

УДК: 622.765

 10.70769/3030-3214.SRT.4.3.2026.26

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ, ИНТЕНСИВНОСТИ АЭРАЦИИ И СОСТАВА ВОДНОЙ ФАЗЫ НА ГАЗОДИСПЕРСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЛОТАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ



Шакаров Тулкин Исмаатович

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлургия черных, цветных и редких металлов», Алмалыкский филиал НИТУ «МИСИС», Алмалык, Узбекистан

E-mail: shakarovtulkin@gmail.com

ORCID ID: 0009-0001-7433-9045

Science ID: FTV-1225-0047



Пулатов Хусанхон Аёлохонович

Ассистент кафедры «Металлургия черных, цветных и редких металлов», Алмалыкский филиал НИТУ «МИСИС», Алмалык, Узбекистан

E-mail: khusankhonp1905@gmail.com

ORCID ID: 0009-0008-5614-1642

Science ID: MTN-1225-0141

Аннотация. Исследовано совместное влияние концентрации пенообразователя, расхода воздуха и состава водной фазы на формирование пенного слоя и средний диаметр пузырьков в модельных флотационных системах. В первом блоке опытов растворы реагента Т-92 концентрацией 0,001-0,010 % аэрировали при расходах 84,8; 138,0 и 328,8 см³/мин. Определяли максимальную высоту пены, время ее образования и разрушения. Во втором блоке оценивали концентрационные зависимости среднего диаметра Заутера d_{32} для пенообразователей Т-92, ПФ-1304 и DF-1012 в дистиллированной и водопроводной воде. Установлено нелинейное усиление пенообразования Т-92 при одновременном повышении концентрации и расхода воздуха. При расходе 328,8 см³/мин увеличение концентрации Т-92 от 0,001 до 0,010% повысило высоту пены с 7 до 35 мм, время образования – с 5 до 40 с, а время разрушения – с 6 до 20 с. Для реагентов Т-92, ПФ-1304 и DF-1012 увеличение концентрации сопровождалось снижением d_{32} . При общей концентрации 0,03 мг/л значения d_{32} в водопроводной воде составили 2,40; 2,07 и 1,99 мм, а в дистиллированной – 1,98; 0,91 и 0,89 мм для Т-92, ПФ-1304 и DF-1012 соответственно. Показано, что действие пенообразователя зависит от состава воды и определяется не только общей концентрацией растворённых солей. Научная новизна работы заключается в совместной количественной оценке влияния расхода воздуха и состава воды на образование пены и размер пузырьков. Для оптимизации флотационного процесса рекомендуется контролировать дозировку пенообразователя, ионный состав оборотной воды и фактический расход воздуха.

Ключевые слова: флотация, пенообразователь, Т-92, ПФ-1304, DF-1012, расход воздуха, состав воды, средний диаметр Заутера, дисперсность пузырьков, коалесценция, устойчивость пены, оборотная вода, газосодержание, реагентный режим.

Received: 05.08.2026

Accepted: 08.09.2026

Issue publication: 28.09.2026

KO‘PIK HOSIL QILUVCHILAR KONSENTRATSIYASI, AERATSIYA JADALLIGI VA SUVLI FAZA TARKIBINING FLOTATSIYA TIZIMINING GAZ-DISPERS XUSUSIYATLARIGA TA’SIRI

Shakarov Tulkin Ismatovich

*Texnika fanlari nomzodi, dotsent, Olmaliq shahridagi "MISIS"
Milliy tadqiqot texnologik universiteti filiali "Qora, rangli va
nodir metallar metallurgiyasi" kafedrası, Olmaliq, O'zbekiston*

Pulatov Xusanxon A'loxonovich

*Assistent, Olmaliq shahridagi "MISIS" Milliy tadqiqot texnologik
universiteti filiali "Qora, rangli va nodir metallar metallurgiyasi"
kafedrası, Olmaliq, O'zbekiston*

