



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **41820** (13) **U**
(51) МПК (2009)
G05B 13/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ОБ'ЄКТОМ

1

(21) u200900040

(22) 05.01.2009

(24) 10.06.2009

(46) 10.06.2009, Бюл.№ 11, 2009 р.

(72) ЄСАУЛОВ СЕРГІЙ МИХАЙЛОВИЧ, БАБІЧЕВА
ОЛЬГА ФЕДОРІВНА, ШАВКУН В'ЯЧЕСЛАВ МИ-
ХАЙЛОВИЧ, БАБАКОВ СЕРГІЙ В'ЯЧЕСЛАВОВИЧ,
САВОСТЬЯН ОЛЕКСІЙ СЕРГІЙОВИЧ(73) ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІ-
СЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

(57) Система керування технологічним об'єктом, що містить послідовно з'єднані формувач тестового сигналу, перший суматор, другий суматор, регулятор, виконавчий пристрій і об'єкт керування із запізнюванням, вихід якого з'єднаний з другим входом першого суматора, а також послідовно з'єднані модель об'єкта керування без запізнювання, модель транспортного запізнювання і третій суматор, вихід якого з'єднаний з другим входом другого суматора, вхід моделі об'єкта керування без запізнювання з'єднаний з виходом регулятора, а вихід - з другим входом третього суматора, другий вхід третього суматора з'єднаний з виходом моделі транспортного запізнювання, вихід першо-

2

го суматора підключений до послідовно з'єднаних блоків обчислення помилки компенсації часу запізнювання і перебудови моделі транспортного запізнювання, вихід блока перебудови моделі транспортного запізнювання з'єднаний з другим входом моделі транспортного запізнювання, а вихід блока обчислення помилки компенсації з'єднаний з входом формувача тестового сигналу, яка **відрізняється** тим, що в неї додатково введені послідовно з'єднані диференціатор і блок перебудови тестового сигналу, вихід якого з'єднаний з другим входом формувача тестового сигналу і другим входом блока обчислення помилки компенсації часу запізнювання, а його другий вхід - з виходом виконавчого пристрою, вихід об'єкта керування із запізнюванням з'єднаний з входом диференціатора, з послідовно з'єднаним інтегратором і блоком перебудови моделі об'єкта керування без запізнювання, вихід якого з'єднаний з другим входом моделі об'єкта керування без запізнювання, а вихід диференціатора з'єднаний з другим входом блока перебудови моделі об'єкта керування без запізнювання.

Корисна модель відноситься до самоналагодувальних систем керування і може бути використана при синтезі систем керування технологічними об'єктами, що відрізняються нестационарними динамічними параметрами. До таких об'єктів належать змішувачі мийних машин для приготування мийного розчину, що використовуються при обслуговуванні й ремонті рухомого транспорту в депо, обладнання для очищення води в системах оборотного водопостачання в мийно-прибиральних корпусах депо та інші установки, в яких зміна динамічних властивостей обумовлена зміною витрат рідин, використовуваних в технологічному процесі.

Проблема автоматизації технологічних об'єктів з нестационарними динамічними властивостями є важливою і актуальною, що відноситься до всіх технологічних процесів з підтримкою нормованих умов шляхом регулювання витрати компонентів, використовуваних при їх реалізації. Зна-

чні динамічні помилки, що виникають при керуванні такими об'єктами, негативно позначаються на якості роботи технологічного об'єкта, необґрунтовано збільшують матеріальні й експлуатаційні витрати.

Відома система керування, що містить послідовно з'єднані перший регулятор, блок затримки, модель об'єкта без запізнювання, перший і другий блоки порівняння, послідовно з'єднані третій блок порівняння, другий регулятор, суматор і об'єкт керування, вихід якого з'єднаний з першим входом третього блоку порівняння, вихід якого з'єднаний з першим входом першого блоку порівняння, а другий вхід є входом системи, вихід першого регулятора з'єднаний з другим входом суматора, а вхід об'єкта керування через послідовно з'єднані блок затримки, другий блок порівняння, модель об'єкта без запізнювання, перший блок порівняння, перший регулятор з'єднаний з другим входом другого

(13) **U**(11) **41820**(19) **UA**

блоку порівняння [SU № 1674060, МПК G 05 B 13/00, 1991].

