

УДК 621.1.016

С. Й. Ткаченко, д-р техн. наук, проф.;

Н. Д. Степанова, канд. техн. наук;

О. Ю. Бочкова, студ.

БАГАТОКОМПОНЕНТНИЙ САМОЗАКИПАЮЧИЙ ПОТІК В ЕЛЕМЕНТАХ ВИПАРНИКА МИТТЄВОГО СКИПАННЯ

Проаналізовано особливості багатокомпонентного самозакипаючого потоку водного розчину гліцерину в елементах випарника миттєвого скипання. Досліджено гідродинамічні характеристики та процеси. Висвітлено результати числового моделювання багатокомпонентного потоку і зіставлено їх із однокомпонентним потоком.

Вступ

Наразі встановлено, що гліцерин має багатофункціональне застосування у більш ніж 2000 видах виробництв, у науці, техніці, медицині і побуті. Існують синтетичні методи отримання гліцерину, серед яких найбільшої популярності отримав так званий хлорний метод. У промисловості гліцерин отримують шляхом омилення харчових жирів. Його випарювання доцільно проводити у вакуумі у випарниках миттєвого скипання [1], оскільки температура кипіння гліцерину різко знижується зі зниженням тиску, а разом з тим, відбувається його розкладання під час перегонки. Тому наразі зросла необхідність дослідження на сучасному рівні робочих процесів у випарниках миттєвого скипання. Ці установки характеризуються високою економічністю, компактністю та надійністю. Переміщення гліцерину — це процес із суттєвою затратою електричної енергії, тому дослідження таких систем з метою їх оптимізації є **актуальним**.

Мета роботи — підвищення ефективності роботи випарників миттєвого скипання за рахунок коректнішого врахування закономірностей теплогідродинамічних процесів в їх елементах.

Моделювання багатокомпонентного самозакипаючого потоку у елементах випарника миттєвого скипання

Процес концентрування гліцерину із водного розчину проводять у вакуумі у апаратах миттєвого скипання. Утворений в результаті концентрування гліцерин має високу в'язкість, тому переміщення його здійснюється за допомогою насоса [2].

У апаратах миттєвого скипання відбувається перетворення багатокомпонентного розчину на багатокомпонентний багатофазний потік. При цьому внаслідок різкого падіння тиску частина гліцерину скипає і також скипає вода, що містилась у розчині, а безводний гліцерин потрапляє у нижню частину апарату. Утворена суміш парів безводного гліцерину і води надходить до конденсатора (рис. 1).

Важливим елементом схеми установки концентрування гліцерину є кожухотрубчастий підігрівник, що забезпечує необхідну температуру водного розчину гліцерину перед камерою миттєвого скипання. Теплоносієм є суха насичена пара з температурою 195 °С, що надходить в міжтрубний простір та підігріває водний розчин гліцерину від 136 до 170 °С. Була визначена площа теплообміну ТА, що становить 18 м², а також теплова потужність теплообмінника — 647 кВт.

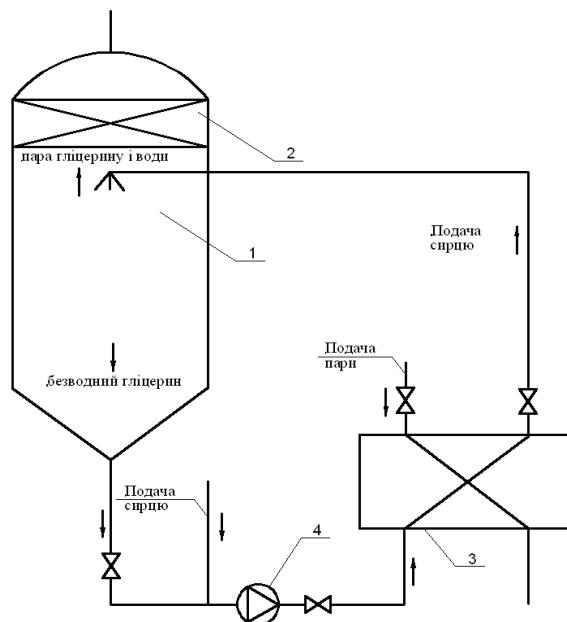


Рис. 1. Схема установки для одержання гліцерину-дистилата: 1 — камера миттєвого скипання; 2 — конденсатор; 3 — головний кожухотрубчастий теплообмінник; 4 — насос

Дослідження систем із двофазними потоками виконувались різними авторами. Математичні моделі (ММ) таких процесів достатньо складні навіть для потоків невязких рідин.

