовувати формівний стенд та замінити теплоносій на гарячу воду. Аналіз досліджень [2; 7] показав, що з метою підвищення точності управління додатково вимірюють температуру на поверхні виробу, температуру суміші в об'ємі стенда порівнюють із заданою, а різницю сигналів використовують для управління подачею додаткової теплової енергії. Для спрощення системи управління пропонується визначити параметри устаткування та раціональний закон регулювання температури, провести оптимізацію системи та зменшити час регулювання, що дозволить підвищити якість виробу.

Мета статті – розробити і провести дослідження математичної моделі процесу витримки залізобетонного виробу при тепловологісній обробці у формівному стенді, враховуючи динаміку теплового процесу для визначення параметрів устаткування і раціонального закону регулювання температури, щоб підвищити якість залізобетонного виробу та зменшити економічні затрати.

Виклад матеріалу. Моделювання – це процес дослідження об'єктів пізнання за допомогою їх моделей. При цьому дослідник має справу не з реальним об'єктом, а з його моделлю. Результати дослідження моделі переносяться на реальний об'єкт.

Математична модель процесу являє собою залежність вихідних величин процесу від вхідних параметрів. Вона створюється на основі теорії термодинаміки. Модель об'єкта управління може бути знайдена на підставі аналізу фізичних законів. В основі цього лежить застосування методу малих відхилень як змінного параметра, що входить у рівняння теплового балансу. Потім з одержаного рівняння віднімають вихідні і результат ділять на приріст часу. Отримане співвідношення є математичною моделлю процесу витримки залізобетонного виробу [1].

Рівняння теплового балансу зони витримки залізобетонного виробу при тепловологісній обробці у формівному стенді має вигляд:

$$Q_1 - Q_2 - Q_3 = 0 \quad (1)$$

При цьому приймається, що залізобетонний виріб у зоні витримки несе рівну частку тепла. Крім того, зміни, що відбуваються із залізобетонним виробом, не змінюють кількості тепла в процесі витримки. Тоді в рівнянні (1) ураховуються такі потоки тепла:

Q_1 – тепловий потік, що йде з теплообмінника на виріб;

Q_2 – тепловий потік, що залишає зону витримки;

Q_3 – потік теплових втрат через огороження формівного стенда – зони витримки.

У цьому випадку не враховуються теплові потоки втрат через підсмоктувачі, потоки між зоною охолодження і витримки, вплив підсмоктувань за рахунок теплоносіїв – ці потоки є неконтрольованими збуреннями, а також потоки тепла, що виходять із зони разом із залізобетонним виробом.

Слід зазначити, що потоки Q_1 і Q_2 – керуючі, а Q_3 – збурення. Регульованою величиною є температура θ_{II} у зоні витримки. Завдання дослідження полягає у встановленні залежності цієї температури від зміни вхідних величин (керуючих і збурювальних) із часом.

Основним фізичним законом, що зв'язує температуру повітря в зоні витримки θ_{II} від керуючих і збурювальних впливів, є закон збереження енергії, який для процесу витримки виробів можна записати так:

$$cm \frac{d\theta}{d\theta} = \sum_I^N Q \quad (2)$$

де c – теплоємність речовини, кДж/(кг×°C);
 m – маса речовини в об'ємі, кг;
 θ – температура речовини, °C;
 Q – теплові потоки, що впливають на речовину.

Передбачається, що зона витримки складається із двох фізичних тіл: повітря і огороження, теплофізичні властивості яких різняться між собою. Отже, теплообмін між повітрям зовнішнім і всередині зони витримки можна записати системою рівнянь у відхиленнях :

$$\left. \begin{aligned} c_{II} m_{II} \frac{d\Delta\theta_{II}}{dt} &= \Delta Q_1 - \Delta Q_2 - \Delta Q_3 \\ c_{OG} m_{OG} \frac{d\theta_{OG}}{dt} &= \Delta Q_3 - \Delta Q_4 \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

де c – теплоємність речовини, кДж / (кг × °C); m – маса речовини в об'ємі, кг; c_{OG} – питома теплоємність огороження, кДж / (кг °C); m_{II} – маса повітря, кг; m_{OG} – маса огороження, кг. $\Delta Q_1, \Delta Q_2, \Delta Q_3, \Delta Q_4$ – відхилення від розрахункових значень теплових потоків відповідно з повітрям, що надходить у зону витримки, від повітря усередині зони витримки до огорожі і від огорожі до зовнішнього повітря [4].

