

Н.І. Штангеева, д-р техн. наук
Л.С. Клименко, канд. техн. наук
О.М. Салавор, А.І. Сорокін

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІНОУТВОРЕННЯ У ВОДІ ОБОРОТНОЇ СИСТЕМИ ГІДРОТРАНСПОРТУ ТА МИТТЯ БУРЯКІВ

На більшості цукрових заводів України виникають ускладнення при експлуатації оборотної системи гідротранспорту та миття буряків внаслідок утворення на всіх ділянках системи стійкої піни.

Складний і негативний процес піноутворення вивчався дослідниками в процесі екстракції цукрози з бурякової стружки на стадіях очищення соку, згущення соку випарюванням та в процесі кристалізації цукрози [1, 2].

В останні роки значне піноутворення спостерігається на тракті транспортування буряків у завод, що ускладнює експлуатацію всієї оборотної системи гідротранспорту та миття буряків. Утворення стійкої піни в транспортерно-мийній воді перешкоджає ефективній роботі очисних споруд, а також бурякопідіймальної станції, обладнання для очищення буряків від легких та

важких домішок і призводить до зниження продуктивності роботи заводу. Процес піноутворення в транспортерно-мийній воді вивчено недостатньо.

Відомо, що для виробництва 1 т цукру з буряків треба витратити більш як 200 м³ води. Більше ніж 60 % загального об'єму води, що споживається цукровим заводом, становить транспортерно-мийна вода. Вона містить значну кількість баластних речовин органічного і мінерального походження, які за ступенем диспергованості поділяють на грубодисперсні, високодисперсні, колоїдні та розчинні. В процесі перероблення буряків підвищеної забрудненості, що сягає 10...15 %, у транспортерно-мийну воду потрапляє багато землі, а разом з нею і значна кількість домішок та мікроорганізмів. В 1 мл транспортерно-мийної води нараховується від 400 млн до кількох мільярдів спор бактерій і пліснявих грибів.

Піна може утворюватися за наявності поверхнево-активних речовин (ПАР) [3]. Транспортно-мийна вода містить велику кількість цих речовин, що адсорбуються в її поверхневому шарі. Джерелом надходження їх у транспортно-мийну воду є, в основному, цукрові буряки. Поверхнево-активні речовини буряків становлять 80 % всіх нецукрів, що входять до їх складу. Внаслідок перекачування транспортно-мийної води насосами, перепадів рівнів води, а також інших причин вода зазнає значної аерації повітрям, що за наявності ПАР створює високорозвинений поверхневий шар стійкої піни. Наявність ПАР у воді значно зменшує її поверхневий натяг, що призводить до інтенсивного спінування [3]. Багато поверхнево-активних речовин утворюють поверхневі плівки, що мають властивості пластичних твердих тіл і підвищують стійкість пін.

Іншим джерелом піноутворення є життєдіяльність мікроорганізмів, внаслідок якої розкладається цукроза до CO_2 і H_2O , що також спричиняє спінування транспортно-мийної води. В піні вміст мікроорганізмів у сотні разів більший, ніж у воді. Тому піна є потенційним джерелом повторного мікробіального ураження транспортно-мийної води. Отже, мікроорганізми спричиняють спінування транспортно-мийної води, яке, у свою чергу, підвищує її мікробіологічну забрудненість [4]. Тому, розробляючи ефективні способи очищення і стабілізації транспортно-мийної води, слід приділяти належну увагу питанням зниження спінування води, видалення піни і її руйнування, а також запобігання піноутворенню.

З цієї метою ми провели дослідження процесу піноутворення у транспортно-мийній воді. Спочатку вивчали піноутворювальну здатність транспортно-мийної води, яка залежить від якісного і кількісного вмісту в ній речовин-піноутворювачів. Внаслідок узагальненого досвіду багатьох дослідників [1, 2] доведено, що основними піноутворювачами в цукровому виробництві є високомолекулярні речовини: сапонін, білки і пектинові речовини. Саме в такому порядку залежно від сили впливу на процес піноутворення розташувала їх В.Г. Нагорна [1]. Польські дослідники стверджують, що найсильнішим піноутворювачем є галактуронова кислота і меншою мірою сапонін [2]. Існує думка, що основними піноутворювачами на дифузії є пептиди. Треба також враховувати вплив на процес піноутворення вуглекислого газу, який виділяється внаслідок кислотного зброжування цукрози, меланоїдинової реакції, а також життєдіяльності мікроорганізмів.

У літературі є відомості про вміст у транспортно-мийній воді піноутворювача — сапоніну. В буряках міститься 0,15...0,8 % сапоніну. Сапонін легко дифундує в транспортно-мийну воду, де його вміст становить 25...120 мг/л. У свіжій піні вміст сапоніну в 12–15 разів вищий, ніж у вихідній воді, ще більше його у зневодненій "сухий" піні (в 27–37 разів) [5]. Сапонін надає воді неприємного смаку і запаху, порушує кисневий обмін водоймищ, є токсичним для нижчих хребетних і риби [6]. Він спричиняє найбільші труднощі при очищенні стічних вод та претензії санітарних служб у разі викидів їх у водоймища. За чинними нормами гранично допустима концентрація сапоніну в стічних водах, що подаються на біологічне очищення, становить 10 мг/л, а у воді водоймищ — 0,2 мг/л [7].

У літературі немає відомостей про вміст у транспортно-мийній воді пектинових та колоїдно-диспергованих речовин, а також про їх вплив на процес її піноутворення.

Для дослідження піноутворення відбирали проби піноконденсату транспортно-мийної води на Яготинському цукровому заводі й визначали в них вміст сапоніну колориметричним методом [8], вміст пектино-

вих і колоїдно-диспергованих речовин визначили за методиками, прийнятими в контролі цукробурякового виробництва. Крім того, в піноконденсаті транспортно-мийної води визначали вміст розчинних органічних сполук за біологічною потребою в кисні (БПК) та кількісну характеристику забрудненості через біхроматну окиснюваність води (ХПК) згідно з уніфікованими методами аналізу води [9].

Отримані результати наведено в *табл. 1* і *2*. Піноутворювальна здатність транспортно-мийної води збільшується із збільшенням загальної забрудненості цієї води, визначеної через біхроматну окиснюваність її, що видно з *табл. 1*. Воду різного ступеня забрудненості готували способом зміни співвідношення піноконденсату-води. Висота піни зростає із збільшенням показника хімічної потреби в кисні (ХПК). Так, якщо у транспортно-мийній воді при концентрації ХПК 3448 мг/л висота піни становила 25 см, то в піноконденсаті з цієї води показник ХПК був в 1,4 раза вищим і висота піни збільшилась у 5,6 раза.

Таблиця 1
Залежність піноутворювальної здатності транспортно-мийної води від ступеня її забрудненості, визначеного через біхроматну окиснюваність води (ХПК)

Співвідношення піноконденсату:транспортно-мийна вода	Висота піни, см	ХПК, мг/л
0:1	25	3448
1:11	27	3488
1:7	31	3522
1:5	41	3598
1:4	51	3648
1:3	56	3704
1:2	67	3810
1:1	81	3928
1:0	141	4724

Вміст основних речовин-піноутворювачів визначали в піноконденсаті транспортно-мийної води Яготинського цукрового заводу протягом виробничого сезону 1998 р. (*табл. 2*). Серед піноутворювачів у піноконденсаті переважав сапонін. Вміст сапоніну був значним і збільшився до кінця виробництва у 2,2 раза. Вміст полігалактуронової кислоти збільшився в 1,15 раза. Більш як у 100 разів підвищився вміст колоїдно-диспергованих речовин.

Таблиця 2
Вміст піноутворювальних речовин у піноконденсаті транспортно-мийної води

Проба піноконденсату*	Піноутворювачі		
	Сапонін, мг/дм ³	Полігалактуронова кислота, мг/дм ³	Колоїдно-дисперговані речовини, мг/дм ³
1	1983	2631,6	7,7
2	2600	2894,7	140,5
3	4267	3026,3	988,2

* Проби піноконденсату транспортно-мийної води, відібрані на Яготинському цукровому заводі під час виробничого сезону 1998 р.: 1 — вересень; 2 — жовтень; 3 — листопад.

Паралельно оцінювали піноутворювальну здатність транспортно-мийної води з різною концентрацією піноутворювачів за показником поверхневої активності води. Поверхневу активність води визначали вимірюванням її поверхневого натягу сталагмометром.

Проби транспортерно-мийної води з різною концентрацією піноутворювачів готували способом розведення піноконденсату Яготинського цукрового заводу в 2, 4, 6, 8 і 16 разів. Піноконденсат перед розведенням центрифугували для видалення механічних домішок. Для зручності розрахунків попередньо будували графік залежності константи сталагмометра від температури води. В табл. 3 наведено середні дані визначення поверхневого натягу в трьох пробах транспортерно-мийної води. Вихідні проби води характеризуються різним значенням поверхневого натягу, що пояснюється різним вмістом у воді поверхнево-активних речовин. Причому в пробах води з більшою концентрацією піноутворювачів (в кінці виробничого сезону, табл. 2) спостерігався менший поверхневий натяг води (табл. 3). У всіх трьох пробах води із збільшенням концентрації піноутворювачів (розведення у 2, 4, 6, 8 і 16 разів) поверхневий натяг води зменшується, що свідчить про підвищення піноутворювальної здатності води.

Таблиця 3

Залежність поверхневої активності транспортерно-мийної води від концентрації піноутворювачів

Концентрація піноутворювачів (розведення піноконденсату)	Поверхневий натяг води, Дж/м ² , у пробах піноконденсату*		
	1	2	3
П/16	0,07844	0,07589	0,07582
П/8	0,07821	0,07522	0,07577
П/4	0,07748	0,07456	0,07559
П/2	0,07730	0,07327	0,07536
П	0,07722	0,07275	0,07128

* Проби піноконденсату транспортерно-мийної води, відібрані на Яготинському цукровому заводі під час виробничого сезону 1998 р.: 1 — вересень; 2 — жовтень; 3 — листопад.

Проведено серію дослідів з вивчення залежності піноутворювальної здатності транспортерно-мийної води від концентрації піноутворювачів. Піноутворювальну здатність оцінювали за фізико-хімічними показниками пін. Готували проби води з різною концентрацією піноутворювачів, розводячи піноконденсат у 2, 4, 6 і 8 разів. На лабораторній установці в пробах води створювали піну й досліджували її фізико-хімічні властивості. Пробу води (200 см³) поміщали в градуйований циліндр і пропускали крізь неї повітря за допомогою компресора. Умови диспергування

були постійними: витрати повітря 0,167 м³/год, тиск повітря 1 м вод. ст., тривалість диспергування 30 с. Після спінування визначали такі фізичні показники піни: висоту шару піни, см; об'єм рідини, що перетворилась на піну, см³; стійкість піни, тобто час, потрібний для повного руйнування піни після припинення пропускання повітря, с. За отриманими результатами побудовано математичні моделі досліджуваного процесу, виведено математичні рівняння для розрахунку цих залежностей:

$$h = 2,01c_1 - 0,0101c_2^2 + 2,6 \cdot 10^{-5}c_3^3; \quad (1)$$

$$v = 2,8417c_1 - 0,0178c_2^2 + 4,8333 \cdot 10^{-5}c_3^3; \quad (2)$$

$$\tau = 0,5033c_1 - 0,0083c_2^2 + 4,8667 \cdot 10^{-8}c_3^3; \quad (3)$$

де h — висота шару піни, см; v — об'єм піни, см³; τ — час руйнування піни, с; c — концентрація піноутворювачів (розведення піноконденсату: $c_1 = \Pi/4$; $c_2 = \Pi/2$; $c_3 = \Pi$; Π — піноконденсат).

Побудовано графіки залежності висоти шару піни, об'єму піни, що утворилась, і часу руйнування піни від концентрації піноутворювачів (рис. 1). Отримані результати показують збільшення всіх фізичних показників піни, що досліджувались, із збільшенням концентрації піноутворювачів.

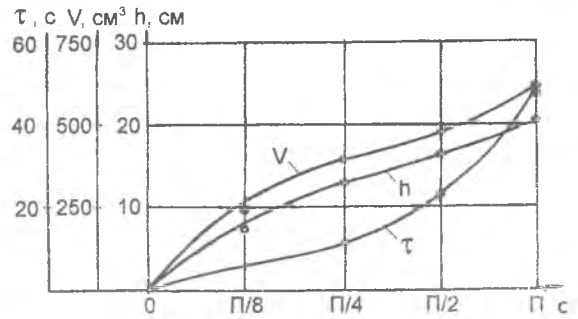


Рис. 1. Залежність піноутворювальної здатності транспортерно-мийної води від концентрації піноутворювачів

Вплив реакції середовища (рН) транспортерно-мийної води на її піноутворювальну здатність досліджували на розбавленому вдвічі піноконденсаті Яготинського цукрового заводу. Величина рН вихідної транспортерно-мийної води становила 7,15. Лужність води створювали за допомогою NaOH і Ca(OH)₂, кислотність — соляною кислотою. За отриманими даними побудовано математичну модель процесу, виведено рівняння третього порядку залежності піноутворювальної здатності води від рН. Побудовано графіки залежності висоти шару піни і часу її руйнування від рН води (рис. 2).

