

Контроль і регулювання рН в технологічних процесах виробництва цукру

А.П. Ладанюк, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації процесів управління, Національний університет харчових технологій

С.М. Коломієць, генеральний директор ТОВ «Саутком»

А.Ф. Кравчук, науковий співробітник-консультант ТОВ «Саутком»

Розглянуті принципи контролю рН, що виходять з характеристик кривих титрування об'єктів і залежності від температури. Приведені фактори впливу на точність вимірювання і регулювання рН. Показані принципові схеми регулювання рН в апаратах різного типу.

Ключові слова: концентрація іонів, рН середовища, запізнення в вимірюванні рН, принципові схеми регулювання рН.

Рассмотрены принципы контроля рН, исходящие из характеристик кривых титрования объектов и зависимости от температуры. Приведены факторы влияния на точность измерения и регулирования рН. Показаны принципиальные схемы регулирования рН в аппаратах разного типа.

Ключевые слова: концентрация ионов, рН сред, запаздывания при измерении рН, принципиальные схемы регулирования рН.

Вступ

В процесах виробництва цукру рН регламентується практично на всіх технологічних дільницях. Величина рН являється одним з показників, що характеризує якість технологічних процесів. Не дивлячись на те, що технологічні процеси, де необхідно контролювати і регулювати величину рН, мають специфічні особливості, існує можливість виділення загальних положень відносно контролю і регулювання рН. До таких положень ми відносимо статичні залежності величини рН від умов технологічного процесу, залежності від часу при регулюванні рН і типові схеми автоматичного регулювання рН.

Статичні залежності величини рН від умов технологічного процесу

Величина рН середовища залежить від декількох параметрів. Основними з них являються: концентрація іонів водню, температура, концентрація інших іонів, крім водню, тиск в середовищі.

Величина рН по датчику рН вказує не на концентрацію іонів водню, а на їх активність, тобто ефективну концентрацію. Якщо розглядати величину рН як функцію концентрації іонів водню q_H то

$$pH = - \lg q_H \quad (1)$$

З рівняння (1) виходить, що коли ми помиляємось в вимірюванні рН на ± 1 рН, то в визначенні q_H ми помиляємось в 10 раз. З врахуванням коефіцієнта активності іонів a рівняння (1) матиме вигляд:

$$pH = - \lg(a \cdot q_H) \quad (2)$$

Значення коефіцієнта активності залежить від іонної сили розчину. Залежність не лінійна та має різний характер. При цьому коливання коефіцієнта активності можуть досягати 200...300 %. Зневажання коефіцієнтом активності відповідають вимірюванню з похибкою 0,3... 0,5 рН.

Залежність величини рН від кількості того чи іншого реагенту, який вводиться в технологічний процес і веде до зміни хімічного складу середовища, має складний не лінійний характер. Криві титрування для зрівноважених режимів являються статичними характеристиками об'єктів регулювання, в яких рН є показником якості процесу. Кожному технологічному процесу відповідає кри-

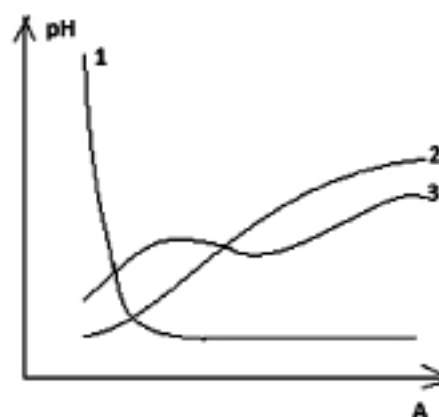


Рис.1. Криві титрування
1,2 - при реакціях нейтралізації;
3 - при реакціях не прямого типу

ТЕХНОЛОГІЇ

ва титрування зі своїми особливостями. На **рис.1** показані криві титрування для деяких типів реакцій.

Як бачимо, не лінійності кривих титрування можуть бути різного типу. Але має зміст знайти деякі загальні закономірності для кривих титрування. Показник буферності середовища може характеризувати криві титрування розчинів сахарози. Цей показник характеризує величину зміни ΔpH розчину при зміні певної величини кількості реагенту ΔA , що вводиться в технологічний процес, тобто

$$\sigma = \Delta pH / \Delta A \quad (3)$$

Чим більший показник буферності σ , тим менша буферність цукрового розчину. Найбільша величина ($\sigma = 15$) характерна для реакцій нейтралізації (на **рис.1** криві 1,2).