Система рівнянь (3) описує досліджуваний об'єкт із деякою ідеалізацією. При складанні рівнянь прийняті такі допущення: зона витримки залізобетонного виробу при тепловологісній обробці у формівному стенді розглядається як лінійний об'єкт із зосередженими параметрами; щільність повітря не залежить від температури і тиску усередині цеху; час переміщення повітря усередині зони витримки не враховується.

Оцінка впливу прийнятих допущень на результати аналізу показує, що помилки, які виникають, не виходять за межі припустимих при інженерних розрахунках теплоенергетичних процесів.

Для виведення динамічних характеристик об'єкта необхідно в систему рівнянь (3) підставити значення теплових потоків, виражаючи їх через питомі теплоємності, маси, перепади температури, поверхні теплопередачі і коефіцієнти теплообміну:

$$\left. \begin{aligned} c_{II} m_{II} \frac{d\Delta\theta_{II}}{dt} &= c_{II} \Delta m_{III} (\theta_{III} - \theta_{II}) - c_{II} \Delta m_{II} (\theta_{II} - \theta_{ЗОВН}) - F_{OG} \alpha_{ВН} (\Delta\theta_{II} - \Delta\theta_{OG}) \\ c_{OG} m_{OG} \frac{d\theta_{OG}}{dt} &= F_{OG} \alpha_{ВН} (\Delta\theta_{II} - \Delta\theta_{OG}) - F_{OG} \alpha_{ЗОВН} (\Delta\theta_{OG} - \Delta\theta_{ЗОВН}) \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

де c_{II} – питома теплоємність повітря, кДж/(кг × °C); c_{OG} – питома теплоємність огорожі, кДж / (кг °C); m_{II} – маса повітря усередині зони витримки, кг; m_{OG} – маса огорожі (стіні і склепіння), кг; $\Delta m_{III}, \Delta m_I$ – приріст маси поданого і внутрішнього повітря, кг/C; F_{OG} – площа

огорожі, m^2 ; $\alpha_{ВН}$, $\alpha_{ЗОВН}$ – коефіцієнти теплообміну внутрішніх і зовнішніх поверхонь огорожі, Вт / (м²·°C); $\Delta\theta_{ЗОВН}$, $\Delta\theta_{П}$, $\Delta\theta_{ОГ}$ – приріст температури зовнішнього і внутрішнього повітря (при подачі повітря через нагрівальну або охолоджувальну установку, температура поданого повітря $\theta_{ПІІ}$ відрізняється від температури зовнішнього повітря $\theta_{ЗОВН}$).

З огляду на те, що $\Delta m_{П} = \Delta m_{ПІІ}$, можна спростити перше рівняння системи (4):

$$c_{П} m_{П} \frac{d\Delta\theta_{П}}{dt} = c_{П} \Delta m_{ПІІ} (\theta_{ПІІ} - \theta_{П}) - c_{П} \Delta m_{П} (\theta_{П} - \theta_{ЗОВН}) - F_{ОГ} \alpha_{ВН} (\Delta\theta_{П} - \Delta\theta_{ОГ}), \quad (5)$$

з якого:

$$\Delta\theta_{ОГ} = \frac{c_{П} m_{П} d\Delta\theta_{П}}{F_{ОГ} \alpha_{ВН} dt} + \Delta\theta_{П} - \frac{c_{П} m_{П} (\theta_{ПІІ} - 2\theta_{П} + \theta_{ЗОВН})}{F_{ОГ} \alpha_{ВН}}, \quad (6)$$