Annotatsiya. Ko'pik hosil qiluvchi reagent konsentratsiyasi, havo sarfi va suv fazasi tarkibining model flotatsiya tizimlarida ko'pik qatlaminining shakllanishi hamda pufakchalarning o'rtacha diametriga birgalikdagi ta'siri o'rganildi. Tajribalarning birinchi bosqichida konsentratsiyasi 0,001-0,010% bo'lgan T-92 reagenti eritmalari 84,8; 138,0 va 328,8 sm³/min havo sarflarida aeratsiya qilindi. Ko'pikning maksimal balandligi, uning hosil bo'lish va parchalanish vaqti aniqlandi. Ikkinchi bosqichda T-92, PF-1304 va DF-1012 ko'pik hosil qiluvchi reagentlari uchun distillangan hamda vodoprovod suvida Zauterning o'rtacha diametric – d_{32} ning konsentratsiyaga bog'liqligi baholandi. T-92 reagenti konsentratsiyasi va havo sarfi bir vaqtda oshirilganda ko'pik hosil bo'lishining noxizizqli ravishda kuchayishi aniqlandi. Havo sarfi 328,8 sm³/min bo'lganda T-92 konsentratsiyasining 0,001 dan 0,010 % gacha oshirilishi ko'pik balandligini 7 dan 35 mm gacha, uning hosil bo'lish vaqtini 5 dan 40 s gacha, parchalanish vaqtini esa 6 dan 20 s gacha oshirdi. T-92, PF-1304 va DF-1012 reagentlari konsentratsiyasining oshishi d_{32} qiymatining kamayishi bilan kechdi. Umumiy konsentratsiya 0,03 mg/l bo'lganda T-92, PF-1304 va DF-1012 reagentlari uchun d_{32} qiymatlari vodoprovod suvida mos ravishda 2,40; 2,07 va 1,99 mm ni, distillangan suvda esa 1,98; 0,91 va 0,89 mm ni tashkil etdi. Ko'pik hosil qiluvchi reagentning ta'siri suv tarkibiga bog'liq bo'lib, faqat erigan tuzlarning umumiy konsentratsiyasi bilan belgilanmasligi ko'rsatildi. Ishning ilmiy yangiligi havo sarfi va suv tarkibining ko'pik hosil bo'lishi hamda pufakchalar o'lchamiga ta'sirini birgalikda miqdoriy baholashdan iborat. Flotatsiya jarayonini optimallashtirish uchun ko'pik hosil qiluvchi reagent dozasi, aylanma suvning ion tarkibi va havoning amaldagi sarfini nazorat qilish tavsiya etiladi.

Kalit so'zlar: flotatsiya, ko'pik hosil qiluvchi reagent, T-92, PF-1304, DF-1012, havo sarfi, suv tarkibi, Zauter diametric, pufakchalar dispersligi, koalesensiya, ko'pik barqarorligi, aylanma suv, gaz miqdori, reagent rejimi.

EFFECT OF FOAMING AGENT CONCENTRATION, AERATION INTENSITY, AND AQUEOUS PHASE COMPOSITION ON THE GAS- DISPERSION CHARACTERISTICS OF A FLOTATION SYSTEM

Shakarov Tulkin Ismatovich

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department
of Metallurgy of Ferrous, Non-Ferrous and Rare Metals, Almalyk
Branch of NUST MISIS, Almalyk, Uzbekistan*

Pulatov Xusanxon A'lokhonovich

*Assistant, Department of Metallurgy of Ferrous, Non-Ferrous and
Rare Metals, Almalyk Branch of NUST MISIS, Almalyk,
Uzbekistan*

Abstract. The combined effects of frother concentration, air flow rate, and aqueous-phase composition on froth-layer formation and mean bubble diameter in model flotation systems were investigated. In the first series of experiments, T-92 solutions with concentrations ranging from 0.001 to 0.010% were aerated at flow rates of 84.8, 138.0, and 328.8 cm³/min. The maximum froth height, froth formation time, and froth decay time were determined. In the second series, the concentration dependence of the Sauter mean bubble diameter (d_{32}) was evaluated for T-92, PF-1304, and DF-1012 frothers in distilled and tap water. A nonlinear enhancement of the frothing performance of T-92 was observed with the simultaneous increase in frother concentration and air flow rate. At an air flow rate of 328.8 cm³/min, increasing the T-92 concentration from 0.001 to 0.010% increased the froth height from 7 to 35 mm, the froth formation time from 5 to 40 s, and the froth decay time from 6 to 20 s. For T-92, PF-1304, and DF-1012, increasing the frother concentration resulted in a decrease in d_{32} . At a concentration of 0.03 mg/L, the d_{32} values in tap water were 2.40, 2.07, and 1.99 mm, whereas those in distilled water were 1.98, 0.91, and 0.89 mm for T-92, PF-1304, and DF-1012, respectively. The results demonstrate that frother performance depends on water composition and cannot be explained solely by the total concentration of dissolved