Позитивним в таких процесах є незмінність σ в широкому діапазоні зміни рН і навантаження процесу. В реакціях непрямого типу, наприклад осадження, $\sigma < 1$, але залежить від рН. Такі реакції можуть мати гістерезисну криву зміни рН (**рис.1**, крива 3).

Більшість кривих титрування мають не симетричну форму, що створює проблеми при регулюванні рН. Несиметричність кривої титрування вказує на те, що при відхиленні рН від завдання в різні сторони на одну і ту ж величину необхідно вводити різну кількість реагенту.

Криві титрування знижують свою крутизну при наявності слабо основної, або слабо кислотної буферності цукрового розчину. На **рис. 2** показано, як може впливати буферність розчину на криву титрування.

На величину рН крім кількості введених реа-

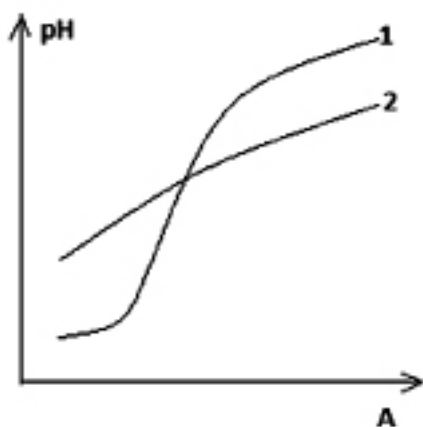


Рис.2. Криві титрування в небуферному (1) і буферному (2) розчинах

гентів, впливає температура цукрового розчину. Один і той же цукровий розчин має різну величину рН при різній температурі. Починаючи з води, ми маємо:

$$q_H \cdot q_{OH} = K_e \quad (4)$$

З формул (1) і (4) отримуємо:

$$pH = pK_e - pOH \quad (5)$$

де: q_H – концентрація іонів водню; q_{OH} – концентрація гідроксильних іонів; K_e – іонний добуток води; p – індекс p означає від'ємний логарифм концентрації відповідного іона.

З ростом температури pK_e зменшується, відповідно зменшується і pH . Так при температурі $0^\circ C$ $pK_e = 14,89$, а при $120^\circ C$ $pK_e = 11,90$. Для деяких цукрових розчинів залежність pH від температури дана в статтях [1].

Таким чином, при виборі місця для встановлення датчика pH потрібно враховувати діапазон можливої зміни температури середовища.

Для технологічних процесів цукрової промисловості вплив тиску на величину рН незначний, тому в системах контролю і регулювання може не враховуватись.

Статичні характеристики (криві титрування) відносно кількості введеного реагенту або інших показників, що впливають на величину рН при виробництві цукру не мають оптимальних типових рішень у відповідності до реакцій в технологічних процесах, не дивлячись на те, що вони визначають вимоги до регламентів та систем автоматичного регулювання.

В практичному рішенні задач автоматичного регулювання величини рН ми можемо виділити два типи задач: стабілізація заданої величини концентрації іонів водню з найбільшою точністю і стабілізація значення лужності чи кислотності середовища, про відхилення яких від завдання можна судити по зміні величини рН середовища. Обидва типи задач мають місце в технологічних процесах цукрової промисловості. В цих процесах величина показника буферності σ являється основним критерієм при виборі закону регулювання pH .

На основі практичних результатів можливо виділити такі принципи:

- при $\sigma \leq 1$ можливе використання статичного регулятора;
- при $\sigma = 3 \dots 4$ необхідний астатичний регулятор з постійною, або зі змінною швидкістю регулюючої дії;
- при $\sigma \geq 5$ необхідне введення в закон регулювання похідної складової.

В усіх випадках, коли показник буферності більше одиниці досягти результату можливо шляхом каскадного принципу побудови системи регулювання та впливу на швидкість реакцій.

В реальних технологічних процесах, наприклад при попередній дефекації дифузійного соку, Л.І.Панкін ефективно використовував як зниження концентрації реагентів при нарощуванні лужності соку так і збільшення буферності соку, що забезпечувало підвищену точність контролю і регулювання рН соку на виході апарата. Важливу

роль тут має також відповідність хімічним реакціям об'єму секцій попереднього дефекатора.