Підставляючи значення $\Delta\theta_{ОГ}$ в друге рівняння системи (4), одержимо:

$$\begin{aligned} & \frac{c_{ОГ} m_{ОГ} c_{П} m_{П}}{F_{ОГ}^2 \alpha_{ВН} \alpha_{ЗОВН}} * \frac{d^2 \Delta\theta_{П}}{dt^2} + \frac{c_{ОГ} m_{ОГ} \alpha_{ВН} + c_{П} m_{П} (\alpha_{ВН} + \alpha_{ЗОВН})}{F_{ОГ} \alpha_{ВН} \alpha_{ЗОВН}} * \frac{d\Delta\theta_{П}}{dt} + \Delta\theta_{П} = \\ & = \frac{c_{П} (\alpha_{ВН} + \alpha_{ЗОВН}) (\theta_{ПІІ} - 2\theta_{П} + \theta_{ЗОВН})}{F_{ОГ} \alpha_{ВН} \alpha_{ЗОВН}} * \left[\frac{c_{ОГ} m_{ОГ}}{F_{ОГ} (\alpha_{ВН} + \alpha_{ЗОВН})} * \frac{d\theta_{П}}{dt} + \Delta m_{П} \right] + \Delta\theta_{П}. \end{aligned} \quad (7)$$

У канонічній формі рівняння динаміки зони витримки формівного стенду має вигляд:

$$T_0^2 \frac{d\Delta\theta_{П}}{dt^2} + T_1 \frac{d\Delta\theta_{П}}{dt} + \Delta\theta_{П} = k \left(T_2 \frac{d\theta_{П}}{dt} + \Delta m_{П} \right) + \theta_{ЗОВН}. \quad (8)$$

де

$$T_0^2 = \frac{c_{ОГ} c_{П} m_{ОГ} m_{П}}{F_{ОГ}^2 \alpha_{ВН} \alpha_{ЗОВН}}; \quad (9)$$

$$T_1 = \frac{c_{ОГ} m_{ОГ} \alpha_{ВН} + c_{П} m_{П} + c_{П} m_{П} \alpha_{ЗОВН}}{F_{ОГ} \alpha_{ВН} \alpha_{ЗОВН}}; \quad (10)$$

$$T_2 = \frac{c_{ОГ} m_{ОГ}}{F_{ОГ} (\alpha_{ВН} \alpha_{ЗОВН})}; \quad (11)$$

$$k = \frac{c_{П} (\alpha_{ВН} \alpha_{ЗОВН}) (\theta_{ПІІ} - 2\theta_{П} + \theta_{ЗОВН})}{F_{ОГ} \alpha_{ВН} \alpha_{ЗОВН}}; \quad (12)$$

Передатна функція зони витримки формівного стенду по керуючому впливу має вигляд

$$W(p) = \frac{\Delta\theta_I(\partial)}{\Delta m_I(\partial)} = \frac{k(T_2 p + 1)}{T_0^2 p^2 + T_1 p + 1}. \quad (13)$$

Значення коефіцієнтів, що входять у передатну функцію:

$$V_{П} = 9\,000 \text{ м}^3; \quad \alpha_{ВН} = 2\,000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$$V_{ОГ} = 1,62 \text{ м}^3; \quad \alpha_{ЗОВН} = 2\,000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$$m_{П} = 0,012 \text{ кг}; \quad F_{ОГ} = 2,4 \text{ м}^2;$$

$$m_{ОГ} = 4\,698 \text{ кг}; \quad \theta_{ПІІ} = 55 \text{ °C};$$

$$c_{П} = 1,005 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{°C}); \quad \theta_{П} = 90 \text{ °C};$$

$$c_{ОГ} = 0,9 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{°C}); \quad \theta_{ЗОВН} = 20 \text{ °C}.$$

$$k = \frac{1,005 \times (2000 + 2000)(55 - 2 \times 90 + 20)}{2,4 \times 2000 \times 2000} = 0,0607; \quad (14)$$

$$T_1 = \frac{0,9 \times 4698 \times 2000 + 1,005 \times 0,012 + 1,005 \times 0,012 \times 2000}{2,4 \times 2000 \times 2000} = 0,88(c) \quad (15)$$

$$T_2 = \frac{0,9 \times 4698}{2,4 \times (2000 + 2000)} = 0,44(c); \quad (16)$$

$$T_0^2 = \frac{0,9 \times 4698 \times 1,005 \times 0,012}{(2,4)^2 \times 2000 \times 2000} = 0,0022(c). \quad (17)$$