Використання розроблених методик розрахунку ускладнюється тим, що теплофізичні властивості водного розчину гліцерину змінюються протягом доби декілька разів. Для визначення властивостей авторами [3] використано експериментально-розрахунковий метод, за допомогою якого встановлено, що досліджувана речовина має властивості 90 % водного розчину гліцерину.

Канал у цій теплотехнологічній схемі вважається коротким і працює в області невисокого тиску. За таких умов, згідно із [4], в цьому каналі можливе утворення критичних течій.

В процесі формування ММ взяті такі припущення щодо витікання самозакипаючої рідини: рідина приймається ньютонівською і однорідною; температура пари вважається рівною температурі насичення за відповідного тиску потоку; тиски водного розчину гліцерину і пари по обидві сторони міжфазової поверхні розділу однакові (модель баротропна). Теплофізичні властивості обох фаз встановлюються за довідковими даними, окрім властивостей водного розчину гліцерину. Задача розв'язувалась з урахуванням фазового перетворення гліцерин—пара, вода—пара. Основою розв'язання задачі є фундаментальний закон збереження маси і повної енергії для двофазного потоку.

На цьому етапі дослідження, незважаючи на те, що температура водного розчину гліцерину вища температури навколишнього середовища, для спрощення ММ теплообмін з навколишнім повітрям не враховувався.

Оскільки водний розчин гліцерину складається із двох компонентів, під час побудови ММ була проведена оцінка леткості компонентів суміші, що є визначальною величиною у процесі випарювання. Під час оцінювання прийнято, що водний розчин гліцерину є ідеальним розчином і відповідає закону Рауля. Встановлено, що відносна леткість складає $\alpha = 319$, а це дає можливість стверджувати, що масова частка пари гліцерину у суміші парів після випарювання за прийнятих початкових умов складе 99,998 %.

Набір закономірностей, що включає у себе ММ, залежить від початкових параметрів, які визначають режим течії та умови протікання процесів у каналі. ММ включає у себе рівняння для визначення втрат тиску на тертя, в місцевих опорах, на прискорення та нівелірну складову. Доповнивши вищенаведені рівняння залежностями для визначення теплофізичних властивостей водного розчину гліцерину, безводного гліцерину, парів води і гліцерину [5], отримаємо ММ руху самозакипаючої рідини у каналі сталого перерізу.

Різниця тисків між початковим і кінцевим перерізом

$$\Delta P = P_0 - P_1. \quad (1)$$

Сумарні втрати тиску, що складаються із вагових втрат, втрат в місцевих опорах, прискорення та на тертя, відповідно,

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ваг}} + \Delta P_{\text{мо}} + \Delta P_{\text{пр}} + \Delta P_{\text{тр}}; \quad (2)$$

$$\Delta P_{\text{ваг}} = \int_0^1 \rho_H \cdot g \cdot dZ; \quad (3)$$

$$\Delta P_{\text{мо}} = \zeta \frac{\rho_{\text{гль}} w_{\text{гль}}^2}{2} \left[1 + \bar{x} \left(\frac{\rho_{\text{гл}}}{\rho_{\text{пгл}}} - 1 \right) \right]; \quad (4)$$

$$\Delta P_{\text{пр}} = \left\{ \left(\frac{x_2^3}{\phi_2^2 \rho_{\text{пгл}}^2} + \frac{(1-x_2)^3}{(1-\phi_2)^2 (\rho_{\text{гль}})^2} \right) - \left(\frac{x_1^3}{\phi_1^2 \rho_{\text{пгл}}^2} + \frac{(1-x_1)^3}{(1-\phi_1)^2 \rho_{\text{гль}}^2} \right) \right\} \frac{(\rho_{\text{гль}} w_{\text{гль}})^2}{2} \rho_H; \quad (5)$$