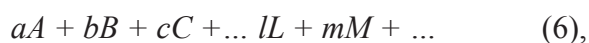
Вплив залежностей часу на регулювання рН

Крім нелінійності статичних характеристик об'єктів, виникають проблеми при регулюванні рН, що виходять із залежностей технологічних процесів від часу. Різні часові властивості об'єктів автоматичного регулювання і засобів автоматизації мають різну природу і по-різному впливають на процес регулювання рН. Проявляються вони у вигляді часу запізнення, яке поділяється на два типи: чисте запізнення і інерційне запізнення. Чисте запізнення затримує в часі початок тієї чи іншої реакції. Для цукрової промисловості характерні конструкції апаратів у вигляді ємностей з переливом соку. В таких апаратах ступінчата зміна потоку на вході практично відповідає ступінчатій зміні потоку на виході, але концентрація іонів водню чи рН розчину зміниться через певний час. Така властивість об'єкту називається інерцією відносно даного параметру. Причиною інерції можуть бути: конструктивні особливості апаратів, кінетика реакцій, властивості датчика для вимірювання рН. Ми можемо виділити дві причини виникнення запізнень: властивості технологічного процесу і властивості датчика для вимірювання рН.

Запізнення пов'язані з властивостями технологічного процесу

Причинами виникнення таких запізнень являються: кінетика хімічних реакцій і динаміка процесів, тобто співвідношення витрат технологічних розчинів і об'ємів апаратів, через які проходять ці розчини. До цього існують також і причини пов'язані з виникненням градієнту концентрацій і температури в апараті. Такі причини можуть підвищувати або знижувати ефект дії основних причин. Взагалі, кожен хімічний процес має власну кінетику реакцій. Приклад швидкої реакції – реакція нейтралізації кислот лугами. Приклад не швидкої реакції – реакції утворення осадів, швидкість яких залежить від концентрації реагентів, температури, тиску і не залежить від масштабу проведення цих реакцій. В таких випадках мають місце обернені реакції з однаковою чи не однаковою швидкістю реакцій. Ми маємо процеси, в яких зразу проходить декілька реакцій з різною швидкістю. Умовою подібних реакцій є ідеальне перемішування і стабільність умов для проведення реакцій.

Нагадаємо, що з точки зору кінетики прості хімічні реакції розділяються на реакції від нуля до третього порядку. Порядок реакцій дорівнює сумі показників степені при членах рівняння швидкості зміни концентрації однієї з речовин. В загальному вигляді просту реакцію можна записати так:



де: $a, b, c, \dots, l, \dots, m, \dots$ - стехіометричні кількості молей, що взаємодіють;

$A, B, C, \dots, L, \dots, M, \dots$ - речовини, отримані в результаті реакцій.

В реакціях першого порядку відносно речовини A сума показників

$$a + b + c = 1 \quad (7)$$

Для умов виконання процесу в постійному об'ємі при стабільній температурі диференціальне рівняння швидкості зміни концентрації речовини A має вигляд:

$$dq_A / dt = -k \cdot q_A^a \cdot q_B^b \cdot q_C^c \quad (8),$$

де: q_A, q_B, q_C - концентрації реагуючих речовин A, B, C ;

k – константа швидкості даної реакції.

Знак мінус означає зниження концентрації. В деяких випадках a, b, c співпадають з коефіцієнтами a, b, c . Якщо $a = 1$, то інші показники дорівнюють нулю.

В реакції другого порядку $a + b + c = 2$ (9)

З рівняння (9) отримуємо: $a = 2$, або $a = 1$ і $b = 1$, відповідно $c = 0$

Для реакцій третього порядку при однакових концентраціях реагентів

$$a = b = c = 1 \quad (10)$$

У безперервних технологічних процесах запізнення залежать не тільки від кінетики хімічних реакцій, а і від динаміки самого апарата. Динамічні властивості апаратів характеризуються сталою часу апарата. $\theta = V / Q$, де V - робочий об'єм апарата, а Q - сумарна витрата реагентів на вході чи виході.

Диференціальне рівняння матеріального балансу відносно концентрації речовини A з врахуванням кінетики і динаміки апарата запишемо у вигляді

$$\theta dq_{At} = q_{A0} dt - q_{At} (1 + k \theta) dt \quad (11)$$

де: q_{At} - зміна концентрації речовини A на виході апарата в момент часу t ;

q_{A0} - ступінчата зміна концентрації речовини A на вході в апарат;

θ - стала часу апарата.

