

Й. М. Шаповал, І. П. Полюжин, Ф. І. Цюпко, Л. І. Полюжин
 Національний університет “Львівська політехніка”,
 кафедра хімічної технології переробки пластмас

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПІНОГАСНИКІВ ДЛЯ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ ПОЛІАКРИЛАМІДУ ТА ЛАУРЕТСУЛЬФАТУ НАТРІЮ ЯК ОСНОВИ МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІДИН

© Шаповал Й. М., Полюжин І. П., Цюпко Ф. І., Полюжин Л. І., 2017

Досліджено кінетичні закономірності руйнування піни за допомогою силіконових олив та піногасників спиртового типу у водних розчинах поліакриламід та лауретсульфату натрію як аніонної поверхнево-активної речовини. На основі залежностей константи швидкості для початкових ділянок руйнування піни від концентрацій піногасників проведено оцінку ефективності та вибір піногасників з врахуванням можливості утворення емульсій у системі водних мастильно-охолоджувальних технологічних рідин для обробки металів.

Ключові слова: піногасіння, кінетика руйнування піни, поліакриламід, лауретсульфат натрію, мастильно-охолоджувальна рідина.

Y. M. Shapoval, I. P. Polyuzhyn, F. I. Tsyupko, L. I. Polyuzhyn

EFFICIENCY EVALUATION OF DEFOAMERS FOR WATER SOLUTIONS OF POLYACRYLAMIDE AND SODIUM LAURETH SULFATE AS A BASIS OF LUBRICATING-COOLING METALWORKING FLUIDS

© Shapoval Y. M., Polyuzhyn I. P., Tsyupko F. I., Polyuzhyn L. I., 2017

The kinetics are research for foam destruction using silicone oils and alcohol type defoamers in aqueous solutions of polyacrylamide and sodium laureth sulfate as anionic surfactant. Based on the dependency rate constants for the primary areas of foam destruction from defoamer concentrations the efficacy is evaluated and defoamers choice is provided considering the possibility of emulsions formation in system of water lubricating and cooling metalworking fluids.

Key words: defoaming, foam destruction kinetic, polyacrylamide, sodium laureth sulfate, lubricating cooling fluid.

Постановка проблеми. Проблеми піноутворення та руйнування піни є актуальними, про що свідчать узагальнення експериментальних даних та теоретичних розробок у сучасних монографіях [1–3]. Під час обробки металів, зокрема різанням (точіння, свердління, фрезерування), необхідним є використання мастильно-охолоджувальних технологічних рідин (МОТР), до складу яких входять поверхнево-активні речовини (ПАР), як емульгатори або як компоненти для зниження поверхневого натягу з метою підвищення проникаючої здатності МОТР. Використовуючи МОТР, присутність ПАР сприяє піноутворенню, що знижує ефективність змочування, охолодження та змащування у процесі обробки металів. Відомо [4], що для подачі МОТР у зону різання використовуються системи доставки МОТР, до складу яких входять ємності, насоси, фільтрувальне

обладнання. У системах доставки МОТР, як і в точках (місцях) безпосереднього застосування МОТР, може також утворюватися піна, що призводить до відомих проблем роботи транспортного обладнання. Руйнування піни може бути виконане за допомогою механічних, гідравлічних і аеродинамічних способів, за допомогою коливань звукових і ультразвукових частот, тепловими, електричними та іншими методами [5, 6]. Оскільки використання цих методів вимагає певних структурних змін у системі подачі МОТР, часто використовуються піногасники для руйнування піни [1]. Також пропонуються [1, 5] комбіновані методи руйнування піни. У [7] узагальнено результати досліджень для механізмів піногасної дії антипінних агентів. Відомо [1], що ефективними піногасниками є силіконові оливи. Створення ефективних рецептур МОТР на водній основі у формі розчинів полімерів є перспективним напрямом розробки МОТР. Наприклад, у [8] на основі дослідження поверхневого натягу, змочувальної здатності та величин роботи адгезії на поверхнях металів для водних розчинів поліакриламід (ПАА), які містять лауретсульфат натрію (ЛСН) як ПАР, обгрунтований склад МОТР, однак систематичні дослідження ще не проводилися стосовно проблеми піноутворення для цих розчинів та її вибору ефективних антипінних агентів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У [9] на основі визначення піноутворювальної здатності культуральної рідини за біосинтезу L-орнітину проведено оцінку ефективності 12 піногасників, таких, як промислові піногасні композиції (PSL-2, SL-04-204, FM-111), силіконові оливи (ПМС-200, ПМС-2007, ПГЖ-891), пропінол Б-400, соняшникова та соєва олії, олеїнова кислота, кашалотовий жир. Ефективні концентрації піногасників були у межах 0,1–0,4 % від об'єму культуральної рідини і при цьому піноутворювальна здатність становила 400–480 см. Найефективнішими піногасниками були препарат SL-04-204 та пропінол Б-400, оскільки під час їх використання отримано найбільший вихід продукту біосинтезу за піноутворення 400 та 450 см, відповідно. У [9] встановлено, що піногасники треба додавати у ферментер безперервно з такою швидкістю, щоб за час синтезу не перевищити ефективну концентрацію піногасника.