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho_{\text{гль}} w_{\text{гль}}^2}{2} \left[1 + \bar{\Psi} \cdot \bar{x} \left(\frac{\rho_{\text{гль}}}{\rho''} - 1 \right) \right], \quad (6)$$

де ρ_H — витратна густина двофазної гліцеринової суміші; ζ — коефіцієнт місцевого опору; $w_{\text{гль}}$ — витратна швидкість гліцеринової води; $\bar{x}$ — масовий паровміст за середнього тиску у місцевому опорі; ρ — густина; x_2 — витратний масовий паровміст на виході із сопла; ϕ — дійсний об'ємний паровміст; λ — коефіцієнт тертя; l — довжина каналу; d — діаметр каналу;

$\bar{\Psi}$ — поправочний коефіцієнт.

Індекси: глв — водний розчин гліцерину; пгл — пара гліцерину; гл — рідкий безводний гліцерин за розрахункової температури; в — вода; " — водяна пара; 1 — початок каналу; 2 — вихід з каналу.

Оскільки на вході в камеру миттєвого скипання зосереджений найбільший опір системи і переважають втрати тиску у місцевих опорах, то згідно з [4] вважаємо потік гомогенним, тому $\bar{\Psi} \approx 1$, а $\varphi_2 \approx \beta_2$, де β_2 — витратний об'ємний паровміст на виході із сопла.

Аналіз результатів математичного моделювання

Користуючись наведеною вище ММ, створено програму розрахунку пропускної здатності схеми для одержання гліцерину-дистилята і реалізовано в середовищі Matchcad. Початковими даними для числового експерименту взято: початковий тиск 3 бар, тиск у апараті миттєвого скипання 3 мбар, температура водного розчину гліцерину після теплообмінника 140...190 °С. Користуючись створеною програмою розрахунку, проаналізовано також пропускна здатність цієї ж системи за умови руху в ній води з відповідними температурою та тиском. Результати моделювання показані на рис. 2.

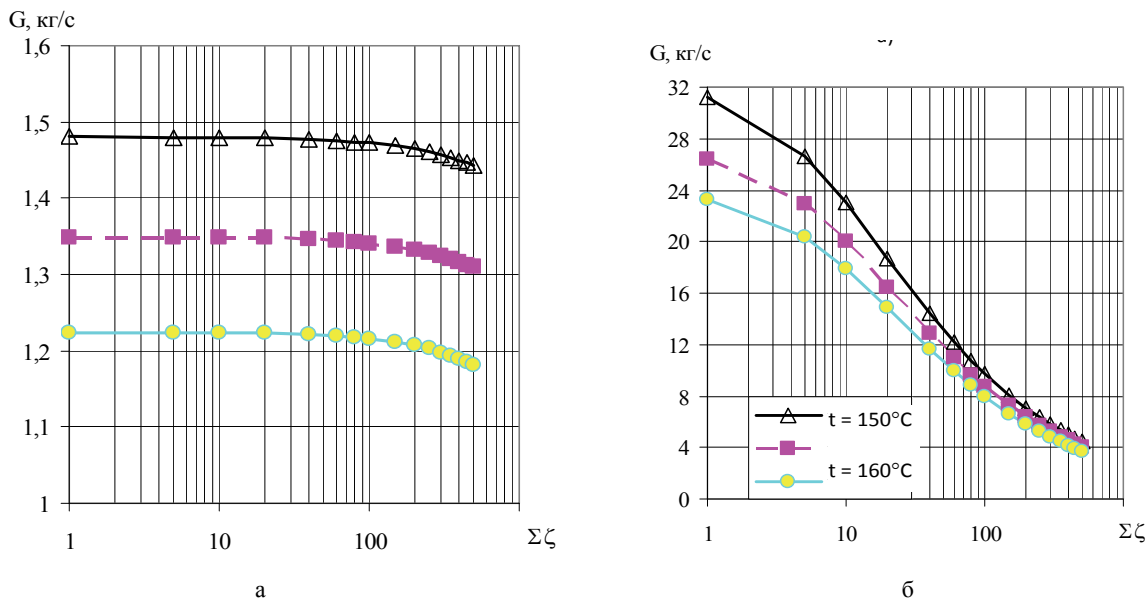


Рис. 2. Графіки залежності пропускної здатності системи від коефіцієнта її опору:

