

**МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ
З НЕВІДОМИМИ ЗАЛЕЖНОСТЯМИ ПАРАМЕТРІВ****В. В. Найда, Н. В. Рилова, Т. В. Горлова**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

ORCID: 0000-0002-6821-2072; 0000-0002-1136-653X; 0000-0002-3945-5032

Дослідження багатопараметричних технологічних процесів з метою створення більш ефективних систем та методів керування ними є актуальними в даний час. Було проаналізовано тенденції розвитку сучасного стану організації управління технологічними процесами, кожна з яких характеризує напрямки вдосконалення управління. Для дослідження впливу перешкод обґрунтована доцільність вибору для побудови систем управління технічними процесами фільтра Калмана. Розроблений метод відрізняється використанням початкових значень з попереднього аналізу досвіду виробництва аналогічного продукту. При цьому в результаті оптимізації управління технологічним процесом при обраному критерії гарантовано буде досягнуто необхідну якість продукту, що виготовляється. Комплекс математичних моделей і алгоритмів управління процесами із заданими властивостями продукту, що виробляється, на основі фільтра Калмана включає: критерії управління техпроцесом; математичну модель і алгоритм визначення часу закінчення технологічного процесу; математичну модель управління процесом; алгоритм управління процесом. Запропонована математична модель на основі фільтра Калмана оптимального управління техпроцесом, що забезпечує досягнення необхідних значень показників якості виробленого продукту й оптимального часу закінчення процесу. Розроблена методика формування моделі системи управління техпроцесом, яка орієнтована на врахування особливості вхідного впливу та перешкоди в системі вимірювання, що забезпечує адаптацію запропонованої системи управління до виробництва конкретного продукту. Основні висновки та результати роботи можуть бути застосовані до інших видів техпроцесів при відповідній їх адаптації шляхом переналаштування на керування з іншими параметрами, в тому числі вхідними сигналами та перешкодами.

Ключові слова: технологічний процес, математична модель, фільтр Калмана.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Тенденції розвитку сучасних виробництв припускають першочергове і суттєве підвищення ефективності технологічних процесів, що нерозривно пов'язано з розробкою нових і вдосконаленням існуючих систем, методів і алгоритмів управління.

Високі вимоги до якості кінцевого продукту промислового виробництва, безперервне подорожчання паливно-сировинних ресурсів, велика частка в собівартості продукції витрачена на етапі виробництва енергоресурсів визначають необхідність впровадження нових технологій, як в безпосередньому виробництві, так і у вирішенні організаційних питань, які зачіпають всю інфраструктуру підприємства. Промислове виробництво характеризується переміщенням великих обсягів важких і специфічних за фізичними та хімічними характеристиками вантажів, різноманітністю операцій і технічних засобів, що використовуються [1].

Технологічний процес (ТП) – основна частина виробничого процесу, в ході якої здійснюється отримання з сировини (заготовок) готової продукції (або зміна властивостей первинного продукту). Його основу становить будь-який природний процес: фізичний, біологічний, хімічний та т. і. Прикладами таких процесів є варіння сталі, сушка какао-бобів, виробництво харчових продуктів, виготовлення цементу і т. і. Як правило, саме рівень управління технологічним процесом значною мірою визначає якість виробленого продукту і результати господарської діяльності всього підприємства.

Більшість ТП є багатопараметричними, тобто характеризуються декількома параметрами або описуються кількома змінними. Параметри характеризують ту чи іншу сутність технологічного процесу, його індивідуальні особливості.

Значення параметрів ТП і динаміка їх зміни в значній мірі визначають якість продукту, що виробляється. Порушення технології виробництва може привести до псування продукту, зробити його непридатним для використання за призначенням.

Динаміка зміни значень властивостей має найчастіше різну спрямованість, а на їх величину і швидкість її зміни накладаються певні обмеження. Тому при пред'явленні вимог до параметрів ТП одночасно необхідно пред'являти вимоги і до показників властивостей продукту, що виробляється.

Для управління ТП широке застосування, поряд з іншими, знайшла теорія фільтрації. Найбільш поширеними алгоритмами оптимальної фільтрації, які використовуються в СУ ТП, є: узгоджений фільтр; оптимальний фільтр Вінера; адаптивні та нелінійні оптимальні фільтри (фільтр Бар Шалом Ци, фільтр Бревера, адаптивний і оптимальний фільтр Калмана і т. п.) [5].

У відомих авторам роботах системи управління створювалися для управління цілком конкретними технологічними процесами із заздалегідь відомими параметрами, в тому числі вхідного сигналу і перешкоди. Переналаштувати такі системи на управління ТП з іншими параметрами представляється складним завданням.

Тому в даному дослідженні зроблена спроба обґрунтувати можливість застосування для управління багатопараметричними ТП в частині визначення їх реального стану, а також властивостей продукту, що виробляється, фільтра Калмана і розробити на цій основі модель управління багатопараметричними технологічними процесами з невідомими залежностями параметрів, які дозволяли б керувати ТП при різних видах вхідного сигналу і впливу перешкод в системі вимірювання.