У [10] досліджено вплив концентрації силіконового піногасника марки ВУК-037 на швидкість руйнування піни для водних розчинів ПАА, які містять ЛСН. Показано [10], що на початкових ділянках кінетичних кривих процес руйнування піни задовільно описується експоненційною залежністю і у логарифмічних координатах для залежності константи швидкості на цій ділянці від концентрації спостерігається особлива точка («злам») вмісту піногасника 0,039 % мас., а також для початкової відносної висоти піни отримано S-подібні концентраційні залежності у напівлогарифмічних координатах. Для дослідженої водної системи, яка містила 2,5 % мас. гелю ПАА та 0,15 % мас. гелю ЛСН, рекомендується як оптимальна концентрація 0,05 % мас. для піногасника марки ВУК-037, оскільки при цьому візуально не спостерігається гетерогенності системи під час введення силіконового піногасника [10].

Проведено систематичне вивчення піногасників на основі полідиметилсілоксанових олив (ПДМС) дев'яти марок 47VX з різними молекулярними масами ($X=10-60000$ [11], наприклад, якщо $X=100$, тоді $M_w = 10000$) для розчинів, часто використовуваних ПАР (аніонна – Aerosol-OT, неіоногенна – моно-*n*-дециловий ефір пента-етленгліколю, катіонні – броміди алкіл-(C9-C16)-триметиламонію). За результатами вимірювання величин поверхневого натягу, кута змочування, швидкості проникнення оливи, розміру частинок і характеристик стабільності плівок, які були проведені паралельно з визначенням стійкості піни, оцінено параметри [11], які є важливими для антипінної здатності ПДМС. Також було встановлено, що для олив, у які було введено гідрофобні частинки оксиду кремнію з утворенням глобул, значна втрата ефективності піногасників корелює із зменшенням розміру таких глобул оливи нижче, ніж 6 мкм, а збільшення величин швидкостей входження глобул (крапель) є одним із головних факторів, що збільшують піногасну ефективність силіконових олив, у краплі яких введено тверді частинки.

У [12] досліджено вплив трьох піногасників (2-етилгексанол, трибутил фосфат, тетрабутиламоній хлорид) на здатність до утворення піни розчинами, які містять додецилсульфат натрію у концентрації 0,15 М, що у 18 разів перевищує критичну концентрацію міцелоутворення $KCM=0,0082$ М для цієї ПАР. Залежно від відносної висоти піни від концентрації піногасників

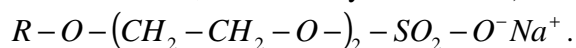
отримано мінімуми, які поділяють ці залежності на дві ділянки: 1) до точки мінімуму піногасники стабілізують чисті міцели ПАР і діють на цій ділянці як ефективні інгібітори піноутворення; 2) піногасники дестабілізують ці міцели ПАР, і, отже, за вищих концентрацій є неефективними для інгібування піноутворення, а також показано існування кореляції цих результатів з величинами часу релаксації міцел [12].

У [13] розглянуто основні етапи та методи досліджень у галузі піноутворення та руйнування піни з допомогою піногасників за період до 2012 року, і, крім того, звертається увага на механізм генерування піни, зокрема вказується, що модуль пружності бульбашок піни відповідає за подальшу довговічність вже сформованої піни. У [13] показано, що врахування здатності до піноутворення (пінистості) та середньої швидкості розпаду піни – це найкращий метод для описання потенціалу піноутворювачів. У [14] для описання кінетичних даних руйнування піни застосовано експоненціальний закон. У [15] досліджена ефективність силіконового антипінного засобу DC2-4248S на основі ПДМС стосовно 12 розчинів ПАР і показано, що піногасна залежить від типу, концентрації та гідрофобного розміру ПАР, зменшується із зростанням в'язкості поверхневого зсуву ПАР.

Мета роботи – на основі кінетичних досліджень руйнуванням піни здійснити оцінку ефективності та вибір піногасників для водних розчинів поліакриламідів та лауретсульфату натрію, як основи мастильно-охолоджувальних технологічних рідин.

Матеріали і методи досліджень. Об'єктом дослідження були водні розчини ПАА і ПАР, силіконові піногасники з торговими назвами ВУК-037, ВУК-1730, SD-670 та спиртові піногасники з октанолом і пропінолом.