До недоліків такої системи можна віднести те, що система повністю компенсує запізнювання тільки за умови відповідності часу запізнювання об'єкта керування параметру моделі запізнювання. При варіюванні динамічних властивостей об'єкта і транспортного запізнювання система керування функціонує з істотною динамічною помилкою.

Відома система керування, що містить послідовно з'єднані перший суматор, вимірник розбіжності, регулятор, виконавчий механізм і об'єкт керування, а також послідовно з'єднані модель об'єкта керування без запізнювання, модель чистого запізнювання, блок поділу, другий суматор, вихід якого з'єднаний з входом першого суматора, а другий вхід - з виходом моделі об'єкта керування без запізнювання, вихід виконавчого механізму з'єднаний з входом моделі об'єкта керування без запізнювання, а вихід об'єкта керування підключений до другого входу блоку поділу [SU № 1112342, МПК G 05 B 11/01, 1984].

До недоліків такої системи можна віднести те, що при значних змінах динамічних властивостей об'єкта і транспортного запізнювання модель об'єкта керування стає неадекватною, у зв'язку з чим якість процесу регулювання супроводжується істотним зростанням динамічної помилки.

Найбільш близькою за технічною суттю до пропонованої системи є система керування об'єктом з транспортним запізнюванням, що містить послідовно з'єднані перший суматор, другий суматор, регулятор, виконавчий пристрій і об'єкт керування із запізнюванням, вихід якого з'єднаний з другим входом першого суматора, а також послідовно з'єднані модель об'єкта без запізнювання, модель транспортного запізнювання, третій суматор, вихід регулятора з'єднаний з входом моделі об'єкта керування без запізнювання, вихід якої з'єднаний з другим входом третього суматора, а вихід третього суматора з'єднаний з другим входом другого суматора, вихід першого суматора з'єднаний з послідовно з'єднаними блоком обчислення помилки компенсації і блоком перебудови моделі транспортного запізнювання, вихід якої підключений до другого входу моделі транспортного запізнювання, а вихід блоку обчислення помилки компенсації підключений до формувача тестового сигналу, вихід якого з'єднаний з другим входом першого суматора [RU № 94031451, МПК G05B 13/02, 1996].

Недоліком даної системи є те, що вона не враховує зміни динамічних властивостей об'єкта і в певних умовах не повністю компенсує транспортне запізнювання, у зв'язку з чим регульована величина характеризується значною динамічною помилкою, а за певних умов система стає нестійкою.

В основу корисної моделі поставлено завдання удосконалення системи керування технологічним об'єктом, в якій за рахунок введення нових конструктивних елементів враховуватимуться динамічні властивості об'єкта, що змінюються, і компенсуватиметься змінне транспортне запізнювання, що забезпечить допустиму динамічну помилку

системи керування і її стійкість при варіюванні параметрів об'єкта в широких межах, а також сприяє підвищенню точності ведення процесу регулювання при отриманні мийочого розчину.

Поставлене завдання досягається тим, що в систему керування технологічним об'єктом, що містить послідовно з'єднані формувач тестового сигналу, перший суматор, другий суматор, регулятор, виконавчий пристрій і об'єкт керування із запізнюванням, вихід якого з'єднаний з другим входом першого суматора, а також послідовно з'єднані модель об'єкта керування без запізнювання, модель транспортного запізнювання, третій суматор, вихід якого з'єднаний з другим входом другого суматора, вхід моделі об'єкта керування без запізнювання з'єднаний з виходом регулятора, а вихід - з другим входом третього суматора, другий вхід третього суматора з'єднаний з виходом моделі транспортного запізнювання, вихід першого суматора підключений до послідовно з'єднаних блоків обчислення помилки компенсації часу запізнювання і перебудови моделі транспортного запізнювання, вихід блоку перебудови моделі запізнювання з'єднаний з другим входом моделі транспортного запізнювання, а вихід блоку обчислення помилки компенсації з'єднаний з входом формувача тестового сигналу, згідно з корисною моделлю, додатково введені послідовно з'єднані диференціатор і блок перебудови тестового сигналу, вихід якого з'єднаний з другим входом формувача тестового сигналу і другим входом блоку обчислення помилки компенсації часу запізнювання, а його другий вхід - з виходом виконавчого пристрою, вихід об'єкта керування із запізнюванням з'єднаний з входом диференціатора і з послідовно з'єднаним інтегратором і блоком перебудови моделі об'єкта керування без запізнювання, вихід якого з'єднаний з другим входом моделі об'єкта керування без запізнювання, а вихід диференціатора з'єднаний з другим входом блоку перебудови моделі об'єкта керування без запізнювання.

Система забезпечує керування технологічним об'єктом з часом транспортного запізнювання τ шляхом компенсації відхилення $\varepsilon(t)$ вихідної ординати $Y(t)$ від її заданого значення $Y_3(t)$:

$$\varepsilon(t) = Y(t) - Y_3(t) \quad (1)$$

Оскільки величина $Y(t)$ залежить від динамічних властивостей $Y_1(t)$ і запізнювання $Y_2(t)$ об'єкта керування

$$Y(t) = f[Y_1(t), Y_2(t)] \quad (2)$$

то при формуванні керуючої величини враховуються зміни цих чинників.

Оцінку впливу змінних $Y_1(t)$ і $Y_2(t)$ виконуємо за допомогою періодичного тестування об'єкта керування.

Реалізація режиму тестування об'єкта здійснюється за допомогою періодичних тестових сигналів T заданої тривалості, контролюючи які, можна визначати параметри технологічного об'єкта і використовувати їх для визначення $Y(t)$ і $Y_2(t)$.

Період тестового сигналу T вибираємо таким, щоб можна було визначити відхилення реального часу запізнювання τ об'єкта від нормованого значення і компенсувати виникаючу невідповідність.

Оскільки заданий період T_0 тестового сигналу повинен бути узгоджений з реальним часом транспортного запізнювання об'єкта, в системі використаний блок перебудови тестового сигналу, який точно визначає транспортне запізнювання об'єкта керування за сигналами від виконавчого пристрою T_K на вході об'єкта керування і диференціатора T_d , підключеного до виходу об'єкта керування, і формує період T_{Π} з урахуванням виявленого відхилення часу транспортного запізнювання τ від її нормованої величини τ_0 . Отримані дані дозволяють ідентифікувати запізнювання перехідної характеристики $h_1(t)$ об'єкта керування вигляду

$$h_1(t) = 1(t - \tau), \quad (3)$$

де t - реальний час, що використовується для коректування моделі транспортного запізнювання об'єкта.

На Фіг. 1 ілюструється процес перебудови періоду T_0 в параметр T_{Π} при відхиленнях нормованого значення запізнювання τ_0 у відомому інтервалі:

$$\tau_1 \geq \tau_0 \geq \tau_2; \quad (4)$$

$$T_1 \geq T_{\Pi 0} \geq T_2, \quad (5)$$

де τ_1 , τ_0 , τ_2 - максимальне, мінімальне і нормоване значення часу запізнювання об'єкта, відповідно;

T_1 , $T_{\Pi 0}$, T_2 - максимальний, мінімальний і нормований періоди тестового сигналу, відповідно.

Формування скоректованого періоду T_{Π} тестового сигналу від розбіжності $\Delta\tau$:

$$\Delta\tau = \tau - \tau_0; \quad (6)$$

$$T_{\Pi} = T_0 + \Delta\tau, \quad (7)$$

дозволяє врахувати отримані дані в моделі запізнювання об'єкта керування, виконати компенсацію цього параметра і усунути вплив величини Y_1 :

$$Y_1(t) = f(\tau), \quad (8)$$

залежної від τ .

При формуванні скоректованого періоду t використовується масштабування величин τ та τ_0 і враховується взаємозв'язок постійної часу реального об'єкта керування T_p з часом транспортного запізнювання, щоб виключити реалізацію умови

$$|\Delta\tau| > 2T_p, \quad (9)$$

коли система стає нестійкою.

Контроль динамічних властивостей об'єкта керування здійснюється шляхом аналізу інтегральної X_{Π} :

$$X_{\Pi} = \frac{1}{T_{\Pi}} \int y dt, \quad (10)$$

і диференціальної X_d складових

$$X_d = T_d \frac{dy}{dt}, \quad (11)$$

де T_{Π} - час інтеграції; T_d - час диференціювання перехідного процесу реального об'єкта, при реалізації тестового режиму; y - вихідна величина; t - час.

Оскільки величини T_{Π} і T_d при визначенні X_{Π} і X_d вибираються постійними, то, очевидно, що при

відхиленні перехідного процесу в реальному об'єкті керування від аналогічного в нормованих умовах спостерігатиметься варіювання значень X_{Π} і X_d в деяких межах:

$$\Delta X_{\Pi} = X_{\Pi} - X_{\Pi 0}; \quad (12)$$

$$\Delta X_d = X_d - X_{d0}, \quad (13)$$

де $X_{\Pi 0}$, X_{d0} - інтегральна і диференціальна компоненти тестового перехідного процесу за нормованими умовами експлуатації технологічного об'єкта;

ΔX_{Π} , ΔX_d - відхилення інтегральної і диференціальної складових в реальних умовах в порівнянні з нормованими умовами експлуатації об'єкта.

На Фіг. 2 наведені графіки різних перехідних характеристик $h(t)$ об'єкта керування і ілюстрації формування ΔX_{Π} , ΔX_d , коли

$$X_{\Pi 1} > X_{\Pi 0} > X_{\Pi 2}, \quad (14)$$

$$X_{d1} > X_{d0} > X_{d2}. \quad (15)$$

Величини ΔX_{Π} і ΔX_d використовують для ідентифікації перехідної характеристики $h_2(t)$ об'єкта, наприклад, вигляду

$$h_2(t) = k_p - \exp\left(-\frac{t}{T_p}\right), \quad (16)$$

де k_p , T_p - коефіцієнт посилення і постійна часу реального об'єкта керування відповідно.

Отримані параметри k_p , T_p використовуються в системі керування для коректування моделі технологічного об'єкта без запізнювання, що сприяє усуненню помилки вихідної ординати об'єкта від $Y_2(t)$:

$$Y_1(t) = f(\Delta X_{\Pi}, \Delta X_d), \quad (17)$$

пов'язаної з неадекватністю моделі об'єкта керування без транспортного запізнювання реальному технологічному об'єкта.

Відмінні ознаки є істотними, оскільки нова сукупність введених блоків, сигналів і зв'язків дозволяє усунути динамічну помилку, обумовлену запізнюванням і змінними динамічними властивостями об'єкта керування, що досягається коректуванням моделі об'єкта, ідентифікована перехідна характеристика якої $h(t)$

$$h(t) = k_p - \exp\left[-\frac{t - \tau}{T_p}\right], \quad (18)$$

адекватна реальному об'єкту керування.

На Фіг. 3 зображена функціональна схема системи керування, де $Y_3(t)$ - сигнал завдання; $Z(t)$ - збурююча дія; $\varepsilon(t)$ - помилка, викликана змінюваними транспортним запізнюванням, динамічними властивостями об'єкта та іншими збурюючими чинниками.

Система керування технологічним об'єктом складається з послідовно з'єднаних формувача тестового сигналу 1, першого 2 і другого 3 суматорів, регулятора 4, виконавчого пристрою 5, об'єкта керування 6 із запізнюванням, вихід якого з'єднаний з другим входом суматора 2. До виходу регулятора 4 підключені послідовно з'єднані модель об'єкта керування без запізнювання 7, модель транспортного запізнювання 8 і третій суматор 9, другий вхід якого з'єднаний з виходом моделі об'єкта керування без запізнювання 7. Вхід

блоку 10 обчислень помилки часу запізнювання підключений до виходу першого суматора 2, а вихід з'єднаний з входами блоку 11 перебудови моделі транспортного запізнювання і формувача тестового сигналу 1. Вихід блоку 11 перебудови моделі транспортного запізнювання з'єднаний з другим входом моделі транспортного запізнювання 8. До виходу об'єкта керування 6 підключені послідовно з'єднані диференціатор 12 і блок 13 перебудови тестового сигналу, вихід якого з'єднаний з другим входом формувача тестового сигналу 1 і з другим входом блоку 10 обчислень помилки часу запізнювання, а другий вхід блоку 13 перебудови тестового сигналу з'єднаний з виходом виконавчого пристрою 5. До виходу об'єкта керування 6 підключені послідовно з'єднані інтегратор 14 і блок 15 перебудови моделі об'єкта керування без запізнювання, вихід якого з'єднаний з другим входом моделі об'єкта керування без запізнювання 7. Другий вихід диференціатора 12 з'єднаний з другим входом блоку 15 перебудови моделі об'єкта керування без запізнювання.

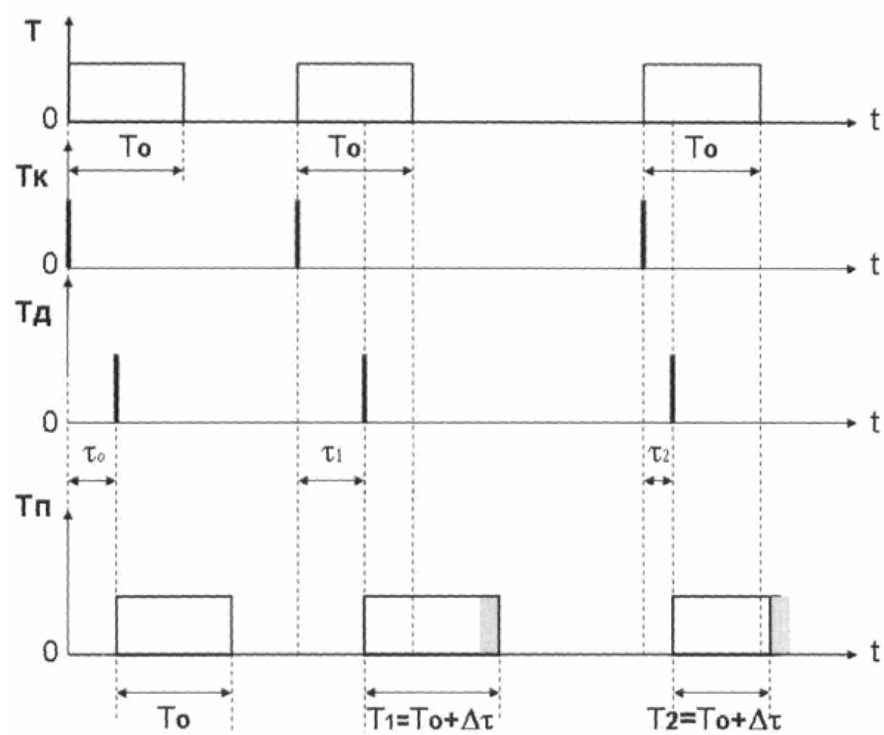
Система керування працює таким чином.

Формувач 1 включає тестовий режим системи керування і подає періодичні тестові сигнали в систему керування. Тестовий сигнал надходить на вхід суматора 2, в якому виконується порівняння керованої величини $Y(t)$ з її заданим значенням $Y_z(t)$. Якщо в результаті порівняння $Y(t)$ і $Y_z(t)$ має місце різниця, між ними формується сигнал помилки $\varepsilon(t)$, який надходить на другий суматор 3 і далі на регулятор 4 і виконавчий пристрій 5, який змінює керуючий вплив на об'єкт керування 6. Разом з цим сигнал з регулятора надходить на модель об'єкта керування, яка є з'єднаними послідовно моделлю об'єкта без запізнювання 7 і моделлю транспортного запізнювання 8. Якщо компоненти моделі об'єкта адекватні реальному об'єкту керування, то сигнал, що надходить з неї на третій суматор 9, не чинить вплив на вихідний сигнал другого суматора 3, що надходить на вхід регулятора 4. При невідповідності часу запізнювання реальному об'єкту керування 6 і моделі транспортного запізнювання 8 сигнал помилки $\varepsilon(t)$ залежатиме від цього чинника, у зв'язку з чим в блоці 10 здійсниться обчислення помилки часу запізнювання і формування сигналу, пропорційного цій величині, який з його виходу надійде на вхід блоку 11, де перетвориться в сигнал перебудови моделі транспортного запізнювання 8. Сигнал помилки з блоку 10 надходить також на другий вхід формувача тестового сигналу 1. У результаті цього виконається перебудова моделі транспортного запізнювання 8, що забезпечить її адекватність реальному об'єкту, і здійсниться корекція періоду тестового сигналу. Для підвищення точності визначення помилки часу запізнювання об'єкта в системі керування сигнали від виконавчого пристрою 5 і диференціатора 12 аналізуються в блоці 13 перебудови тестового сигналу, на виході якого формується сигнал, пропорційний поточному часу запізнюван-

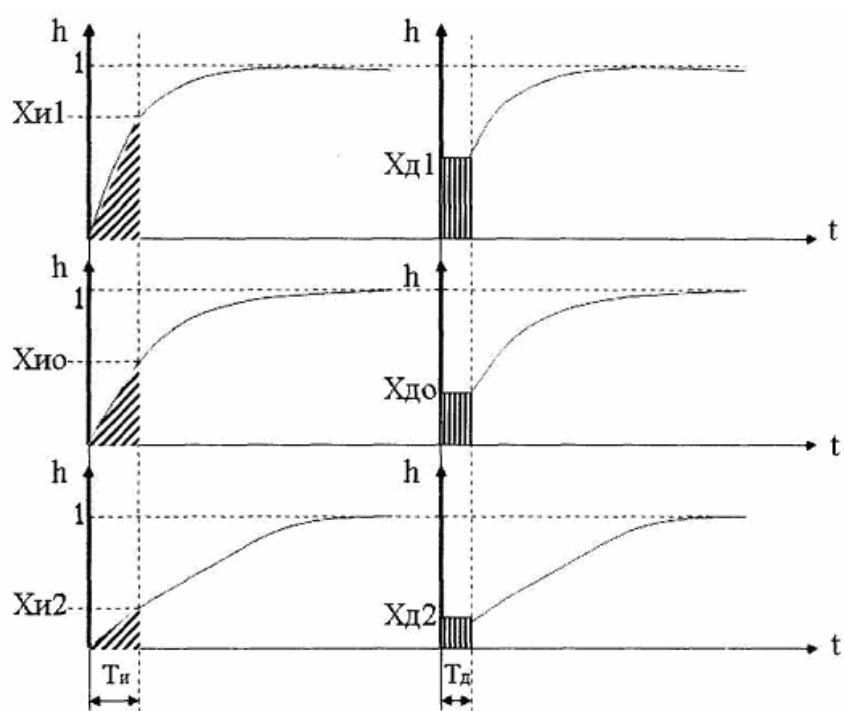
ня. Далі цей сигнал подається на другий вхід блоку 10 обчислень помилки часу запізнювання і другий вхід формувача тестового сигналу 1 для врахування його при формуванні відповідних вихідних сигналів з блоків 1 і 10. Оцінку динамічних властивостей об'єкта керування в системі здійснюють шляхом аналізу перехідного процесу, викликаного тестовим сигналом. Для цього при тестовому збуренні на вході об'єкта керування вихідні сигнали, формовані диференціатором 12 і інтегратором 14, підключеними до виходу об'єкта керування, подаються на входи блоку 15 перебудови моделі об'єкта керування без запізнювання, на виході якого формується сигнал, який подається на другий вхід моделі об'єкта керування без запізнювання 7 для корекції параметрів моделі. Корекція параметрів моделі 7 дозволяє усунути розбіжність між динамічними властивостями моделі об'єкта і її фізичним оригіналом, що сприяє підвищенню якості регулювання технологічного процесу. Таким чином, в результаті досягнення адекватності моделі об'єкта керування без запізнювання 7 і моделі транспортного запізнювання 8 реальному об'єкту керування забезпечується точніша компенсація відхилення $\varepsilon(t)$ вихідної ординати $Y(t)$ від її заданого значення $Y_z(t)$, а система залишається стійкою в широкому інтервалі зміни транспортного запізнювання і динамічних параметрів об'єкта керування.

Як об'єкт дослідження при перевірці працездатності системи керування використовувався змішувач для приготування мийного розчину, що застосовується при обслуговуванні й ремонті транспорту. При регулюванні витрати технічної води транспортне запізнювання і динамічні властивості змішувача змінювалися в широких межах. Запропонована система керування в порівнянні з прототипом, має переваги, що полягають в підвищенні точності ведення процесу регулювання при отриманні м'якого розчину із заданою якістю, досягнуті в результаті корекції періоду тестового сигналу і параметрів моделі об'єкту, використовуваної в системі керування, що забезпечили адекватність її реальному технологічному об'єкту. Запропонована система керування може використовуватися не тільки при автоматизації змішувачів різного призначення, але і для керування промисловими технологічними процесами із змінними динамічними властивостями і транспортним запізнюванням, що змінюються у великих межах, а також при реалізації систем діагностування різних технічних рішень з використанням їх електронних моделей. Система керування може бути реалізована на базі серійних елементів цифрової техніки і за допомогою програмованих мікропроцесорних пристроїв.

Використання запропонованої системи керування, в порівнянні з прототипом, дозволяє на 5-12 % знизити динамічну помилку регулювання при змінах не тільки транспортного запізнювання, але і динамічних параметрів технологічного об'єкта.



Фиг. 1



Фиг. 2