Тому актуальним завданням являється розробка моделі управління багатопараметричними технологічними процесами з невідомими залежностями параметрів на основі фільтра Калмана, а також методики її формування.

Мета роботи – підвищення ефективності управління технологічними процесами з невідомими залежностями параметрів.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі: аналіз ТП з невідомими залежностями параметрів, як об'єктів управління; аналіз відомих методів і моделей управління ТП, вибір найбільш бажаних з них для проведеного дослідження; розробка математичної моделі, розробка методики формування моделі СУ ТП.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. *Технологічний процес з невідомими залежностями параметрів, як об'єкт управління. Аналіз багатопараметричних технологічних процесів. Загальна характеристика технологічних процесів.*

Технологічним процесом називають частину виробничого процесу, що містить цілеспрямовані дії щодо зміни та наступного визначення стану предмета праці. До предметів праці відносяться різні види виробів, наприклад, інструменти, цемент, какао й інші [6, 7].

Виробничий процес – це сукупність усіх дій покупців, безліч знарядь праці, потрібних для виробництва або ремонту продукції. Частина дії виробничого процесу, яка безпосередньо формує процес виробництва, й є технологічним процесом. Зростання продуктивності праці можливо лише при удосконаленні технологічного процесу, шляхом заміни знарядь праці, упровадження нових й високих технологій.

Технологічний процес ґрунтується на якомусь природному процесі (фізичному, хімічному, біологічному тощо).

Отже, головна роль у вдосконаленні виробничої системи належить технологічному процесу, тому що він визначає основний напрямок перетворень.

Технологічні процеси характеризуються параметрами. Параметри – це вимірювані величини, що характеризують структуру процесу і його розвиток.

В загальному випадку розрізняють групи параметрів: приватні, поодинокі, інтегральні (узагальнені).

В загальному випадку ТП представляється у виді, представленому на рис. 1.

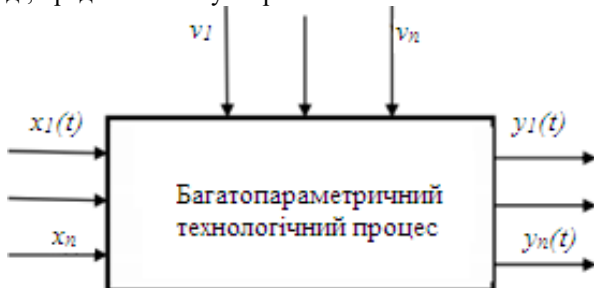


Рисунок 1 – Структурна схема ТП

Метою здійснення ТП є виробництво продукту (виробу, продукції і т. і.), як правило, з цілком певними властивостями. Тому організація, хід і результат технологічного процесу повинні забезпечувати досягнення виробленою продукцією заданих властивостей у відведений час з допустимою витратою ресурсів. А для цього ТП потрібно управляти.

Управління технологічними процесами з невідомими залежностями параметрів. Призначення і організація управління ТП з невідомими залежностями параметрів.

Всі ТП мають своє призначення, відповідно до якого до них пред'являються певні вимоги: досягнення заданої або максимальної продуктивності, забезпечення заданої або найкращої якості продукції, заданих або мінімальних витрат сировини або енергії продукції і т. п. Виконання вимог, що пред'являються до ТП, забезпечення необхідної якості виробленого продукту можливе лише при цілеспрямованому впливі на його технологічний режим – при здійсненні управління технологічним процесом.

Управління – процес вироблення та здійснення керуючих впливів на об'єкт управління. Вироблення керуючих впливів включає збір, передачу й обробку необхідної інформації, прийняття рішень, яке обов'язково включає визначення керуючих впливів.

Під управлінням розуміється сукупність операцій для пуску та зупинки технологічного процесу, а також для підтримки або зміни величин, що характеризують технологічний процес [2].

Об'єкт управління – це об'єкт, для досягнення бажаних результатів функціонування якого необхідні та допустимі спеціально організовані дії. Об'єктами управління можуть бути процес виплавки сталі, прокатний стан, генератор, двигун і т. д. Стан цих об'єктів можна характеризувати однією або декількома величинами.

На ТП впливають такі параметри: вхідні, значення яких можуть бути виміряні, але вплив на які відсутній; керовані, на які можна надавати прямий вплив, що дозволяє управляти процесом; ті, що підбурюють, які змінюються в часі та не доступні для вимірювання; вихідні; їх значення визначаються режимом процесу.

Мета управління – забезпечення досягнення необхідних значень параметрів процесу в об'єкті управління або їх зміни в часі, при яких забезпечується досягнення бажаних результатів функціонування об'єкта.

Реалізація необхідного алгоритму функціонування забезпечується керуючим впливом $u(t)$. Цей вплив виробляється автоматичним керуючим пристроєм або системою управління. На рис. 2 представлена скорочена структура системи автоматичного управління, де: $u(t)$ – управляючий вплив, $y(t)$ – властивості продукту, що виробляється, $x(t)$ – вхідний вплив (завдання); $v(t)$ – збуджуючий вплив.



Рисунок 2 – Структура системи автоматичного управління

Під управлінням ТП розуміється сукупність операцій для пуску та зупинки ТП, а також для підтримки або зміни величин, що характеризують технологічний процес [4].

Оптимальне управління – це управління, при якому прийнятий критерій оцінки якості роботи системи (критерій оптимальності) досягає найбільшого або найменшого значення.

Алгоритмом оптимального управління називають алгоритм, що дозволяє досягти мети управління по деяким критеріям найкращим чином. В якості критерію оптимальності можуть бути прийняті різні технічні та техніко-економічні показники: продуктивність, витрата сировини й енергії, показники якості динамічних процесів цифрових регуляторів і т. д.

Можна виділити два принципово різних підходи до організації управління ТП: нормативний і адаптивний.

При нормативному підході на основі наявних статистичних даних про характеристики вихідних інгредієнтів сировини (заготовок) в різних поєднаннях, впливу на хід ТП зовнішніх факторів заздалегідь розроблений план управління та визначено час готовності продукту, що готується, і, отже, час закінчення технологічного процесу. При цьому тривалість ТП, як правило, заздалегідь визначена та незмінна, а можливості щодо її зміни обмежені.

Адаптивний підхід передбачає постійне вимірювання показників якості виробленого продукту, прогнозування їх зміни на основі одного з математичних методів і вплив на перебіг ТП зміною керуючого параметра.

На більшості підприємств контроль здійснюється за першим варіантом, по суті пасивно [3].

При такому підході вкрай важко врахувати як можливе відхилення початкових параметрів ТП так і зміну параметрів і властивостей продукту, що виробляється в ході ТП в зв'язку з існуючими помилками вимірювання. Як неточність вхідних даних, так і неточність вимірювання параметрів ТП є по суті справи збуджуючими впливами – шумами. Компенсація шумів є складним завданням і вимагає застосування спеціальних методів фільтрації.

Ефективність управління технологічним процесом залежить від правильно визначеного керуючого впливу та точності його відпрацювання виконавчим механізмом (пристроєм).

Якість управління визначається трьома основними факторами: вибором ефективного вирішення, своєчасністю його прийняття та можливістю реалізації цього рішення.

Математична модель управління ТП.

Управління ТП типу МІМО (процеси (Multiple Input, Multiple Output) з наявністю декількох вхідних і вихідних параметрів) становить значні труднощі через те, що потрібно одночасно керувати декількома вихідними величинами. Наприклад, математична модель управління багатопараметричним технологічним процесом приготування продукту має відповідати умовам оптимального поєднання сукупності параметрів, що беруть участь в управлінні цим технологічним процесом. При цьому керуючі параметри розглядаються як керуючі змінні [8].

$$Z(x, t) = \int_{t_1}^{t_2} z(x, t) \cdot a(b, t) \cdot c(b, t) dt, \quad (1)$$

де $z(x, t)$ – сукупність сигналів управління; $a(b, t)$ – контрольовані параметри, обмеження; $c(b, t)$ – сукупність сигналів стану виконавчих механізмів; x – параметр, що залежить від стану технологічного процесу.

У більшості випадків керуючий вплив виробляється відповідно до заданої математичної залежності, яку називають законом управління. Таким чином, знаходження закону управління, що реалізується СУТП, є необхідною та найважливішою умовою забезпечення оптимального управління багатопараметричними технологічними процесами.

Вибір методу управління багатопараметричними технологічними процесами з невідомими залежностями параметрів.

Оскільки більшість ТП характеризуються декількома параметрами, динаміка зміни яких різна, а іноді і різноспрямована, управління такими процесами являє собою складну задачу. І особливу складність представляє рішення задачі прогнозування часу досягнення параметрами технологічного процесу та властивостями продукту, що готується, необхідних значень або, наприклад, часу закінчення ТП в умовах впливу зовнішніх факторів і керуючого впливу СУТП. Згідно з наявними оцінками [9] за критерієм “похибка прогнозу” (тобто різниця між прогнозованим і фактичним значенням досліджуваної динамічної системи) СУТП на основі УПМ

(управління з прогнозуючими моделями) дають кращі результати. У таких СУТП для прогнозування стану технологічних процесів широке застосування знайшла теорія фільтрації.

Відомо безліч методів фільтрації, які мають точні алгоритми оптимального рішення. Найбільш поширеними алгоритмами оптимальної фільтрації, використовуваними в СУТП, є: узгоджений фільтр; оптимальний фільтр Вінера; адаптивні та нелінійні оптимальні фільтри (фільтр Бар Шалома Ци, фільтр Бревера, адаптивний фільтр Калмана і т. п.) [10].

Фільтр Калмана – це ефективний обчислювальний алгоритм, призначений для рекурсивного дооцінювання вектора стану априорно відомої дискретизованої за часом лінійної динамічної системи [11]. Отримані за його використанням змінні поточного стану динамічної системи, дозволяють спрогнозувати її стан в майбутньому.

Для оцінки алгоритму оптимальної фільтрації використовують показники якості прогнозу. Основним показником є похибка прогнозу, тобто різниця (помилка) між прогнозованим і фактичним значенням досліджуваної динамічної системи.

Алгоритм оптимальної фільтрації дає майбутні оцінки стану системи на підставі поточних оцінок, тому проблема точності розглядається в плані зіставлення априорних якостей. Чим помилки прогнозу менше відрізняються від їх значень, тим алгоритм фільтрації краще.

Управління багатопараметричних технологічних процесів з застосуванням калмановської фільтрації полягає в тому, що фільтр працює в припущенні, що система описується нелінійним рівнянням (спостереження є нелінійною функцією стану) і шуми описуються Гаусовим розподілом з математичним очікуванням, рівним нулю. Комплекс математичних моделей і алгоритмів управління ТП з заданими властивостями продукту, що виробляється на основі фільтра Калмана включає: критерії управління ТП; математичну модель і алгоритм визначення часу

закінчення ТП; математичну модель управління ТП; алгоритм управління ТП.

Математична модель управління технологічними процесами на основі фільтра Калмана.

Математична модель являє собою сукупність математичного опису та алгоритму рішення [12, 13]. На рис. 3 представлена структура математичної моделі управління технологічним процесом.

Стан технологічного процесу може бути описаний різницевою стохастичним рівнянням:

$$X(t+1) = \Phi(t)X(t) + B(t)u(t) + w(t), \quad (2)$$

де t – поточний момент часу, $t \in T$; $\Phi(t)$ – матриця опису динаміки процесу; $X(t)$ – вектор стану вихідної ДС; $B(t)$ – матриця посилення (ослаблення) управлінських впливів на процес; $u(t)$ – вектор параметрів управління, $u(t) \in U$; $w(t)$ – випадкові впливи на динаміку процесу.

Відомі $X(t_0)$ – початковий стан процесу і $X(t_N)$ – стан, необхідний на момент часу його зупинки (на момент часу завершення виробництва продукту з необхідною якістю).

Результат вимірювання значень параметрів процесу описується рівнянням вимірювання виду:

$$z(t) = \theta(t)X(t) + v(t), \quad (3)$$

де $\theta(t)$ – оператор вимірювання поточного стану технологічного процесу (оператор “охоплення” приладом координат вектора $X(t)$).

Випадкові впливи на динаміку процесу $w(t)$ і результати вимірювання $v(t)$ є незалежними і підпорядковані нормальним розподілам ймовірностей з нульовими математичними очікуваннями та діагональними коваріаційними матрицями $\Phi(t)$ і $\theta(t)$ в загальному випадку нелінійні [6].

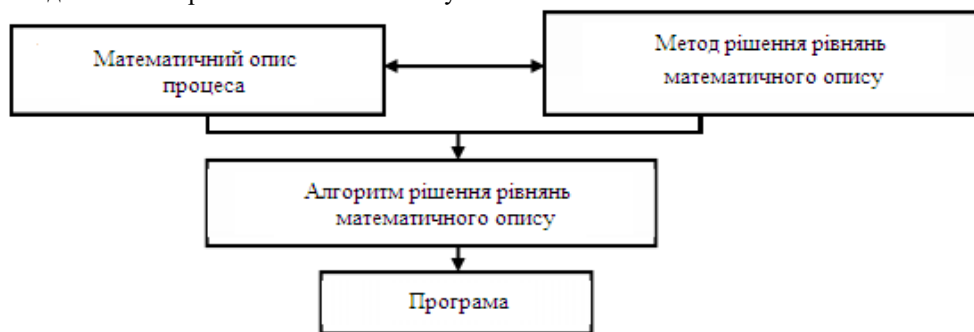


Рисунок 3 – Структура математичної моделі управління технологічним процесом

Адаптований розширений фільтр Калмана зі зворотним зв'язком з управління представляється рівняннями [7]: рівняння стану, що містить зовнішнє управління марковським процесом виробництва продукту:

$$X(t+1) = \Phi(t+1, t)X(t) + B(t)u(t) + w(t); \quad (4)$$

– рівняння вимірювання – вимірювання значень траєкторії підготовки продукту в лінеарізованому вигляді та подальшому допущенні $\theta=I$:

$$z(t) = \theta(t)X(t) + v(t);$$

– рівняння екстраполяції оцінки значення траєкторії виробництва продукту на черговий момент часу отримання вимірювання в разі нульового мате-

матичного очікування перешкоджаючого впливу на динаміку процесу виробництва продукту:

$$\hat{X}(t+1, t) = \Phi(t+1, t)\hat{X}(t) + B(t)u(t) + K_\mu [z(t) - \hat{X}(t)]; \quad (5)$$

– рівняння екстраполяції оцінки значення траєкторії зміни компонента продукту на черговий момент часу отримання вимірювання, коли перешкоджаючий вплив на динаміку процесу має нульове математичне сподівання μ_q :

$$\hat{X}(t+1, t) = \Phi(t+1, t)\hat{X}(t) + \mu_q(t) + B(t)u(t) + K_\mu [z(t) - \mu_y(t) - \hat{X}(t)] \quad (6)$$

– оцінка значення траєкторії компонента продукту в поточний момент часу (7):

$$\hat{X}(t+1) = \hat{X}(t+1, t) + K(t+1)[z(t+1) - \mu_x(t) - \hat{X}(t+1, t)]$$

– коефіцієнт посилення в рівнянні екстраполяції оцінки значень траєкторії компонента продукту:

$$K_\mu(t) = V_{q,g}(t)V_g^{-1}(t); \quad (8)$$

– коефіцієнт посилення в рівнянні оцінки значень траєкторії компонента продукту:

$$K(t+1) = V_x^-(t+1, t)[V_x^-(t+1, t) + V_x(t+1)]^{-1}; \quad (9)$$

– помилка екстраполяції:

$$\tilde{X}(t+1, t) \hat{=} \hat{X}(t+1) - \hat{X}(t+1, t); \quad (10)$$

– коваріація помилки екстраполяції:

$$V_{\tilde{x}}(t+1, t) = [\Phi(t+1, t) - K_\mu(t)]V_{\tilde{x}}(t+1) \cdot [\Phi(t+1, t) - K_\mu(t)]^T + V_q(t) - K_\mu(t)V_g(t)K_\mu^T(t) \quad (11)$$

– коваріація помилки оцінки:

$$V_{\tilde{x}}(t+1) = [I - K(t+1)]V_{\tilde{x}}(t+1) \quad (12)$$

Тут введено такі позначення:

– $t = T_0, 1, 2, 3, \dots, T=N$ для i -го компонента продукту;

$$x = \begin{pmatrix} r \\ \dot{r} \\ \ddot{r} \end{pmatrix}, \quad \Phi \equiv F = \begin{pmatrix} 1 & t & t^2/2 \\ 0 & 1 & t \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad v = \begin{pmatrix} v_r \\ v_{\dot{r}} \\ v_{\ddot{r}} \end{pmatrix}, \quad \mu_x = \begin{pmatrix} M_r \\ M_{\dot{r}} \\ M_{\ddot{r}} \end{pmatrix},$$

$$B = \begin{pmatrix} b_r & 0 & 0 \\ 0 & b_{\dot{r}} & 0 \\ 0 & 0 & b_{\ddot{r}} \end{pmatrix}, \quad u = \begin{pmatrix} u_r \\ u_{\dot{r}} \\ u_{\ddot{r}} \end{pmatrix}, \quad z \equiv \dot{r}$$

– w – перешкоджаючий вплив в рівнянні динаміки виробництва продукту;

– v – перешкоджаючий вплив в рівнянні виміру (при вимірюванні значень траєкторії продукту);

– коваріації:

$$\text{Cov}[w(t), w(k)] = V_w(t)\delta(t-k), \quad \text{Cov}[v(t), v(k)] = V_v(t)\delta(t-k), \quad \text{Cov}[w(t), v(k)] = V_{wv}(t)\delta(t-k)$$

– $V_x(0) = D[x(0)]$ – дисперсія значення вихідного продукту на момент початку технологічного процесу.

За рівнянням фільтра при введених позначеннях будемо оцінювати параметри траєкторії для випадку завдання рівняння стану як алгебраїчного рівняння другого порядку.

Перешкоджаючі впливи $w(t)$ і $v(t)$ можуть залежати не нормальним – не гаусовим розподілом ймовірностей. Однак рекурентні співвідношення фільтра Калмана залишаться справедливими і при ненормальних розподілах $w(t)$ і $v(t)$ [13].

Початкові умови для фільтра Калмана:

$$u(0)\hat{x}(0) = \hat{x}(0,0) = \mu_x(0) = Mx(0)V_x^-(0) = V_x^-(0,0) = D[x(0)] = V_x(0)$$

Їх значення можна задати з попереднього аналізу досвіду виробництва аналогічного продукту. При цьому в результаті оптимізації управління ТП при обраному критерії гарантовано буде досягнуто необхідну якість продукту, що виготовляється.

Загальна схема розв'язання задачі дискретної фільтрації з урахуванням наведених вище міркувань показана на рис. 4. Особливості роботи фільтра Калмана за схемою “прогноз – корекція” дозволяють налаштувати математичну модель, що його використовує, для управління будь-якими багатопараметричними ТП, що дозволяє побудувати універсальну математичну модель управління технологічними процесами. Таким чином, обґрунтована можливість застосування методів калмановської фільтрації в автоматизованих системах управління багатомірними технологічними процесами із заданими властивостями продукту, що виробляється.

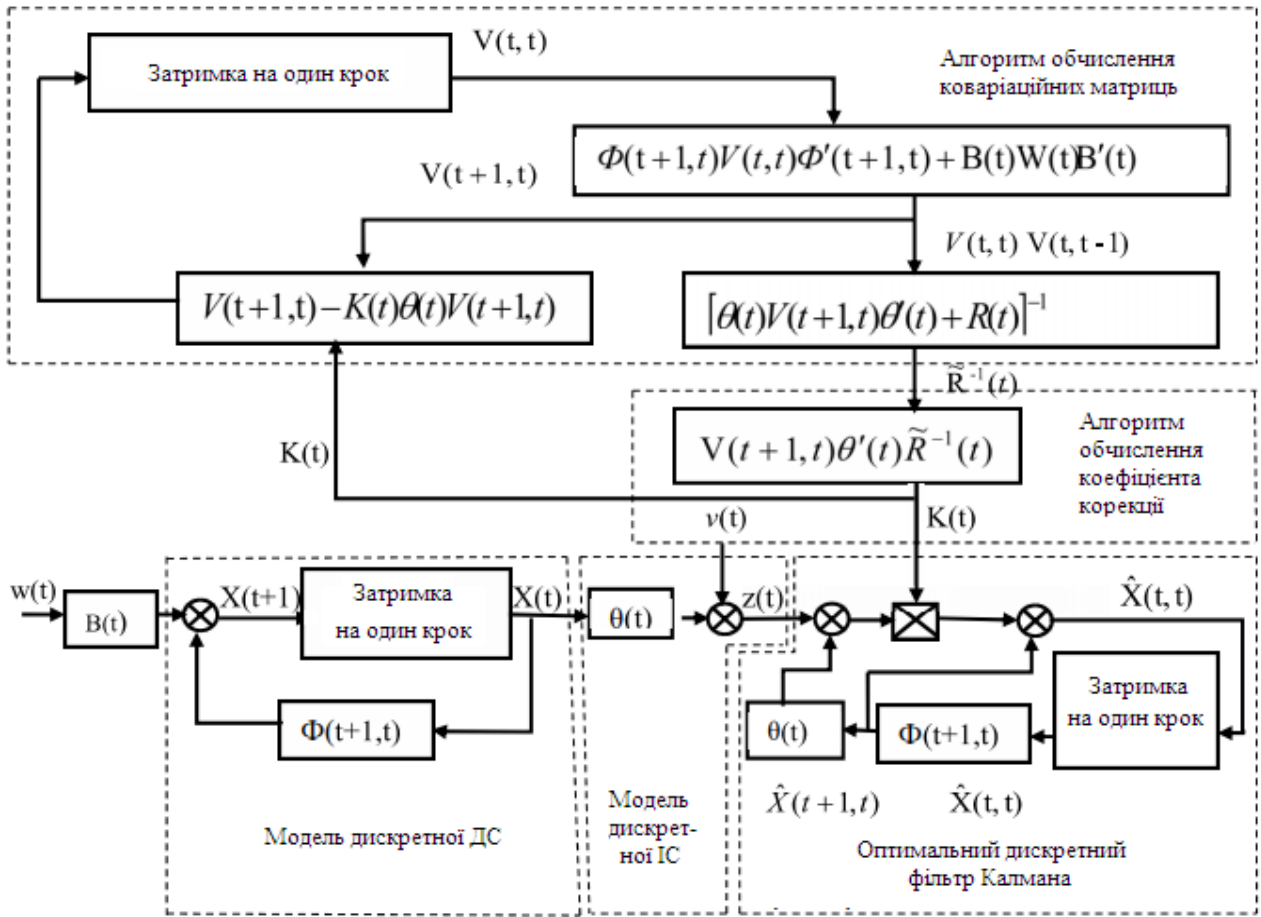


Рисунок 4 – Загальна схема розв'язання задачі дискретної фільтрації на основі фільтра Калмана

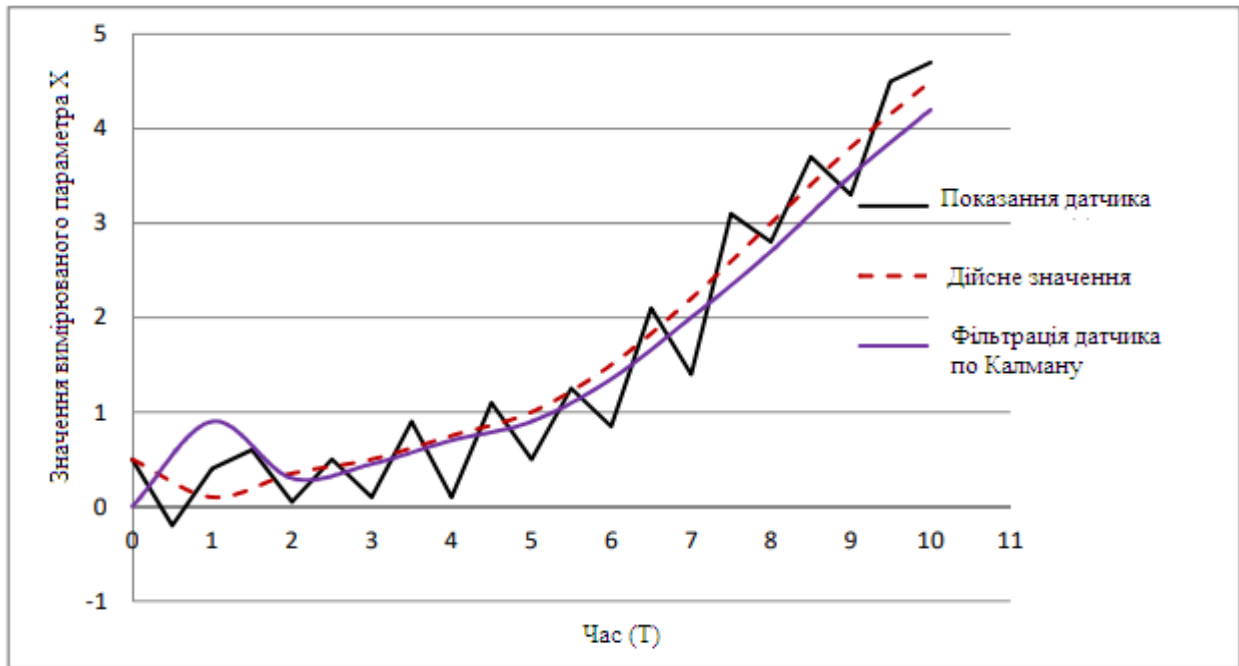


Рисунок 5 – Результат фільтрації сигналу датчика по Калману при спотворенні шумами результатів вимірювання

ВИСНОВКИ. В результаті роботи:

1. Проведено аналіз сучасного стану організації управління технологічними процесами, виявлено тенденції розвитку та визначено напрямки його вдосконалення.

2. Запропоновано порядок вибору істотно значущих параметрів ТП і властивостей продукту, що виробляється, та визначено закономірності їх зміни.

3. Обґрунтовано можливість і доцільність вибору для побудови систем управління ТП фільтра Калмана і проведена його адаптація для вирішення цих завдань.

4. Обґрунтовано критерії управління ТП з заданими властивостями продукту, що виробляється на основі фільтра Калмана, розроблені математична модель визначення оптимального часу закінчення ТП.

5. Розроблено математичну модель оптимального управління ТП, що забезпечує досягнення необхідних значень показників якості виробленого продукту і оптимального часу закінчення ТП.

6. Розроблено і обґрунтовано методіку формування моделі системи управління ТП, що враховує особливості вхідного впливу та перешкоди в системі вимірювання, що забезпечує адаптацію запропонованої СУ ТП до виробництва конкретного продукту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рилова Н. В., Расторопов Є. А., Рилов Б. О. Інформаційна технологія підтримки процесу забезпечення нафтопродуктами автозаправних станцій. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2018. Вип. № 3 (110). С. 38–45.

2. Кондрашев Ю. Д. Королева Ю. Ю. Ведення технологічного процесу при всіх способах добычи нафти, газу та газового конденсату: учебное пособие. Изд-во "Академия". Москва, 2011.

3. Михеев В. А. Автоматизация процессов ОМД: электронное учебное пособие; URL: <http://repo.ssau.ru/handle/Uchebnye-posobiya/Avtomatizaciya-processov-OMD-Elektronnyy-resurs-elektron-ucheb-posobie-k-provedeniю-prakt-i-samost-rabot-54590> (дата звернення 25.10.2020).

4. Мохсен М. Н. Методы квазиоптимизации и согласованного векторного управления в локальных

системах автоматизации технологических процессов. Ростов на Дону, 2016.

5. Тимофеев А. В. *Функциональная диагностика и дефектоустойчивое управление мехатронными системами и роботами*. Труды СПИИРАН, 1(2), 266–283. <https://doi.org/10.15622/sp.2.20>

6. Скворцов В. Ф. Основы технологии машиностроения: учебное пособие. Томский политехнический университет. Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2012. 352 с.

7. Грибкова А. Н. Развитие методов анализа и синтеза оптимального управления для построения информационно управляющих систем многомерными технологическими объектами : автореф. дис. канд. техн. наук: 05.11.16. Тамбовский государственный технический университет. Тамбов, 2016.

8. Зиновкин В. В., Кулинич Э. М. Критерии оптимального управления многопараметрическим технологическим процессом приготовления газобетона. *Проблемы управления и информатики*. 2007. № 6. С. 73–84.

9. Панкратов В. В., Котин Д. А., Диаб А. А. Непосредственное векторное управление асинхронными электроприводами с использованием прогнозирующих моделей. *Инженерный вестник Дона*. 2014. № 3. С. 240–245.

10. Третьяк Л. Н., Герасимов Е. М. Перспективы изменения принципов автоматизированного управления процессом производства "идеального пива". *Пищевая промышленность: состояние, проблемы, перспективы: материалы, Междунар. науч. практ. конф.* Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2009. С. 267–271.

11. Антонова Г. М., Макаров В. В. Создание обобщенных моделей динамических стохастических систем путём имитационного моделирования с использованием алгоритмов идентификации, 7-я Всероссийская научно-практическая конференция "Имитационное моделирование. Теория и практика". ИММОД-2013. Москва, 2013. С. 6.

12. Солдатенко Л. В. Введение в математическое моделирование строительно-технических задач: учебное пособие. Оренбург: ГОУ, ОГУ, 2009. 161 с.

13. Кубланов М. С. Математическое моделирование. Методология и методы разработки математических моделей механических систем и процессов: учебное пособие. Часть 1. Третье издание. Москва: МГТУ ГА, 2004. 108 с.

TECHNOLOGICAL PROCESS MANAGEMENT MODEL WITH UNKNOWN PARAMETERS DEPENDENCES

V. Nayda, N. Rylova, T. Gorlova

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyyi National University

ORCID: 0000-0002-6821-2072; 0000-0002-1136-653X; 0000-0002-3945-5032

Purpose. The study of multi-parameter technological processes in order to create more efficient systems and methods of controlling them are relevant at this time. The work analyzed the development trends of the current state of the organization of technological processes management, each of which characterizes the direction of improving the management. In order to study the influence of interference, the expediency of selecting the Kalman filter for creation of the technological processes management system was justified. The developed method is distinguished by usage of initial values from the previous similar product manufacturing experience analysis. As a result of optimization of the technological process management with selected criterion it is guaranteed that the required quality of the manufactured product will be achieved. **Methodology.** System analysis. **Findings.** The set of mathematical models and algorithms of processes management with the manufactured product properties assigned based on Kalman filter includes: the technological process management criterion; the mathematical model and the determination algorithm of technological process

completion time; the mathematical model of process management; the process management algorithm. The mathematical model based on the technological process optimal management Kalman filter was suggested, which ensures achievement of necessary quality indexes values of manufactured product and optimal process completion time. **Originality.** The technique of model formation of technological process management system was developed, which is oriented at considering the feature of inbound influence and the interference in measurement system, which provides adaptation of the suggested management system to manufacturing of the specific product. **Practical value.** The mathematical model of optimal technological process management was developed which provides achievement of necessary values of manufactured product quality indicators and optimal technological process ending time. **Conclusions.** Fundamental conclusions and work results can be applied to other kinds of technological processes provided that they are appropriately adapted by means of reconfiguration to managing with different parameters including inbound signals and interference. References 13, figure 5.

Key words: technological process, mathematical model, Kalman filter.

REFERENCES

- Rylova, N. V., Rastoropov, E. A., Rylov, B. O. (2018). Information technology to support the process of supplying gas stations with petroleum products. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyyi National University*, iss. 3 (110), pp. 38–45. [in Ukrainian]
- Kondrashov, U. D., Koroleva, U. U. (2011). *Vedenie tekhnologicheskogo protsesa pri vsekhsposobakh dobychi nefi, gaza i gazovogo kondensata* [Maintenance of the technological process for all methods of oil, gas and gas condensate production] uchebnik. Publishing House of Moscow «Academy». Moscow. [in Russian]
- Mikheyev, V. A. (2012). *Avtomatizatsiya protsesov OMD: elektronnyi uchebnik* [Automation of OMD processes], URL: <http://repo.ssau.ru/handle/Uchebnye-posobiya/Avtomatizatsiya-processov-OMD-Elektronnyirekurs-elektron-ucheb-posobie-k-provedeniuprakt-i-samost-rabot-54590> (accessed 25.10.2020).
- Mokhsen, M. N. (2016). *Metody kvazioptimizatsiyi i soglasovannogo vektornogo upravleniya v lokalnykh sistemakh avtomatizatsiyi tekhnologicheskikh protsesov* [Quasi-optimization and coordinated vector management in local technological processes automation systems], Rostov na Donu. [in Russian]
- Timofeyev, A. V. (2004). Functional diagnostics and defect-resistant control of mechatronic systems and robots: *Trudy SPIRAN*, no. 1(2), pp. 266–283. <https://doi.org/10.15622/sp.2.20>.
- Skvortsov, V. F. (2012). *Osnovy tekhnologiyi mashinostroeniya: electronnoe posobie* [Fundamentals of Mechanical Engineering Technology: training manual], Publishing House of Tomsk State Technical University, Tomsk. [in Russian]
- Gribkova, A. N. (2016). *Development of methods of analysis and synthesis of optimal management for building the informational managing systems by multi-dimensional technological objects*, Candidate Thesis, specialty 05.11.16. Tambov State Technical University, Tambov. [in Russian]
- Zinovkin, V. V., Kulinich, E. M. (2007). "Optimal management criteria of multi-parameter technological process of aerated concrete preparation". *Problems of Management and Informatics*, no. 6, pp. 73–84. [in Ukrainian]
- Pankratov, V. V., Kotin, D. A., Diab, A. A. (2014). "Direct vector control of asynchronous electric drives using prediction models". *Don's Engineering Gazette*, no. 3, pp. 240–245. [in Ukrainian]
- Tretyak, L. N., Gerasimov, E. M. (2009). "Prospects of changing the principles of automated control over the "perfect beer" manufacturing process", Conference Proceedings "Food industry: state, problems, prospects: materials", Orenburg, pp. 267–271. [in Russian]
- Antonova, G. M., Makarov, V. V. (2013). "Creation of generalized models of dynamic stochastic systems through simulation using identification algorithms". *7th All-Russian Scientific and Practical Conference "Simulation Modeling. Theory and practice"*, Moscow, pp. 6. [in Russian]
- Soldatenko, L. V. (2009). *Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie stroitelno-tekhnicheskikh zadach: uchebnoe posobie* [Introduction to the mathematical modeling of construction and technical tasks]. Orenburg. [in Russian]
- Kublanov, M. S. (2004). *Matematicheskoe modelirovanie. Metodologiya i metody razrabotki matematicheskikh modeley mekhanicheskikh sistem i protsesov: uchebnoe posobie* [Mathematical modeling. Methodology and methods of development of the mathematical models of mechanical systems and processes]. Moscow. [in Russian]

Стаття надійшла 05.01.2021.