Для апарата ідеального змішування, в якому проходить реакція першого порядку, передаточна функція, що виходить з формули (11), має вигляд:

$$W(p) = q_{At} / q_{A0} = 1 / (\theta + k \theta + 1) = k / (T_1 p + 1) \quad (12)$$

Статичний коефіцієнт підсилення K і стала часу T_1 дорівнюють:

$$K = 1 / (k \theta + 1); T_1 = \theta / (1 + K \theta) \quad (13)$$

Загальне рішення диференціального рівняння (11) може бути у вигляді:

$$q_{At} = e^{-\int (k+1/\theta) dt} \cdot [C/V + \int q_{Ao} / \theta \cdot e^{\int (k+1/\theta) dt} \cdot dt] \quad (14)$$

де: C - стала інтегрування.

З врахуванням кінетики реакції при $k = const$; $q_{Ao} = const$; $\theta = const$ і рівності нулю початкової концентрації в апараті з (14) отримуємо:

$$q_{At} = q_{Ao} / (k \theta + 1) \cdot [1 - e^{-(k+1/\theta)t}] \quad (15)$$

Якщо виробничий процес виконаний у вигляді ряду послідовних апаратів, при чому вихід попереднього апарату є єдиним входом наступного, то передаточна функція любого апарату процесу може мати вигляд:

$$W_n(p) = q_{Ant} / q_{Ao} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \dots \cdot k_n / [(T_1 p + 1) \cdot (T_2 p + 1) \cdot \dots \cdot (T_n p + 1)] \quad (16),$$

де: $W_n(p)$ – передаточна функція технологічного процесу, який виконується в n апаратах чи секціях; q_{Ant} – концентрація речовини A на виході з n -го апарату чи секції;

k_n - константа швидкості реакції в n -ому апараті чи секції;

Статичний коефіцієнт передачі буде мати вигляд:

$$k_{1-n} = q_{An} / q_{Ao} = [1 / (k_1 \theta_1 + 1)] \cdot [1 / (k_2 \theta_2 + 1)] \cdot \dots \cdot [1 / (k_n \theta_n + 1)] \quad (17)$$

При умові, що $k_1 = k_2 = k_3 = \dots = k_n = k$ і $\theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_n = \theta$ для зміни поточної концентрації розчину чи соку на виході з n -го апарату чи секції отримуємо:

$$q_{Ant} = q_{Ao} / (k \theta + 1)^n \cdot \{1 - [1 + (k \theta + 1) / 1! \cdot (t / \theta) + [(k \theta + 1)^2 / 2!] \cdot (t / \theta)^2 + \dots + [(k \theta + 1)^{(n-1)} / (n-1)!] \cdot (t / \theta)^{(n-1)}] \cdot e^{-(k+1/\theta)t}\} \quad (18)$$

Для таких реакцій головною умовою являються:

- активне перемішування реагентів;
- стабільність об'єму розчинів (соку) в апаратах;
- врахування не лінійного зв'язку між концентрацією іонів водню і рН;

Для визначення мінімального часу запізнення можна скористатись формулою (15).

Практично зміна сталої часу процесу θ з технологічної точки зору має місце в такому апараті, як попередній дефекатор, в якому для нарощування лужності використовується декілька компонентів. Стабілізуючий вплив запізнення до досягнення рівноваги в процесі підсилюється при збільшенні сталої часу об'єкта. Є умови, при яких реакції повинні завершуватись не до максимального рівня, а до заданого. В таких випадках збільшувати сталу часу об'єкта не допускається. Нагадування про регулювання сталої часу об'єкта зв'язано не тільки

з оптимізацією параметрів регулювання, але і з економічною доцільністю конструкції апаратів. Взагалі мати можливість змінювати сталу часу об'єкта корисно при роботі на несиметричній частині кривої титрування. Коли необхідно регулювати процес як з технологічної точки зору, так і з точки зору задач автоматизації, то такі фактори впливу як запізнення досягнення рівноваги, стала часу об'єкта і швидкість реакцій повинні враховуватись в комплексі.

До супутніх впливів на процес реакцій в апаратах ми відносимо наявність в зоні реакцій градієнтів концентрацій і температури. Величина впливу градієнтів на основну реакцію залежить перш за все від конструктивних рішень апаратів. Ми повинні мати на увазі що при різній питомій вазі реагентів необхідно важчий реагент (вапняне молоко) вводити в апарат зверху, а легкий реагент (CO_2) – знизу. При цьому реагент повинен вводитись з більшим розрахованим тиском, ніж тиск в зоні введення реагенту. Крім того бажано добиватись симетричності введення реагентів. З практики вважається, що розчин в зоні реакції повинен мати «два оберти» до виходу з апарату. Для цього проектується відповідна схема і швидкість циркуляції в зоні реакції. Коли апарати мають велике значення θ , то створюють зону в апараті, де зміна концентрації проходить швидше і там встановлюють датчик, отримуючи упереджені значення рН. Таким чином ми отримуємо фізичну модель процесу з малим значенням сталої часу.

Запізнення, що залежать від властивостей датчика рН

Крім раніше названих запізньень, мають місце запізнення, що виникають при вимірюванні рН. Основні види запізньень що виникають при вимірюванні рН скляним електродом [2]:

- запізнення електричного вимірювання;
- запізнення перерозподілу заряду на скляній мембрані;
- запізнення масо-передачі між розчином і поверхнею електроду.

Запізнення електричного вимірювання обумовлене тим, що, наприклад, при ступінчатій зміні потенціалу скляного електроду, воно надходить в вимірювальну комірку не зразу. На шляху до комірки є в певній формі RC-фільтр, який «розтягує» зміну потенціалу в часі. Опір R визначається опором скляної мембрани, а ємність – ємністю кабелю і входу вимірювальної комірки. Стала часу такого фільтру вимірюється долями секунди. Але на сталу часу має сильний вплив температура процесу. Для прикладу наведемо такі дані:

Температура, °C	60	30	18	7
Опір електроду, МОМ	1	15	50	161

З дослідів визначено, що потенціал на електроді встановлюється по експоненціальному закону. Стала часу вимірювання біля 30 мсек. Стала часу з врахуванням перерозподілу заряду і масо-

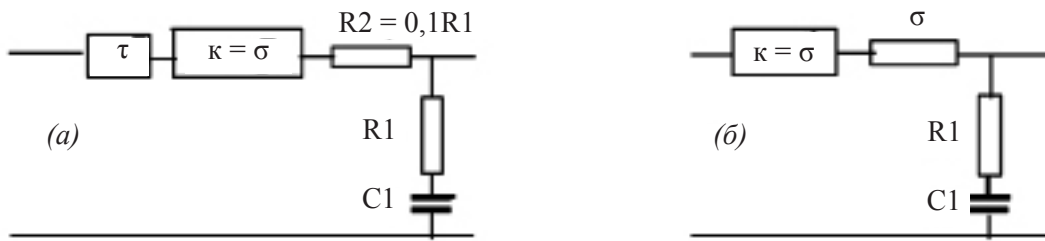


Рис.3. Модель скляного електроду при малому σ і $pH \neq 7$ (а) і при великих σ і $pH=7$ (б)

передачі – до 450 мсек. Слід зауважити, що доки не досягнута рівновага між градієнтом концентрації вільних іонів і градієнтом електричного потенціалу, значення рН за вимірюванням буде менше теоретичного. Крім того скло має значну буферність, стала часу якої доходить до 15 сек.

Запізнення масо-передачі між розчином (соком) і поверхнею електроду виходить з того, що навколо електроду має місце ламінарний прошарок, який демпфірує в часі зміни складу розчину (соку). Практично слід враховувати для скляного електроду два види запізнень: запізнення перерозподілу заряду на скляній мембрані електроду і запізнення масообміну між розчином (соком) і поверхнею електроду. Стала часу запізнення перерозподілу заряду на скляній мембрані досягає 15 сек, а стала часу масо-передачі між розчином (соком) і електродом максимальна при $pH=7$ і при великих значеннях буферності об'єктів. Величина запізнення досягає 4 хвилин, а в деяких випадках – до 15 хвилин.

Електрична модель скляного електроду при малій буферності σ і $pH \neq 7$ показана на рис. 3 а.

При великій буферності σ і $pH = 7$ електрична модель скляного електроду показана на рис. 3 б.

Електрична модель скляного електроду що є імітацією запізнення розподілу заряду показана на рис. 4. Величина R_2 по схемі рис. 3 б визначається по формулі:

$$R_2 = V \cdot \sigma / \{[H^+] + \alpha [OH^-]\} \quad (19),$$

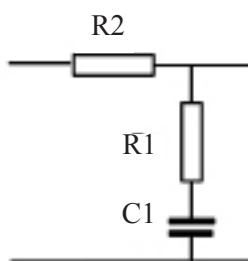


Рис.4. Модель запізнення від перерозподілу заряду

де: V – стала, що залежить від типу електроду; $[H^+]$ і $[OH^-]$ – відповідно нормальні концентрації водневих і гідроксильних іонів;

α – відношення виміряного значення відхилення концентрації іонів водню до розрахункового значення.

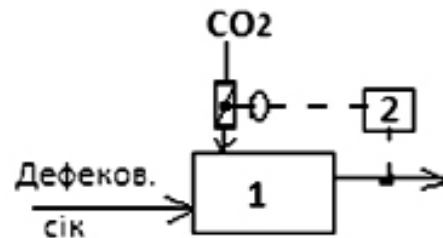


Рис. 5. Схема регулювання рН з внутрішньою ємністю: 1 - сатуратор, 2 - регулятор рН

Типові схеми автоматичного регулювання рН

Практичним прикладом реалізації такої схеми є регулювання рН на виході сатуратора. Для цього на виході сатуратора міряють рН соку і в залежності від відхилення рН регулюють витрату сатураційного газу.

Використання властивостей згладжування в об'єкті для підвищення точності регулювання рН має обмежені границі, тому якості регулювання рН можливо досягти тільки за рахунок підвищення вимог до засобів автоматизації, а не за рахунок згладжування збуджень ємністю сатуратора.

При великих збудженнях за даною схемою важко досягти якості регулювання рН.

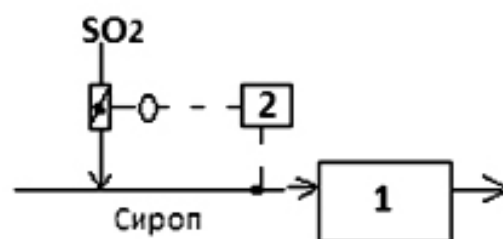


Рис. 6. Схема регулювання рН із зовнішньою ємністю: 1 - збірник сиропу, 2- регулятор рН

За такою схемою можливо лише грубе регулювання рН; коливання величини рН згладжуються в ємності. Демпфіруючі властивості ємності можуть підсилюватись необмежено. Рационально використовувати таку схему для реакцій нейтралізації з крутою характеристикою кривої титрування. В даному випадку можливо не враховувати технологічної вимоги що до часу реакції.

Прикладом використання такої схеми може бути реакція нейтралізації в збірнику сиропу шляхом введення SO_2 . Можливість зміни сталої часу збірника соку дозволяє мати якісне регулюван-

ТЕХНОЛОГІЇ

ня рН і знебарвлення сиропу. В даному випадку ефективність має місце при оптимізації величини ємності і вимог до системи регулювання. Для реалізації такої схеми необхідно:

- елементи системи регулювання повинні бути швидкодіючими;
- час запізнення повинно бути мінімальним;
- для ємності зі сталою часу $\theta = 5$ хвилин, точність дорівнює 0,1 рН.

Дану схему не слід використовувати, коли проходять незворотні реакції в апаратах. Крім того, за даною схемою вихід процесу не регулюється, що не бажано при не швидких реакціях.

Ця схема ліквідує недоліки вище названих схем.

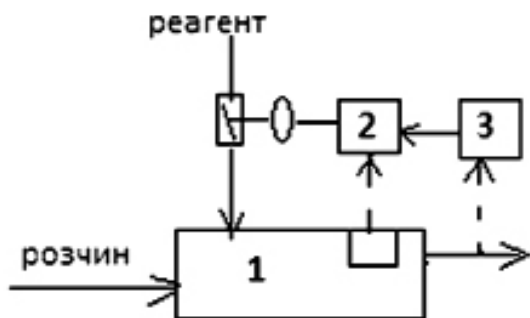


Рис. 7. Схема каскадного регулювання рН: 1 - апарат, 2 - регулятор рН, 3 - регулятор корегуючий.

Це досягається шляхом додаткового регулятора рН на виході для випадку із зовнішньою ємністю, або на вході для випадку внутрішньої ємності. Для другого випадку необхідно перед апаратом встановити змішувач, на виході з якого буде перший каскад регулювання рН. Слід відзначити, що схеми мають різну швидкість дії: з каскадом на вході – швидкодіюча система, а з каскадом регуляторів на виході – в залежності від сталої часу апарату.

Більшість хімічних процесів проектується при незмінній величині сталої часу θ апаратів, або при незначних коливаннях сталої часу. Це визвано тим, що об'єм для проведення реакцій завжди стабільний, а коливання витрат реагентів в результаті збуджень чи регулюючих дій не великі. Причини необхідності введення регулювання сталої часу апаратів різні. Так, наприклад, коли швидкість реакції залежить від фіксованої (регламент-

ної) величини рН, то для збереження номінального значення коефіцієнта передачі апарата відповідно до формули (13) повинна бути змінена величина θ . Коли робоча область рН знаходиться на нелінійній частині кривої титрування, то при зміні завдання рН потрібно змінювати параметри налагодження регулятора в зв'язку зі зміною коефіцієнта підсилення об'єкту регулювання. Змінювати сталу часу апарата раціонально шляхом зміни об'єму, в якому проходять реакції. У випадку об'єму реакції як демпфіруючого елемента, знаходять зв'язок величини θ з величиною збудження. Дія на зміну θ шляхом зміни витрат реагентів не раціональна тому, що це веде до зміни продуктивності апарату. Схеми регулювання рН з додатковим регулюванням θ не рекомендуються для процесів, що мають великі значення σ і значну зміну навантаження для апаратів.

При реакціях нейтралізації сильних реаген-

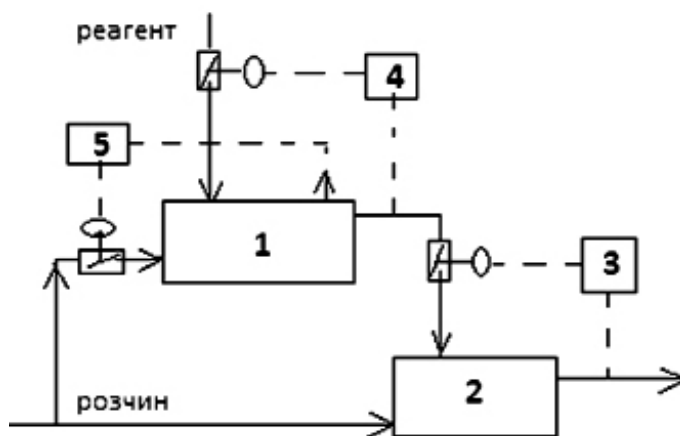


Рис. 9. Схема регулювання рН з роз'єднанням потоків 1,2 - апарати, 3,4 - регулятори рН, 5 - регулятор рівня.

тів (кислотою аміачних конденсатів для живлення дифузійних апаратів) регулювання рН ускладнюється з ряду причин. Однією з причин є великі об'єми апаратів. В таких випадках основний потік розчину розділяють на дві частини: одна частина розчину направляється в апарат, в який подається вся кількість нейтралізуючого компоненту з допомогою якого регулюють рН в цьому апараті. Отриманий в апараті продукт стає нейтралізу-

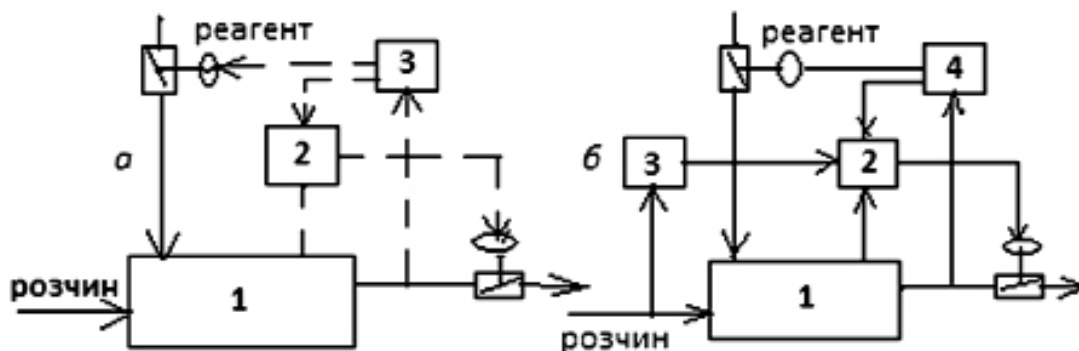


Рис.8. Схема регулювання рН з додатковим регулюванням сталої часу апарата: а - дією регулювання рівня по сигналу з виходу апарата; б - по сигналу із входу, 1 - апарат, 2- регулятор рівня, 3,4 - регулятори рН

ючим реагентом для другої частини потоку, що направляється в другий апарат. Величина рН на виході з другого апарату регулюється потоком із першого апарату. В першому апараті необхідно регулювати рівень шляхом дії на приток в перший апарат. Така схема використовується тільки для зворотних реакцій, тому що в другому реакторі реакція проходить в зворотному напрямку.

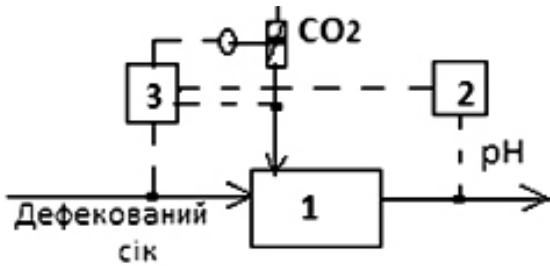


Рис.10. Схема САР зі стабілізацією вхідних параметрів. 1 - сатуратор, 2 - регулятор рН, 3 - регулятор співвідношення витрат соку і газу

В розглянутих схемах використовується принцип регулювання по відхиленню рН від завдання при безпосередній дії на регулюючий орган. Часто такий принцип не дає задовільних результатів. Це пов'язано з тим, що збуджень для рН буває декілька, які компенсувати без значного перерегулювання не можливо. Тому в схемах регулювання рН приділяють увагу на стабілізацію вхідних параметрів. Частіше використовують принцип автоматичної стабілізації параметрів. А завдання на стабілізацію системи автоматичного регулювання отримують від систем регулювання рН. При цьому до таких систем регулювання нові вимоги відсутні. Прикладом таких схем є регулювання процесів сатурації соку. Для зниження коливань рН такі схеми додатково коригуються по рН на виході, або по відхиленню від завдання рН на виході.

З точки зору досягнення оптимальних показників регулювання рН є ведення процесів у двох чи більше послідовно з'єднаних апаратах. Такі схеми використовуються в самих важких умовах: при великих значеннях σ , при широкому діапазоні збуджень, при необхідності мати невеликі сталі часу апаратів, при не швидких реакціях і т.п. Число ре-

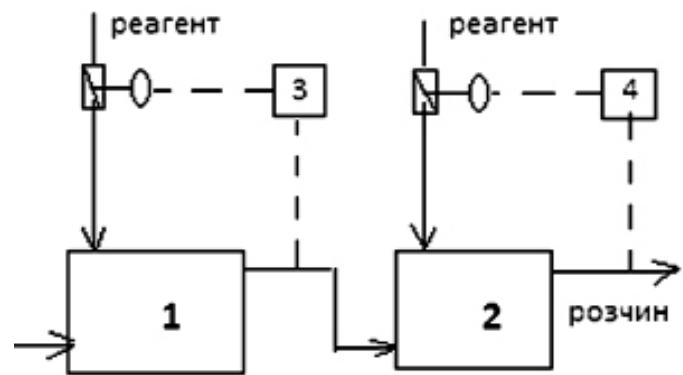


Рис.11. Схема регулювання рН в каскаді апаратів: 1,2 - апарати. 3,4 - регулятори рН

акторів визначають, задавши k і θ . Ступінчате збудження після першого апарату буде перетворене в експоненціальне, яке після цього згладжується до незначного коливання. Можливо також ввести транспортне запізнення між апаратами, яке дорівнює часу реакції. Така схема дозволяє мати високу точність регулювання рН.

Висновки

1. Умови технологічного процесу залежать від типу реакцій, що проходять в апаратах, властивості яких розкриваються характеристиками титрування розчинів при регулюванні процесу по параметру рН.

2. Визначені основні види запізньєнь що залежать від технологічних умов і запізньєнь, що залежать від засобу вимірювання рН, тобто скляних електродів.

3. Наведені схеми регулювання рН з визначенням їх переваг і недоліків, які можуть використовуватись в системах регулювання рН в технології виробництва цукру.

Список використаних джерел

1. Кравчук А.Ф. Проблеми контролю рН в технології виробництва цукру. / Цукор України – 2014. - № 8. – С – 14-20; № 9. - С 15-18.
2. Швабе К. Основы техники измерения рН. / М.: - Госхимиздат. - 1960. – 230с.

ЦІКАВІ НОВИНИ

150 років від дня народження Євгена Пилиповича Вотчала

Євген Пилипович Вотчал (26 жовтня 1864, Боршна - 1 квітня 1937, Київ) - український ботанік, фізіолог рослин, академік АН УРСР. Працював у Москві під керівництвом Тімірязєва. Один з організаторів Наукового інституту селекції (пізніше - Всесоюзний науково-дослідний інститут цукрових буряків). Засновник української школи фізіологів рослин.

Основні його праці з руху води в деревах, електрофізіології рослин, фізіології цукрових буряків. Розробив оригінальну методику взяття проб патоки в природних умовах. Вивчав асиміляцію CO_2 , анатомічні показники і транспірацію у цукрових буряків. Створив оригінальну теорію виробничих властивостей цукрових буряків. Один з основоположників фізіології сільськогосподарських рослин: заклав основи польової фізіології, теорії урожайності і посухостійкості.