а — під час руху у системі води в стані насичення; б — під час руху в системі водного розчину гліцерину

Як видно із рис. 2б, пропускна здатність системи підвищується зі зменшенням коефіцієнта опору, а за сталого коефіцієнта опору — зі зменшенням температури водного розчину гліцерину. Останній факт можна пояснити тим, що зі збільшенням температури водного розчину гліцерину за сталого тиску у випарнику збільшується кількість утвореної на виході із форсунок пари, тобто до збільшення швидкості утвореного самозакипаючого потоку. Це приводить до запирання потоку і обмеження пропускної здатності системи в цілому.

Взявши за основу ММ дренажного каналу [4], оцінено пропускну здатність вищенаведеної системи за умови протікання у ній води, що знаходиться у стані насичення у початковій точці системи. Числовий експеримент проводився для аналогічних температур і геометричних характеристик системи (див. рис. 2а).

Як впливає із рис. 2а пропускна здатність системи мало залежить від коефіцієнта її опору, тобто збільшується зі зменшенням $\Sigma\zeta$ в межах 2,6...3,6 % (більше число відповідає меншій температурі). Якщо ж розглянути цю тенденцію в системі з водним розчином гліцерину, то зміна пропускної здатності складає 524...592 %. Це можна пояснити тим, що водний розчин гліцерину є висококиплячою рідиною і тому пропускна здатність системи значно вища, ніж з водою, і опір системи має значно більший вплив.

Проведено аналіз впливу протитиску у камері миттєвого скипання за умови $P_{\text{поч}} = 3$ бар, $\sum \zeta = 20$, вміст води 0,5 %, який показаний на рис. 3а. З наведеного графіка видно, що пропускна здатність зростає зі збільшенням протитиску і зменшенням температури водо-гліцеролевої суміші, що передусім пов'язано зі зменшенням кількості випареної пари гліцерину, оскільки зі збільшенням протитиску зростає і температура кипіння гліцерину.

Як показало дослідження впливу вмісту води у суміші на пропускну здатність ($P_{\text{поч}} = 3$ бар, тиск у камері миттєвого скипання 3 мбар, $\sum \zeta = 20$), остання зменшується зі ростом водовмісту у суміші і температури суміші (див. рис. 3б). Тут проявляється вплив низькокиплячої води, а саме: зі збільшенням вмісту води збільшується і кількість утвореної у камері скипання водяної пари, що і обмежує пропускну здатність системи.

Досліджено також вплив температури суміші на пропускну здатність за умови сталого протитиску у камері миттєвого скипання 3 мбар, $\sum \zeta = 20$, вміст води 0,5 %. Встановлено, що із падінням температури і ростом початкового тиску пропускна здатність росте (див. рис. 3в), оскільки зменшується кількість утвореної пари гліцерину.

Якщо розглянути контур в цілому, то аналізуючи результати, отримані на рис. 2, 3 і доповнивши вищенаведену математичну модель рівняннями матеріальних та теплових балансів контуру, можна визначити продуктивність випарника по безводному гліцерину, потужність теплообмінника та насоса, а також геометрію контуру і опір форсунки для розпилення водного розчину гліцерину.

Отже, для збільшення пропускної здатності системи необхідно: понижувати її опір (це переважно стосується опору форсунок), але при цьому забезпечувати необхідне розпилення розчину гліцерину; зменшувати температуру суміші, що приведе і до зменшення кількості пари гліцерину; зменшувати вміст води у суміші; підвищувати тиск на початку системи, а, отже, і збільшувати енергоємність процесу; збільшувати протитиск, але це приведе до зменшення утворення пари гліцерину.