У роботі використовували ПАА молекулярної маси $3 \cdot 10^5$ (ТУ 6-01-1049-92) у формі гелю з вмістом полімеру 8 % мас.; молекулярні маси ПАА – середньочислова $\overline{M}_n = 1609863$ та середньомасова $\overline{M}_z = 2577509$. Як аніоноактивну ПАР використовували промисловий продукт Сульфороканол L270/1A (виробник – PCC EXOL SA, Польща). Цей продукт містить як активну речовину лауретсульфат натрію (Sodium laureth sulfate, Sodium lauryl ether sulfate) близько 70 % мас.:



За даними фотометрії полум'я вміст лауретсульфату натрію становив 66,64 % мас., що добре узгоджується з паспортними даними (68–72 % мас.).

Згідно з інформацією SDS і TDS, досліджені піногасники мають такі характеристики:

– ВУК-037 – водна емульсія парафінових мінеральних олив та гідрофобних компонентів, що містить силікон; кінематична в'язкість – 286 мм²/с за температури 40 °С; густина – 0,935 г/см³ за 20 °С; сухий залишок – 53,5 % під час нагрівання до 150 °С протягом 10 хв; рекомендований діапазон концентрації становить 0,1–0,5 % під час використання для емульсійних фарб і штукатурок;

– ВУК-1730 – водна дисперсія полісилоксанів та полігліколів; густина – 0,999 г/см³ за температури 20 °С; особливо придатний для використання у пігментних емульсійних системах на основі стиролу, акрилу та поліуретанів з ПВХ;

– SD-670 – піногасник на основі органофункціональних силіконових рідин, які мають високу сумісність з органічними системами; густина – 0,985 г/см³ за температури 20 °С; динамічна в'язкість 10–300 мПа за температури 25 °С; розчинний у багатьох полярних і неполярних розчинниках, диспергується у воді; рекомендований діапазон концентрації становить 0,05–0,3 %;

– Октанол (октан-1-ол) – використовується як піногасник у виробництві паперу, розчинник для жирів і воску, а також для отримання проміжних продуктів для парфумерії та штучних ароматизаторів; густина – 0,824 г/см³; розчинність у воді – 0,46 г/дм³;

– Пропінол (Пропінол Б-400) – суміш поліоксіпропіленгліколевих ефірів n-бутилового спирту; застосовується як піногасник у виробництві легкої, мікробіологічної, хімічної промисловостей.

Для приготування розчинів зважували речовини і розчинник за допомогою аналітичних ваг моделі XAS 220/С “Radwag”. Досліджуваний розчин, який моделює робочу МОТР, був отриманий з концентрату розбавленням у десять разів водопровідною водою. Концентрат містив 25 % гелю ПАА і 1,5 % гелю ПАР. Для дослідження впливу вмісту піногасників концентрати готували з масовою часткою піногасника: 0,01, 0,05, 0,1, 0,5, 1, 5 та 10 %. Дозування розчинів проводили піпетками місткістю 5 та 10 мл. Робочу рідину готували безпосередньо у високих пробірках з поділками, використовуючи для розрахунку концентрацій експериментальні величини мас. Оскільки концентрований розчин і піногасники є в'язкими рідинами, то проводили ретельне перемішування їх сумішей під час струшування зі скляними кульками. У досліджених робочих розчинах концентрація піногасників була в діапазоні від 0,001 до 1 % мас. У таблицях для спрощення подання результатів наведено задані концентрації, які є близькими до експериментальних величин концентрацій, що зображені на графіках

Для оцінки ефективності піногасіння використовували дані руйнування піни і зростання суцільної рідкої фази за кімнатної температури (22–25 °С). Кінетичні криві були отримані з використанням градуйованих довгих скляних пробірок з діаметром 12 мм і заввишки до 30 см, у кожному з яких поміщали 10 мл випробуваного розчину і закривали гумовими пробками. Піну утворювали інтенсивним струшуванням пробірок. Після утворення піни трубки швидко встановлювали у тримач штатива і зображення трубок були зафіксовані у певні моменти часу за допомогою цифрової камери моделі Casio EXILIM EX-ZR 100. Фотографування проводили на зеленому тлі для належного контрасту піни зображення. Математичну обробку даних виконували з використанням табличного процесора MS EXCEL.

Результати досліджень та їх обговорення. Первинні кінетичні дані були пронормовані: 1) для висоти суцільної рідкої фази до початкової висоти рідини у кожній мірній пробірці перед струшуванням; 2) для висоти піни до початкової висоти піни у пробірці, де не було піногасника. Під час руйнування піни початкову висоту піни для контрольного розчину без піногасника приймали за 100 %. Приклади кінетичних кривих для нормованих експериментальних даних зростання суцільної рідкої фази показані на рис. 1, а нормовані експериментальні кінетичні дані для руйнування піни показано на рис. 2.

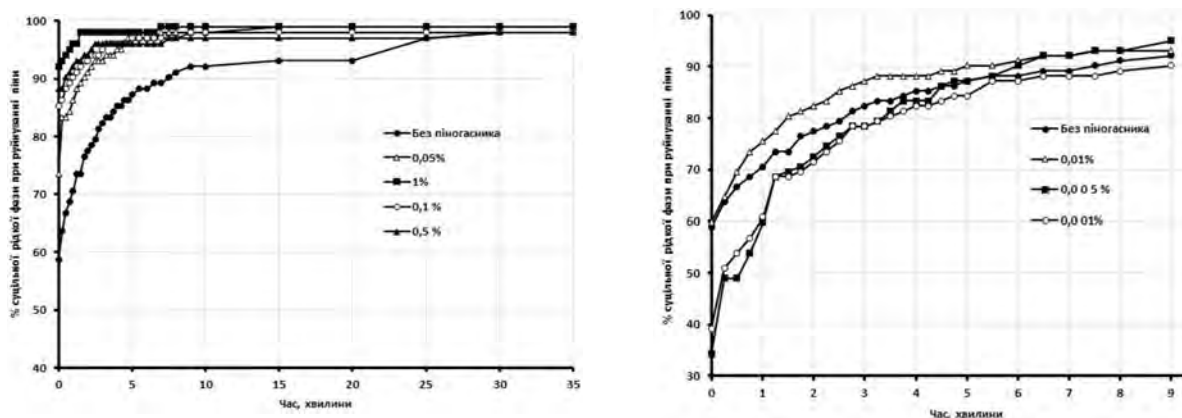


Рис. 1. Експериментальні кінетичні дані зростання суцільної рідкої фази під час руйнування піни у присутності піногасника SD-670

Оскільки за експериментальними кінетичними даними зростання суцільної рідкої фази не спостерігається істотних змін із зростанням концентрації піногасників для інтервалу 0–0,005 %, тому подальші кінетичні дослідження проводили за даними для руйнування піни.

У таблиці наведені відносні висоти руйнування піни (H_0 ,%) у початкові моменти часу для піногасників. За результатами вимірювання висоти піни (H_0) для 15–30 с від моменту встановлення мірних пробірок у штатив бачимо, що додавання піногасника у мінімальних кількостях 0,001–0,01 % знижує відносну початкову висоту піни приблизно на 10–50 %, і піна майже не утворюється за концентрації піногасника, більшої за 0,5 %.

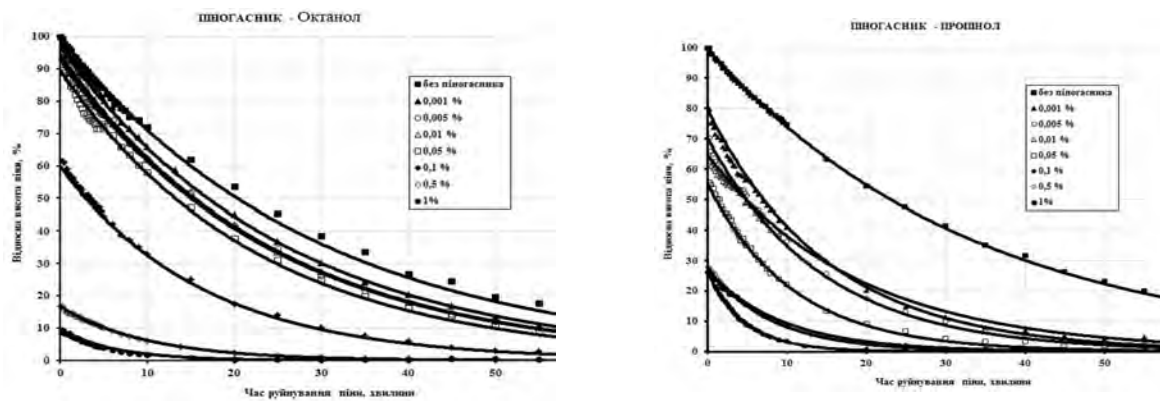


Рис. 2. Експериментальні кінетичні дані під час руйнування піни у присутності піногасників спиртового типу (Октанол та Пропінол)

Відносна висота піни H_0 , % у початкові моменти часу (15–30 с)

Концентрація, % мас.	Відносна висота піни H_0 , % для піногасників				
	ВУК-037	ВУК-1730	SD-670	Октанол	Пропінол
0	100	100	100	100	100
0,001	81,3	86,2	91,2	97,0	79,9
0,005	77,5	82,8	87,8	94,2	70,4
0,01	73,6	50,0	78,8	92,7	64,8
0,05	42,3	28,7	44,1	89,6	55,4
0,1	13,2	1,4	31,2	60,0	26,7
0,5	1,1	0,9	17,1	16,7	27,8
1,0	1,7	2,4	12,4	9,4	26,4

Як показано на рис. 3, залежність початкової висоти піни від концентрації піногасника, яку представлено у напівлогарифмічних координатах, має S-подібну форму.