salts. The scientific novelty of this study lies in the combined quantitative assessment of the effects of air flow rate and water composition on froth formation and bubble size. To optimize the flotation process, it is recommended to control the frother dosage, the ionic composition of the process water, and the actual air flow rate.

Keywords: froth flotation, frother, T-92, PF-1304, DF-1012, air flow rate, water composition, Sauter mean diameter, bubble dispersion, coalescence, froth stability, recycled water, gas holdup, reagent regime.

Введение. Эффективность флотации зависит не только от гидрофобности минералов, но и от характеристик воздушных пузырьков и пенного слоя. Важное значение имеют размер пузырьков, площадь поверхности контакта между воздухом и жидкостью, содержание воздуха в пульпе и устойчивость пены. Пенообразователь препятствует объединению мелких пузырьков в крупные и влияет на прочность жидких плёнок между ними. Благодаря этому изменяется вероятность столкновения и закрепления минеральных частиц на пузырьках. При недостатке пенообразователя образуются крупные пузырьки разного размера. При слишком высокой дозировке пена становится чрезмерно устойчивой, что может увеличить вынос воды и породных частиц в концентрат.

Свойства пенообразователя нельзя оценивать только по одному показателю. Для его характеристики используют критическую концентрацию коалесценции (ССС), динамический индекс пенообразования, средний диаметр пузырьков по Заутеру и время разрушения пены. На размер и устойчивость пузырьков также влияют собиратели и другие поверхностно-активные вещества, которые не относятся к пенообразователям [1, 2]. Поэтому при лабораторных исследованиях необходимо учитывать не только концентрацию пенообразователя, но и состав жидкой фазы.

Использование оборотной воды на обогатительных фабриках приводит к постоянному изменению её ионного состава. Качество воды влияет на взаимодействие пузырьков с минеральными частицами [3, 4]. При этом различные катионы и анионы могут по-разному изменять устойчивость пены [5]. Увеличение концентрации растворённых солей влияет на поверхностное натяжение, объединение пузырьков, их средний диаметр d_{32}

и устойчивость пенного слоя [6]. Дополнительное влияние оказывает совместное применение пенообразователей и собирателей, от которого зависят свойства пены и скорость закрепления частиц на пузырьках [7, 8]. Исследования с использованием морской и водопроводной воды также показывают, что действие пенообразователя во многом зависит от состава воды [9].

Цель работы – установить количественные закономерности влияния концентрации пенообразователей, расхода воздуха и типа воды на параметры пенного слоя и средний диаметр пузырьков. Для достижения цели решены следующие задачи: исследована кинетика пенообразования Т-92 при трех уровнях аэрации; построены концентрационные зависимости d_{32} для Т-92, ПФ-1304 и DF-1012 в двух водных средах; выполнено сопоставление реагентов при общей концентрации 0,03 мг/л; сформулированы ограничения переноса лабораторных результатов на оборотную воду промышленного объекта.

Материалы и методы исследований. Исследование проводилось нами разработанной установкой для изучения пенообразующих характеристик реагентов пенообразователей, с использованием флотационных пенообразователей Т-92 (оксаль), ПФ-1304 и DF-1012 в дистиллированной воде. Исследуемые концентрации составляли 0,001; 0,002; 0,004 и 0,010 %. Объем раствора – 100 мл. После перемешивания при 1000 мин⁻¹ в течение 4 мин раствор помещали в мерный цилиндр внутренним диаметром 25 мм и высотой 400 мм (рисунок 1). Воздух подавался компрессором через пористый диспергатор. Расход регулировали ротаметром и предварительно калибровали объемным методом; рабочие значения составили 84,8; 138,0 и 328,8 см³/мин. Каждый опыт проводили три раза, а на графиках

представлены средние значения полученных результатов.

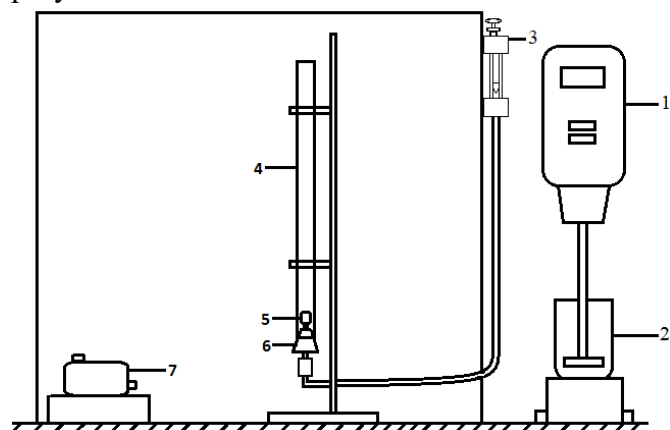


Рис.1. Схема установки для изучения пенообразующих характеристик реагентов пенообразователей:

1 – мешалка; 2 – стакан; 3 – ротаметр; 4 – мерный цилиндр; 5 – диспергатор воздуха; 6 – пробка; 7 – компрессор.

В ходе опытов измеряли максимальную высоту пены, время её образования и продолжительность разрушения. Объём пены рассчитывали с учётом размеров цилиндра. Расход воздуха определяли по времени прохождения контрольного объёма воздуха, равного 40 мл. Расход воздуха рассчитывали по формуле:

$$Q = \frac{V}{t} \cdot 60, \quad V = \frac{\pi D^2 h}{4} \quad (1)$$

Таблица 1.

Измерение расхода воздуха при 40 мл

Шкала ротаметра	Расход воздуха см³/с			Среднее арифметическое см³/с	Расход воздуха см³/мин
10	28,7	28,1	28	28,3	84,8
20	16,5	17,7	17,9	17,4	138
40	7,04	7,33	7,4	7,3	328,8

Во второй серии опытов изучали действие пенообразователей Т-92, ПФ-1304 и DF-1012 в дистиллированной и водопроводной воде. Концентрацию каждого реагента изменяли в пределах, при которых заметно менялся размер пузырьков: 0,001-0,24 мг/л для дистиллированной воды и 0,005-0,16 мг/л для водопроводной. Пузырьки фотографировали рядом с масштабной шкалой, затем по снимкам определяли их размеры и рассчитывали средний диаметр Заутера по формуле:

$$d_{32} = \frac{\sum(n_i d_i^3)}{\sum(n_i d_i^2)} \quad (2)$$

Результаты и их обсуждение.

Концентрация Т-92 и расход воздуха одновременно влияли на высоту пены (рисунок 2). При увеличении концентрации Т-92 от 0,001 до 0,010 % высота пены возрастала с 3 до 6 мм при расходе воздуха 84,8 см³/мин, с 5 до 10 мм — при 138,0 см³/мин и с 7 до 35 мм — при 328,8 см³/мин. Наибольшее увеличение наблюдалось при максимальном расходе воздуха: высота пены возросла в 5 раз.

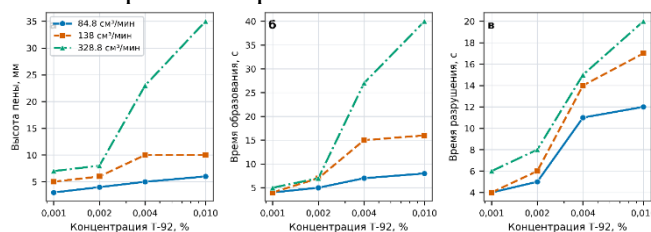


Рис.2. Влияние концентрации Т-92 при различном расходе воздуха:

а – высота пены; б – время образования; в – время разрушения.

При расходе воздуха 328,8 см³/мин увеличение концентрации Т-92 с 0,004 до 0,010% привело к росту высоты пены с 23 до 35 мм. При этом время её образования увеличилось с 27 до 40 с, а время разрушения – с 15 до 20 с. Это означает, что концентрация реагента влияет не только на количество воздуха, удерживаемого в пене, но и на свойства тонких плёнок между пузырьками. Рост концентрации пенообразователей повышает устойчивость пузырьков и препятствует коалесценции. Одновременно увеличение расхода воздуха повышает количество пузырьков и частоту их столкновений. Совместное влияние этих факторов особенно заметно при концентрации выше 0,002%.

Полученные результаты подтверждают существование критической области коалесценции пузырьков (ССС). Однако одного значения критической концентрации недостаточно для полной оценки эффективности пенообразователя [2, 3]. В условиях реальной флотационной пульпы более устойчивая пена может улучшать извлечение тонких частиц. Вместе с тем слишком медленное разрушение пены увеличивает вынос воды и может снизить селективность процесса. Поэтому концентрацию Т-92, равную 0,004%, при высоком

расходе воздуха следует рассматривать как рекомендуемое начальное значение для дальнейших испытаний на минеральной пульпе, а не как окончательно установленный оптимальный режим.

Для реагентов – Т-92, ПФ-1304 и DF-1012 – увеличение концентрации приводило к уменьшению среднего диаметра пузырьков d_{32} . После достижения определённой концентрации размер пузырьков практически не изменялся (рисунок 3).

В дистиллированной воде при использовании ПФ-1304 диаметр пузырьков уменьшился с 2,00 до 0,78-0,81 мм при концентрации 0,045-0,057 мг/л. Реагент DF-1012 обеспечил размер пузырьков 0,84-0,92 мм при концентрации 0,020-0,050 мг/л. При использовании Т-92 близкие значения – 0,91-1,03 мм – были получены только при более высокой концентрации 0,09-0,24 мг/л. В дистиллированной воде ПФ-1304 и DF-1012 эффективнее образовывали мелкие пузырьки при меньшем расходе реагента.

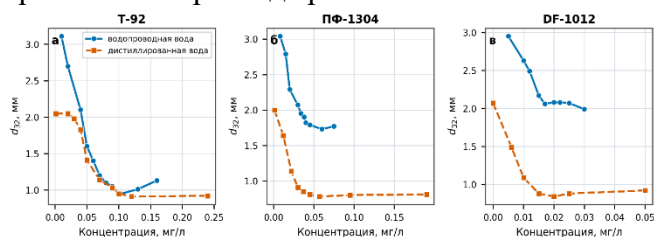


Рис.3. Зависимость среднего диаметра Заутера (d_{32}) от концентрации пенообразователя в водопроводной и дистиллированной воде:
 а – Т-92; б – ПФ-1304; в – DF-1012.

В водопроводной воде изменение размера пузырьков зависело от типа пенообразователя. При использовании Т-92 средний диаметр пузырьков d_{32} уменьшился с 3,11 мм при концентрации 0,01 мг/л до 0,94 мм при 0,10 мг/л, после чего почти не изменялся. Для ПФ-1304 минимальное значение d_{32} , равное 1,73 мм, было получено при концентрации 0,06 мг/л. При использовании DF-1012 диаметр пузырьков составил 1,99 мм при максимальной исследованной концентрации 0,03 мг/л. Полученные различия показывают, что растворённые в воде вещества по-разному

влияют на действие каждого пенообразователя, устойчивость пузырьков и скорость разрушения плёнок между ними.