У результаті розрахунків за вищенаведеними формулами виходить:

$T_0 = 0,0022(c)$; $T_1 = 0,88(c)$; $T_2 = 0,44(c)$; $k = 0,0607$

Передатна функція об'єкта регулювання (ОР):

$$W(p) = \frac{0,0267p + 0,0607}{0,0022p^2 + 0,88p + 1}. \quad (18)$$

Кожна система автоматичного регулювання складається з регулятора та об'єкта управління (ОУ). Критерієм для правильного вибору закону регулювання може служити значення відношення часу чистого запізнення об'єкта до його постійної часу t/T . Якщо це відношення менше 0,2, то вибирають регулятор позиційної дії, при значенні відношення більше 1 – імпульсного типу, якщо ж $0,2 < t/T < 1$, то регулятор безперервної дії. Оскільки в нашому випадку T складає приблизно 25 % від t , вибираємо регулятор безперервної дії.

Для виконання оптимізації системи управління процесом витримки залізобетонного виробу, розглянутої в [2; 3; 6], розроблено структурну схему системи автоматичного регулювання (САР) (рис. 1).

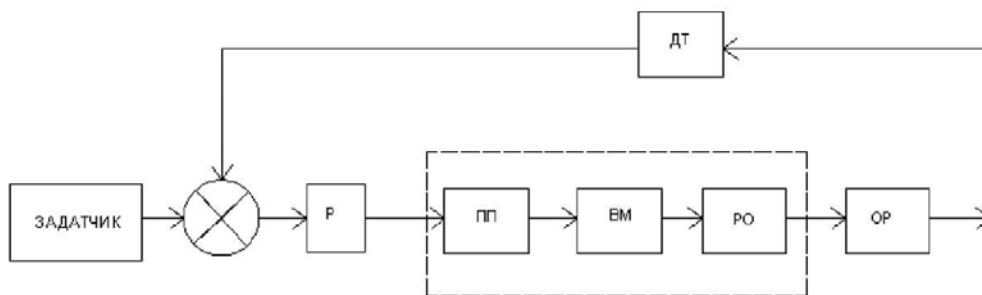


Рис. 1. Структурна схема САР витримки залізобетонного виробу

де: ПП – підсилювач потужності, пускач; ВМ – виконавчий механізм; Р – регулятор, комп'ютер; РО – регулювальний орган, заслінка; ОР – об'єкт регулювання, зона витримки; ДТ – датчик температури, термометр опору.

Виконуємо розрахунок динамічних параметрів системи з подальшим їх моделюванням за допомогою прикладної програми Simulink моделювання MATLAB 6.5.[2; 3; 6]. Передатна функція датчика температури – це інтегральна ланка:

$$W(p) = \frac{k}{T * p + 1}; \quad (19)$$

$$k = \frac{X_{ВИХ}}{X_{ВХ}}; \quad (20)$$

$$T = 40(c); \quad (21)$$

$$W_{ДТ}(p) = \frac{0,004}{40 * p + 1}. \quad (22)$$

Передатна функція виконавчого механізму – це інтегральна ланка:

$$W_{ВМ,РО}(p) = \frac{k}{T * p + 1}; \quad (23)$$

$$W_{BM,PO}(p) = \frac{0,055}{50 * p + 1}. \quad (24)$$

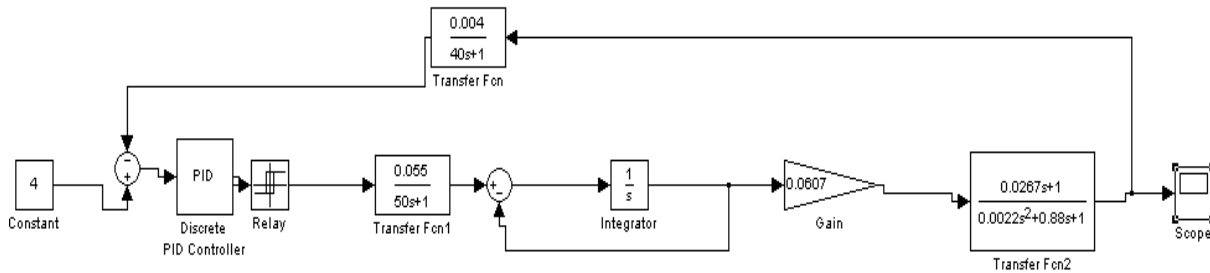


Рис. 2. Блок-схема моделі САР витримки залізобетонного виробу, реалізована в MATLAB 6.5

Пускач представлено у вигляді блока логіки з підсилювачем. Регулятор представлений на схемі блоком PID – Controller. Результати моделювання можна побачити на рисунках 3, 4.

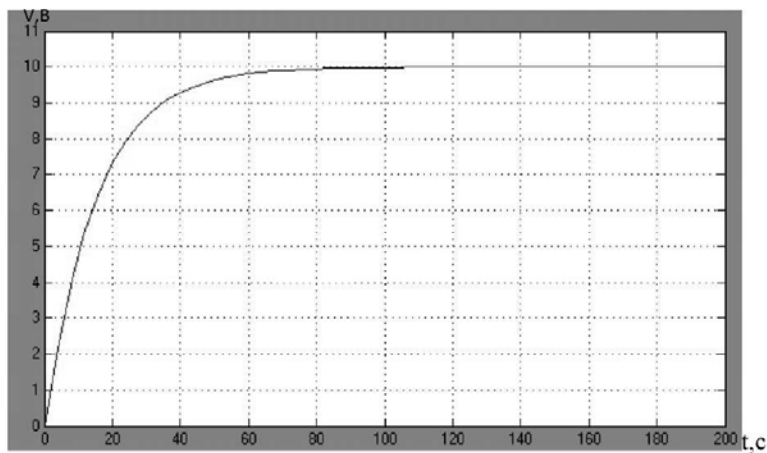


Рис. 3. Перехідний процес системи до оптимізації

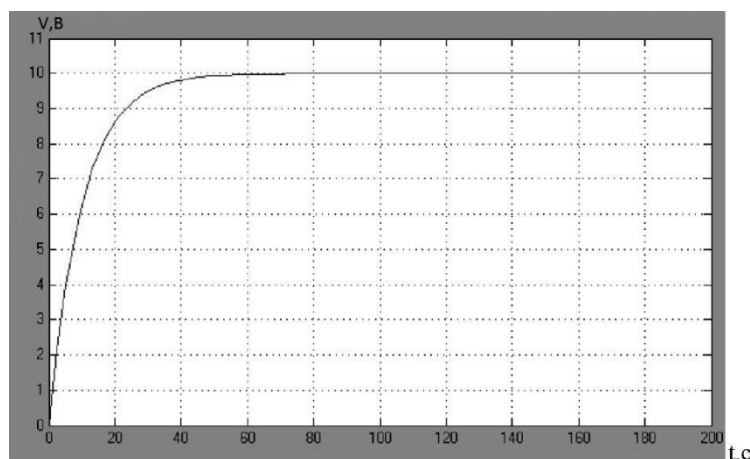


Рис. 4. Перехідний процес після оптимізації

Для того, щоб температура змінювалась за заданим законом та за певним проміжком часу, у блок-схему моделі витримки залізобетонного виробу потрібно додати регулятор. Даний регулятор складається з блоків пакета моделювання динамічних систем. Реалізація процесу регулювання виконана в програмному середовищі MATLAB 6.5. Simulink, що дозволяє наочно

спостерігати закони зміни температури всередині і на поверхні залізобетонного виробу у формівному стенді.