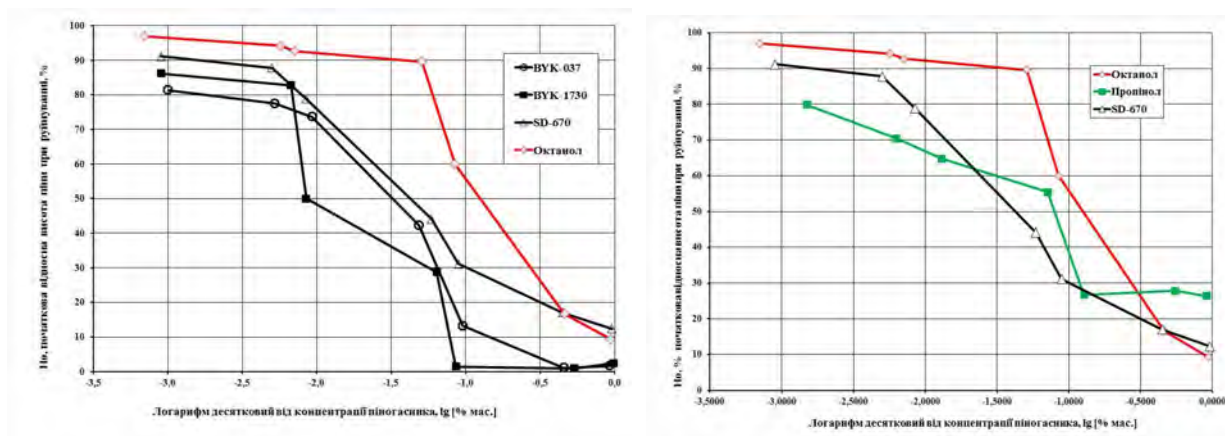


Рис. 3. Залежність відносної висоти піни H_0 , % у початкові моменти часу (15–30 с) від концентрації піногасників у логарифмічних координатах

Ці S-подібні криві (рис. 3) мають три ділянки, які характеризують здатність піногасника запобігати утворенню піни: 1) від 0,001 до 0,01 %, ця здатність є обмеженою, тобто тут проявляється певна інерційність системи до присутності піногасника; 2) від 0,01 до 0,1 % – ділянка, де спостерігається максимальне підвищення ефективності; 3) зі збільшенням концентрації піногасників ВУК-1730 та ВУК-037 більш ніж на 0,1 %, здатність до запобігання утворенню піни

поступово досягає максимального рівня і за концентрації 0,5 % початкова висота піни становить близько 1 % від висоти піни у системі без піногасника. Для піногасників SD-670 та октанолу ця здатність зі збільшенням їх концентрації до 0,1 % поступово досягає максимального рівня і за концентрації 0,5 % становить близько 16 % від висоти піни у системі без піногасника. Під час зростання концентрації пропінолу більш ніж на 0,1 % швидкість руйнування піни за концентрації 0,5 % становить близько 26 % від висоти піни у системі без піногасника. Третя ділянка, де досягається фактично максимальна здатність піногасників до запобігання утворенню піни, вказує на те, що збільшення концентрації піногасника вище 0,5 %, призводить до перевитрати піногасника. За здатністю до запобігання утворенню піни (рис. 3) піногасники групуються за їх хімічною природою на силіконові, які мають велику ефективність, та дещо меншу ефективність мають спиртові піногасники (пропінол та октанол).

З [14] відомо, що за відсутності процесу утворення піни швидкість руйнування піни є пропорційною до висоти піни і описується простим рівнянням (1):

$$-\frac{dH}{dt} = \frac{1}{s} \cdot H = k \cdot H . \quad (1)$$

У рівнянні (1) константа швидкості руйнування піни – k , а величина S , яка має розмірність часу, є фактором стабільності піни. Константа швидкості руйнування піни визначається за рівнянням (2):

$$\ln\left(\frac{H_0}{H(t)}\right) = k \cdot t . \quad (2)$$

У [10] наведено порівняння розрахунків згідно з моделлю (3) з експериментальними даними для піногасника ВУК-037 і показано, що піна руйнується у дві стадії. Перша стадія добре описується експоненціальним законом, на другій стадії спостерігається зменшення швидкості руйнування піни і відповідно помітне відхилення від експоненціального закону. Тому для оцінки швидкості руйнування піни були вибрані експериментальні дані для початкової ділянки кінетичних кривих до 10 хв. На рис. 4 показано приклади визначення констант швидкості руйнування піни для ВУК-1730 та октанолу.

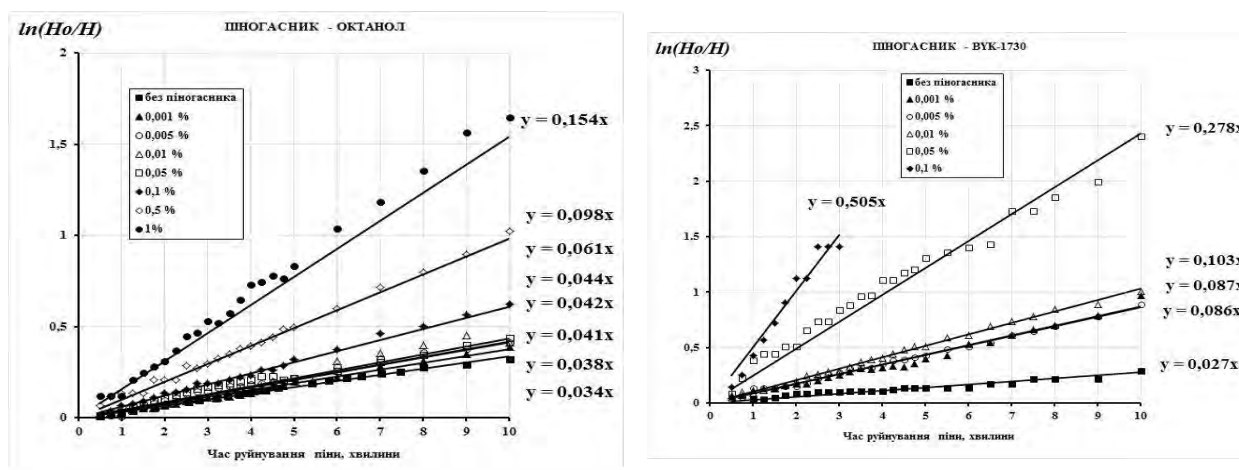


Рис. 4. Оцінка константи швидкості руйнування за різних концентрацій піногасників октанол та ВУК-1730

На рис. 5 показано у напівлогарифмічних координатах залежності констант швидкості руйнування піни, які були визначені для початкової ділянки кінетичних залежностей (до 10 хв) від

концентрації піногасників. Для усіх піногасників константа швидкості зростає незначно за збільшення концентрації піногасника від 0,001 до 0,01 %. Швидкий ріст константи швидкості спостерігається для піногасника ВУК-1730, де в діапазоні від 0,01 до 0,1 % константа швидкості збільшується приблизно у 5 разів. Подібне зростання швидкості спостерігається для інших силіконових піногасників, зокрема для ВУК-037 помітне зростання константи приблизно у 3 рази спостерігається від 0,05 до 0,1 %, а для SD-670 константа зростає приблизно у 3,7 раза за збільшення концентрації від 0,1 до 1 %. Для октанолу та пропінолу константа швидкості зростає поступово у діапазоні від 0,05 до 1 % приблизно у 3,5 та 2 рази, відповідно. За швидкості розпаду піни за концентрації піногасника від 0,001 до 0,01 % ці піногасники можна розташувати у ряд октанол = пропінол = ВУК-037 < SD-670 < ВУК-1730. Як бачимо з рис. 5, для силіконових піногасників зростання константи швидкості руйнування піни із збільшенням концентрації піногасника є стрімкішим для відповідних діапазонів концентрацій, а для спиртових піногасників подібне зростання відбувається на ширшій ділянці концентрацій.

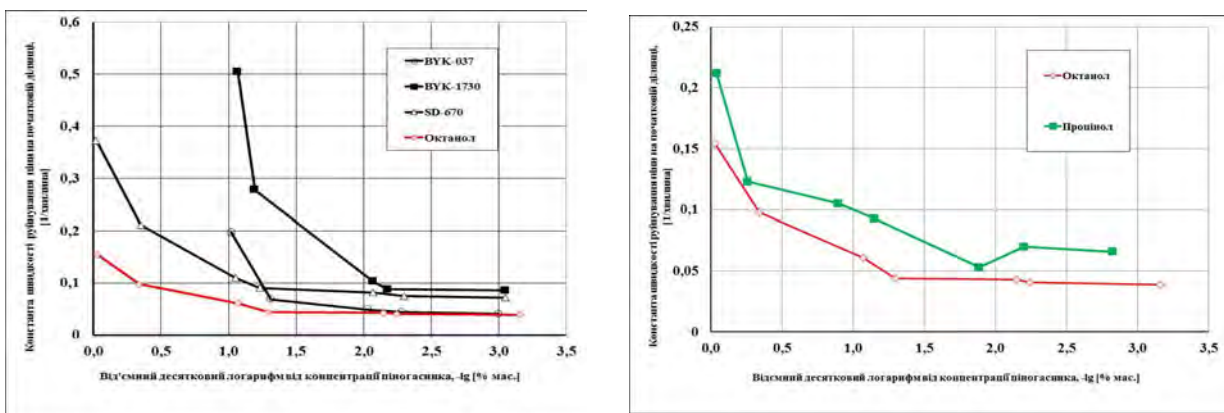


Рис. 5. Залежність констант швидкості руйнування піни від концентрації піногасників

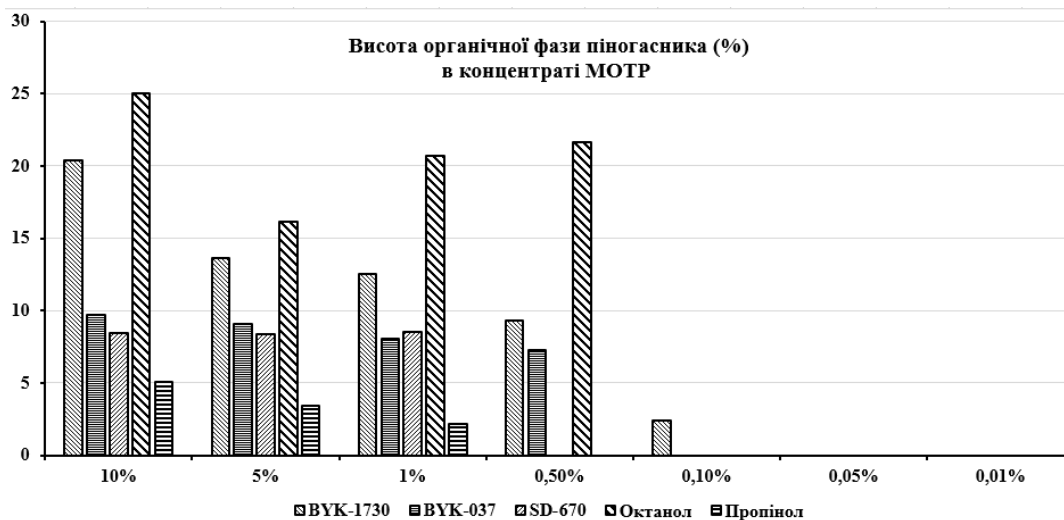


Рис. 6. Порівняння гетерогенності концентрату МОТР для піногасників за різних концентрацій

Під час вивчення силіконових піногасників торгової марки ВУК-037, ВУК-1730, SD-670 та спиртових піногасників октанол і пропінол для концентрованого водного розчину ПАА і ПАР спостерігається каламутність системи, що було зафіксовано після відстоювання на фотографіях. Після обробки фотографій у програмі Visio отримано висоти органічної фази у відсотках від загальної висоти гетерогенної системи, які дають кількісну оцінку гетерогенності та її зміну для

концентрату МОТР за різних концентрацій піногасників (рис. 6). Для силіконового піногасника ВУК-037 гетерогенність спостерігається у межах концентрацій від 0,5 до 10 %. Певне розширення концентраційного діапазону гетерогенності до меж 0,1–10 % бачимо для силіконового піногасника ВУК-1730. Для SD-670 концентраційний діапазон гетерогенності дещо звужується до меж 1–10 %. Гетерогенність для октанолу спостерігається у межах від 0,5 до 10 %, які є трохи ширшими, ніж для пропінолу – від 1 до 10 %.

За концентрацій піногасників 0,5–10-% спостерігається найбільша гетерогенність для усіх досліджених піногасників, і потрібно відзначити, що для цього діапазону помітно збільшується константа швидкості деструкції піни за зростання концентрації. Отже, щоб уникнути істотних проблем під час приготування концентрату МОТР, його зберігання та отримання робочої рідини з належною однорідністю піногасних властивостей можна рекомендувати використовувати усі досліджені піногасники за концентрацій до 0,1 % мас., що є гранично оптимальним для випробуваного концентрованого водного розчину ПАА і ПАР за збереження відносної однорідності системи.

На основі результатів дослідження концентраційних залежностей кінетики руйнування піни, а також враховуючи гетерогенність системи, якої бажано уникнути під час отримання концентрату МОТР, можна рекомендувати для досліджених піногасників як оптимальний діапазон концентрацій – 0,01–0,1 % мас, де візуально не спостерігається утворення двофазної системи. Цей діапазон для піногасника ВУК-1730, який показав найвищу швидкість руйнування піни, є дещо вужчим – 0,01–0,05 % мас. Піногасник пропінол має найширший діапазон концентрацій, у якому візуально відсутня гетерогенність, – 0,01–0,5 % мас. При цьому константи швидкості руйнування піни для цих піногасників, що належать до двох різних за природою груп, мають достатньо близькі величини – ВУК-1730 – 0,086 та пропінол – 0,070 за їх концентрацій у робочій рідині МОТР, відповідно, 0,005 та 0,01 % мас.

Висновки. Встановлено, що початкова висота піни, яка може характеризувати здатність піногасників до запобігання утворенню піни корелює з константою швидкості руйнування піни на початковій ділянці кінетичних кривих для різних концентрацій піногасника. Меншій початковій висоті піни відповідає більша константа швидкості, тобто вища здатність піногасника запобігати утворенню піни закономірно відповідає більшій швидкості руйнування піни на початковій ділянці.

За результатами кінетики руйнування піни можна рекомендувати для досліджених піногасників як оптимальний діапазон концентрацій – 0,01–0,1 % мас, де візуально не спостерігається утворення двофазної системи. Як найефективніші силіконові піногасники марок ВУК-037 та ВУК-1730 доцільно використовувати піногасник SD-670, який має майже такі самі концентраційні межі гетерогенності та початкові константи швидкості, як і пропінол. Октанол має такі самі межі гетерогенності, як і силіконовий піногасник марки ВУК-037, а також константи швидкості для них є близькими: октанол – 0,042, а ВУК-037 – 0,049 за граничної концентрації гетерогенності 0,1 % мас. Кінцеве рішення з вибору певного піногасника необхідно приймати з врахуванням відсутності гетерогенності, а також беручи до уваги ціну відповідного продукту та його питому витрату.

1. Garrett P. R. *The Science of Defoaming: Theory, Experiment and Applications* // CRC PressTaylor & Francis Group – Boca Raton – London – New York, 2014. – 557 p. 2. Комельникова М. Н., Алыков Н. М. *Пенообразование и пеногашение. Современное состояние проблемы.* – Lambert Academic Publishing's foundation (<http://www.lap-publishing.com/>). – 2011. – 128 с. 3. *Foam and Foam Films. Theory, Experiment, Application* / D. Exerowa, P. M. Kruglyakov (Eds.). – Elsevier, 1998 – 773 p. 4. *Metalworking fluids (MWFs) for cutting and grinding Fundamentals and recent advances/ Edited by V. P. Astakhov and S. Joksch.* –

Woodhead Publishing Limited, 2012 – 413 p. 5. Тихомиров В. К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. – М.: Химия, 1983. – 264 с. 6. Кругляков П. М., Ексерова Д. Р. Пена и пенные пленки. – М.: Химия, 1990. – 432 с. 7. Abdolahi F., Moosavian M. A., Vatani A. The Mechanism Action Antifoams // *Journal of Applied Sciences*. – 2005. – No. 5(6). – P. 1122–1129. 8. Шаповал Й. М., Полюжин І. П., Коцан М. П., Полюжин Л. І. Обґрунтування складу технологічних мастильно-охолоджувальних рідин на основі поліакриламідів // *Вісник НУ “Львівська політехніка” “Хімія, технологія речовин та їх застосування”*. – 2015. – № 787. – С. 23–35. 9. Изучение и оценка эффективности различных пеногасителей на биосинтез L-орнитина / Варданян А. А., Тхруни Ф. Н., Балабежян Ц. Р., Агаджанян А. Е., Сагиян А. С. // *Биологический журнал Армении*. – 2008. – 1–2 (60). – С. 86–91. 10. Polyuzhyn L., Bura K., Shapoval Y., Polyuzhyn I. Concentration effect of silicone defoamer with trade name ВУК-037 on foam destruction rate for water solution of polyacrylamide and sodium laureth sulfate // VI Міжнар. молод. наук. форум “Litteris et Artibus” (24–26.11.2016 р.): матер. – Львів: Вид-во НУЛП, 2016. – P. 416–419 – 506 с. 11. Bergeron V., Cooper P., Fischer C., Giernanska-Kahn J., Langevin D., Pouchelon A. Polydimethylsiloxane (PDMS)-based antifoams *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 1997. – Vol. 122. – P. 103–120. 12. Jha B. K., Patist A., Shah D. O. Effect of Antifoaming Agents on the Micellar Stability and Foamability of Sodium Dodecyl Sulfate Solutions // *Langmuir*. – 1999. – Vol. 15, No. 9. – P. 3042–3044. 13. Karakashev S. I., Grozdanova M. V. Foams and antifoams. *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2012. – Vol. 176, No. 177. – P. 1–17. 14. Hackbarth J. J. Multivariate Analyses of Beer Foam Stand. *Journal of the Institute of Brewing*. – 2006. – Vol. 112, No. 1. – P. 17–24. 15. Jha B. K., Christiano S. P., Shah D. O. Silicone Antifoam Performance: Correlation with Spreading and Surfactant Monolayer Packing. – *Langmuir*, 2000. – Vol. 16, No. 26. – P. 9947–9954.