Таблица 2.
Сопоставление d_{32} при общей концентрации 0,03 мг/л

Пенообразователь	Водопроводная вода, мм	Дистиллированная вода, мм	Отношение $d_{32, \text{вод}} / d_{32, \text{дист}}$
Т-92	2,40	1,98	1,21
ПФ-1304	2,07	0,91	2,27
DF-1012	1,99	0,89	2,24

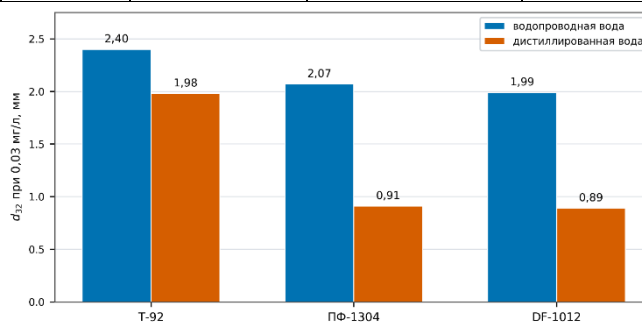


Рис.4. Сопоставление d_{32} при концентрации 0,03 мг/л (значения получены по экспериментальным кривым; для отсутствующих точек применена линейная интерполяция).

При одинаковой концентрации пенообразователей 0,03 мг/л пузырьки в водопроводной воде были крупнее, чем в дистиллированной. Для Т-92 их диаметр увеличился на 21%, для ПФ-1304 – в 2,27 раза, а для DF-1012 – в 2,24 раза (таблица 2; рисунок 4). Поскольку химический состав водопроводной воды не определялся, связать полученный эффект с конкретными ионами невозможно. Однако результаты показывают, что действие пенообразователя заметно зависит от состава воды. Необходимость учитывать влияние растворённых ионов ранее отмечалась при флотации сульфидных руд. Исследования технологии HydroFloat также подтвердили, что концентрация пенообразователя и солёность воды существенно влияют на размер пузырьков [9].

В некоторых условиях растворённые соли повышают устойчивость пены и препятствуют объединению пузырьков. Однако характер их воздействия зависит от вида и концентрации солей, расхода собирателя и свойств пенообразователя. Поэтому образование более

крупных пузырьков в водопроводной воде не противоречит опубликованным данным. Для прогнозирования процесса недостаточно знать только общую минерализацию воды. Необходимо также учитывать её жёсткость, щёлочность, содержание органических примесей и их влияние на адсорбцию реагента. Исследования новых пенообразователей, включая биосовместимые производные витамина Е, показали их взаимодействие с NaCl [10]. Сравнение спиртовых и полигликолевых пенообразователей также подтвердило, что состав воды по-разному влияет на свойства отдельных реагентов [11]. Следовательно, дозировку пенообразователя необходимо подбирать с учётом качества используемой воды.

На практике рекомендуется одновременно контролировать два параметра. Во-первых, необходимо поддерживать стабильный расход воздуха, чтобы не допускать чрезмерного образования устойчивой пены. Во-вторых, дозировку пенообразователя следует корректировать при изменении состава оборотной воды [12]. Применение постоянной дозировки без учёта качества воды может привести к изменению среднего диаметра пузырьков d_{32} более чем в два раза.

Ограничения исследования и направления дальнейших работ. Исследования проводили в модельных системах, состоящих только из воды и воздуха, без добавления минеральных частиц. Поэтому полученные показатели пены нельзя напрямую связывать с извлечением полезного компонента или качеством концентрата. Кроме того, химический состав водопроводной воды не определялся: отсутствуют данные о содержании Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , общей минерализации и растворённом органическом углероде. В исходных данных также не приведены результаты всех трёх повторных опытов для каждого показателя. По этой причине доверительные интервалы и статистическую значимость различий не рассчитывали.

В дальнейшем необходимо провести полный химический анализ воды, измерить динамическое поверхностное натяжение и содержание воздуха в системе, а также определить распределение пузырьков по

размерам. Следующий этап должен включать флотационные опыты с минеральной пульпой и оценку извлечения, содержания полезного компонента в концентрате и выноса воды в пенный продукт. Рекомендуется одновременно изучать влияние типа и концентрации реагента, расхода воздуха и ионного состава воды. Статистическая обработка результатов позволит определить влияние каждого фактора и их совместное действие. Это даст возможность перейти от экспериментального подбора дозировки к более точному и прогнозируемому управлению процессом флотации.

Выводы:

1 Установлено совместное нелинейное влияние концентрации Т-92 и расхода воздуха на высоту, время образования и разрушения пенного слоя. При 328,8 см³/мин повышение концентрации Т-92 с 0,001 до 0,010% увеличило высоту пены в 5 раз – h с 7 до 35 мм.