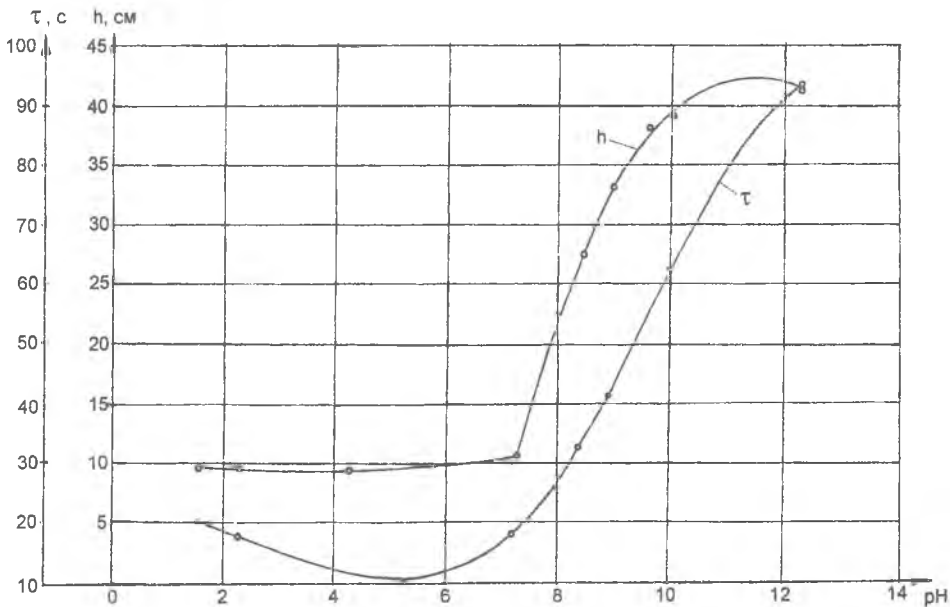


Рис. 2. Залежність висоти шару піни і часу її руйнування від рН транспортерно-мийної води

Отримані результати свідчать про значне зростання піноутворювальної здатності транспортерно-мийної води з підвищення рН. В нейтральній і кислій областях рН рівень піни залишався аналогічним рівню піни вихідної транспортерно-мийної води. В лужній області висота піни значно зростала, причому це спостерігалось при створенні лужного середовища за допомогою як NaOH, так і Ca(OH)₂.

Висновки. Ці дані є важливими з огляду на те, що багато цукрових заводів України застосовують вапнування транспортерно-мийної води з метою прискорення її освітлення й частково для антимікробної дії [10]. Проведені дослідження піноутворення в транспортерно-мийній воді показують недоцільність використання постійного режиму вапнування транспортерно-мийної води з метою її очищення. Доцільнішим був би періодичний режим вапнування.

Вирішення проблеми запобігання піноутворенню в транспортерно-мийній воді слід враховувати при розробленні нових ефективних способів її очищення. Це дасть можливість зменшити питомі витрати свіжої води та кількість стічних вод на одиницю перероблених буряків і, в цілому, поліпшить екологічний стан на цукрових заводах. Крім того, дані вивчення піноутворення в транспортерно-мийних водах дають можливість за показником забрудненості води оперативно вирішувати питання зниження спінювання води тим чи іншим способом.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Нагорная В.А.* Пенообразование и химический метод борьбы с ним в сахарном производстве: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / ВНИИСП. — К., 1967. — 22 с.

2. *Gruszecka H.* Piana w przemyśle cukrowniczym // *Gazeta Cukrownicza*, 1984. — № 2. — S. 41–45.

3. *Тихомиров В.К.* Пены. Теория и практика их получения и разрушения. — М.: Химия, 1975. — 263 с.

4. *Кириченко А.Г., Гончаренко Б.И., Тарасенко В.Е.* Пена — вторичный источник бактериальной загрязненности транспортерно-моечных вод на свеклосахарных заводах // *Сах. пром-сть.* — 1982. — № 2. — С. 28–30.

5. *Нагорна В.О.* Якість буряків, оптимальні режими переробки буряків різної якості. — К.: ІПК Мінагропрому України. — 1998. — 67 с.

6. *Zagrodski S., Kurkowska A.* Saponina w ściekach z cukrowni // *Gazeta Cukrownicza*. — 1973. — № 6. — S. 137–138.

7. *Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе и воде: Справ. пособие.* — Л.: Химия, 1975. — 455 с.

8. *Скирдов И.В., Сахненко В.В., Ткаченко Л.И.* Определение сапонина в сточных водах сахарного производства // *Сах. пром-сть.* — 1982. — № 6. — С. 15–17.

9. *Лурье Ю.Ю.* Аналитическая химия промышленных сточных вод. — М.: Химия, 1984. — 448 с.

10. *Нагорна В.О.* Дезинфекція і дезінфектанти у виробництві цукру: Навч. посібн. — К.: Вища шк., 1993. — 35 с.

Надійшла до редколегії 25.12.99 р.