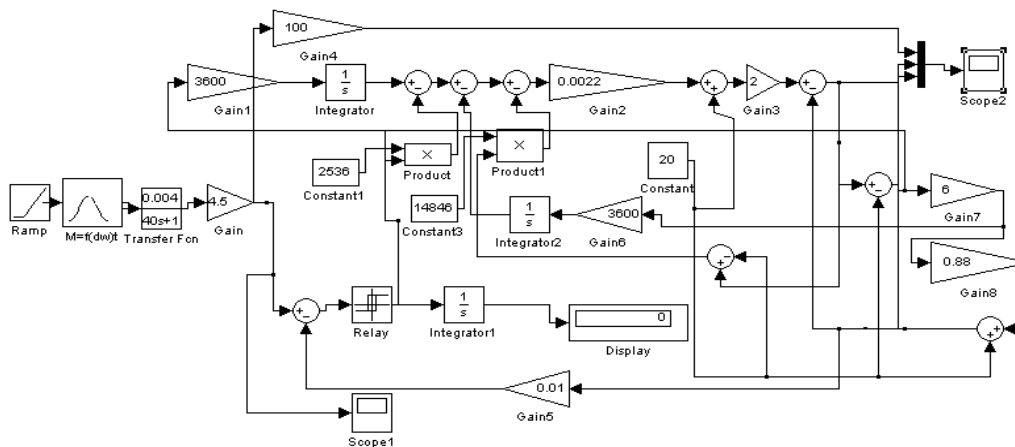


Рис. 5. Блок-схема моделі витримки залізобетонного виробу у формівному стенді з регулятором, реалізована в середовищі Simulink

Дану модель можна використовувати для уточнення завдання початкових і граничних умов для математичної моделі витримки залізобетонного виробу, що дозволяє визначити більш чітку картину витримки залізобетонного виробу у формівному стенді в процесі тепловологісної обробки. Результати моделювання можна побачити на рисунку 6.

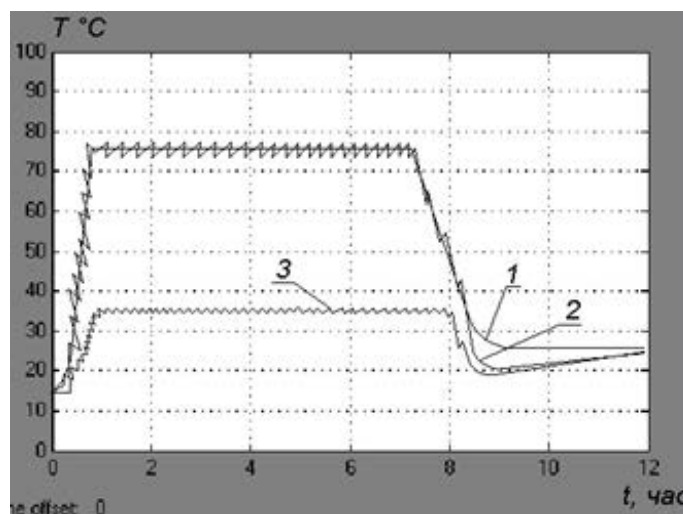


Рис. 6. Графік зміни температури у часі: 1 – графік залежності температури у формівному стенді від часу; 2 – графік сигналу управління; 3 – графік залежності температури на поверхні формівного стенда від часу

Із характеристики видно, що весь процес тепловологічної обробки залізобетонного виробу у формівному стенді поділяється на три основні періоди. Перший з них – період прогрівання, температура поступово збільшується до 77°C. Другий – період ізотермічної витримки залізобетонного виробу. Протягом цього періоду температура залишається постійною – 77°C. Третій період називають періодом охолодження залізобетонного виробу. Під час цього періоду температура спадає до 23 °C.

Висновки. У результаті математичного моделювання було знайдено передатну функцію системи автоматизованого управління процесу витримки залізобетонного виробу при тепловологічній обробці у формівному стенді, побудовано перехідний процес. За допомогою програми MATLAB 6.5 проведено оптимізацію системи, зменшено час регулювання із 72 до 61 секунд, що допоможе поліпшити якість регулювання процесу витримки залізобетонного виробу при тепловологічній обробці у формівному стенді, зменшить витрати теплоносія.

Була розроблена і реалізована в програмі MATLAB 6.5 блок-схема моделі витримки залізобетонного виробу у формівному стенді з регулятором, за допомогою якого здійснено регулювання температури всередині і на поверхні формівного стенда. Це дозволило поліпшити якість процесу витримки залізобетонного виробу.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Бейко И. В. Методы и алгоритмы задач оптимизации / И. В. Бейко, Б. М. Бублик. – К. : Вища школа, 1983. – 512 с.
2. Дьяконов В. М. Simulink 4: специальный справочник / В. М. Дьяконов. – С-Пб. : Питер, 2002. – 528 с.
3. Дьяконов В. М. MATLAB 6: учебный курс / В. М. Дьяконов. – С-Пб. : Питер, 2001. – 592 с.
4. Мартыненко И. И. Проектирование систем автоматизации / И. И. Мартыненко, В. Ф. Лысенко. – М. : Агропромиздат, 1990. – 243 с.
5. Ралко А. В. Тепловые процессы в технологии силикатов / А. В. Ралко, А. А. Крупа. – К. : Вища школа, 1986. – 232 с.
6. Ужеловський В. О., Ткачов В. С., Бровченко К. А. Методичні вказівки до визначення динамічних параметрів об'єктів регулювання для студентів фаху 6.092500 / В. О. Ужеловський, В. С. Ткачов, К. А. Бровченко. – Д. : ПДАБА, 2007. – 31 с.
7. Пат. 551550 СССР, УДК 66.047.012.(088.8). Способ автоматического управления тепловой обработкой / В. П. Абрамов, В. В. Шмалько; заявл. 18.12.82; опубл. 15.01.84, Бюл. № 2.

УДК 621.317.44

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАГНИТОРЕЗИСТИВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ИНКЛИНОМЕТРИИ

О. В. Фадеева, асп.

Ключевые слова: инклинометрия, феррозонд, магниторезистор, точность, магниточувствительный элемент, преобразователь, магнитное поле

Постановка проблемы. Повышение эффективности наклоннонаправленного бурения скважин приводит к повышению продуктивности скважин, к уменьшению влияния бурения на рельеф и экологию, к минимизации затрат на создание новой буровой площадки. При этом наклоннонаправленное бурение дает возможность для выкачки сырья под недоступными, по разным причинам, участками земной поверхности, также для разгрузки фонтанирующих скважин и для вскрытия пластов, которые падают под крутым углом, и т. д.

Для повышения эффективности наклоннонаправленного бурения одной из самых необходимых задач является повышение точности измерения. При использовании точных первичных преобразователей в инклинометрах соблюдается направление проектного профиля скважины, при этом не происходит отклонения забоя скважины от заданного курса, вследствие чего забой скважины попадает в заданную точку продуктивного пласта [7].

Анализ публикаций. В 1956 г. В. Н. Пономарев разработал малогабаритные одностержневые феррозонды, на основе которых был создан первый скважинный магнитометр для поиска и разведки железорудных месторождений [8].

В дальнейшем, в 1970 г., Г. Н. Ковшовым были начаты исследования по созданию инклинометрических датчиков с повышенной точностью, вибро- и ударопрочностью. Поиск новых компонентов для создания точных первичных преобразователей в инклинометрии и усовершенствование инклинометрических датчиков продолжается и сегодня [8].

Цель статьи. Рассмотреть особенности магниточувствительных элементов, а также возможности применения магниторезистивного преобразователя в инклинометрии.

Основной материал. Основной целью инклинометрии является определение зенитного, азимутного, визирного угла (угла отклонителя). Для измерения азимута в инклинометрии применяются два основных принципа работы чувствительных элементов: магнитный и гироскопический. В данной статье рассмотрены магниточувствительные элементы, а также их сравнительные технические характеристики.

В инклинометрии в качестве преобразователя магнитного поля часто используют