2 Для пенообразователей – Т-92, ПФ-1304 и DF-1012 – повышение концентрации приводило к уменьшению среднего диаметра Заутера. После достижения определённой концентрации размер пузырьков почти не изменялся, поскольку поверхность раздела воздуха и воды насыщалась молекулами реагента, и объединение пузырьков ограничивалось.

3 При концентрации 0,03 мг/л пузырьки в водопроводной воде были крупнее, чем в дистиллированной: в 1,21 раза для Т-92 и более чем в 2,2 раза для ПФ-1304 и DF-1012. Это показывает, что влияние состава воды зависит от типа применяемого пенообразователя.

4 Для промышленной оптимизации необходимо одновременно контролировать фактический расход воздуха, дозировку пенообразователя и ионный состав оборотной воды. Окончательный выбор реагента и дозировки должен подтверждаться трехфазными испытаниями по извлечению и качеству концентрата.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Wang, J., Forbes, G., & Forbes, E. (2022). Frother characterization using a novel bubble size measurement technique. *Applied Sciences*, 12(2), 750. <https://doi.org/10.3390/app12020750>
- [2] Saavedra Moreno, Y., Bournival, G., & Ata, S. (2022). Classification of flotation frothers—A statistical approach. *Chemical Engineering Science*, 248, 117252. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2021.117252>
- [3] Karakashev, S. I., Grozev, N. A., Ozdemir, O., Batjargal, K., Guven, O., Ata, S., Bournival, G., Boylu, F., & Çelik, M. S. (2021). On the frother's strength and its performance. *Minerals Engineering*, 171, 107093. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.107093>
- [4] Pan, Y., Bournival, G., & Ata, S. (2021). The role of non-frothing reagents on bubble size and bubble stability. *Minerals Engineering*, 161, 106652. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106652>
- [5] Pan, Y., Bournival, G., & Ata, S. (2022). Foaming behaviour of frothers in the presence of PAX and salt. *Minerals Engineering*, 178, 107405. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2022.107405>
- [6] Pan, Y., Gresham, I., Bournival, G., Prescott, S., & Ata, S. (2022). Synergistic effects of frothers, collector and salt on bubble stability. *Powder Technology*, 397, 117028. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.117028>
- [7] Pan, Y., Bournival, G., Karakashev, S. I., Yang, B., Wang, L., & Ata, S. (2022). Effect of electrolyte and flotation collector on foam films in the presence of frothers. *Chemical Engineering Science*, 264, 118176. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2022.118176>
- [8] October, L. L., Manono, M. S., Wiese, J. G., Schreithofer, N., & Corin, K. C. (2021). Fundamental and flotation techniques assessing the effect of water quality on bubble-particle attachment of chalcopyrite and galena. *Minerals Engineering*, 167, 106880. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.106880>
- [9] Manono, M. S., & Corin, K. C. (2022). Considering specific ion effects on froth stability in sulfidic Cu-Ni-PGM ore flotation. *Minerals*, 12(3), 321. <https://doi.org/10.3390/min12030321>
- [10] Gungoren, C., Muse, S. M., Terzi, M., Eskibalci, M. F., Kursun Unver, I., & Ozdemir, O. (2023). Synergistic effect of frequently found ions in the flotation of Pb-Zn sulfide ores on air/water interface. *Minerals*, 13(10), 1236. <https://doi.org/10.3390/min13101236>
- [11] Абрамов, А. А. (2008). Флотационные методы обогащения: Учебник для вузов (3-е изд., перераб. и доп., Т. IV). МГГУ.
- [12] Шакаров, Т. И., & Хасанов, А. С. (2025). Фойдали қазилмаларни бойитиш ва қайта ишлаш асослари: Олий ўқув юртлари учун дарслик. «Мухаррир» нашриёти.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Шакаров, Т. И., & Пулатов, Х. А. (2026). Влияние концентрации пенообразователей, интенсивности аэрации и состава водной фазы на газодисперсные характеристики флотационной системы. *Цифровые технологии в промышленности*, 4(3). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3.2026.26>