Висновки

На основі аналізу чисельних досліджень з використанням рівнянь балансу тисків та матеріальних і теплових балансів контуру можна сформулювати початкові дані для проектування теплообмінника, вибору насоса, проектування геометрії контуру і вибору форсунки для розпилення водного розчину гліцерину у випарнику миттєвого скипання. Порівняння гідродинамічних характеристик багатокомпонентного водного розчину гліцерину із однокомпонентним потоком води показав, що геометричні характеристики елементів випарника мають більший вплив на пропускну здатність системи із багатокомпонентним потоком. Підвищення продуктивності системи підготовки гліцерину-дистилата неможливе лише за рахунок підвищення продуктивності нагнітальника (насоса), оскільки в таких системах мають місце критичні двофазні багатокомпонентні потоки. Збільшення

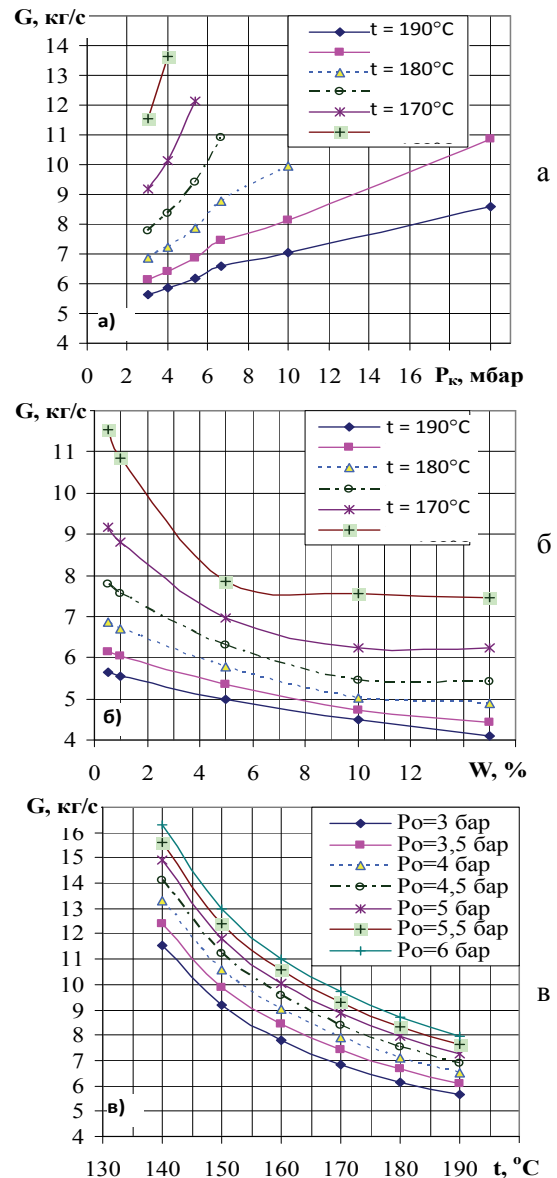


Рис. 3. Графіки залежності пропускної здатності системи від: а — протитиску, б — вмісту води, в — температури водного розчину гліцерину

пропускної здатності можна досягти зменшенням опору системи (форсунки), зниженням вмісту води у розчині або пониженням температури водного розчину гліцерину.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Таубман В. И. Процессы и установки мгновенного вскипания / В. И. Таубман, Б. Л. Пастушенко. — М. : Энергоатомиздат, 1990. — 184 с.
2. Технология переработки жиров / [Н. С. Арутюнян, Е. А. Аришева, Л. И. Янова и др.]. — М. : Агропромиздат, 1985. — 368 с.
3. Ткаченко С. Й. Удосконалення експериментально-розрахункового методу / С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна, Н. В. Резидент // Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. — 2010. — № 2. — С. 171—183.
4. Ткаченко С. Й. Самозакипаючі потоки в дренажних каналах теплотехнологічних систем / С. Й. Ткаченко, Н. Д. Степанова. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. — 163 с.
5. Рахманкулов Д. Л. Физические и химические свойства глицерина / Д. Л. Рахманкулов, Б. Х. Кимсанов, Р. Р. Чанышев. — М. : Химия, 2003. — 200 с.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики

Стаття надійшла до редакції 31.01.2013

Рекомендована до друку 19.02.2013

Ткаченко Станіслав Йосипович — завідувач кафедри, **Степанова Наталія Дмитрівна** — доцент.

Кафедра теплоенергетики;

Бочкова Ольга Юрївна — студентка Інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця