

УДОСКОНАЛЕННЯ ДЕЯКИХ ЕЛЕМЕНТІВ НАПІРНО-ФЛОТАЦІЙНОГО ОЧИСНОГО КОМПЛЕКСУ

Тетяна Аргатенко

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, пр. Повітрофлотський, м. Київ, Україна, 03037
канд. техн. наук, доцент, argatenko.tv@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0003-2516-2906

DOI: [10.32347/2524-0021.2020.33.4-10](https://doi.org/10.32347/2524-0021.2020.33.4-10)

Анотація. Запропоновано ряд удосконалень схем напірно-флотаційної обробки промислових стічних вод. Розглядаються класичний варіант організації схеми напірної флотації з компресорним нагнітанням повітря в вертикальний сатуратор та схема з горизонтальним трубчастим сатуратором. Для класичного варіанту пропонується повна відмова від компресора за рахунок використання можливості насоса всмоктувати атмосферне повітря через окремих пристрій за типом ротаметра разом з робочою рідиною з накопичувальної ємності. Такі зміни дозволять суттєво зменшити капітальні витрати за рахунок ціни компресора та експлуатаційні витрати за рахунок відповідного споживання компресором електроенергії. Врахувавши недоліки трубчастого сатуратора, пропонується варіант, який збереже переваги горизонтального розташування ємності для розчинення у воді повітря і водночас гарантує від можливості потрапляння у флотатор нерозчиненого атмосферного повітря, як це може траплятися у вертикальному сатураторі. Система сатурації складається з кількох окремих трубчастих елементів, розташованих з ухилом 0,002...0,005 за рухом рідини і закріплених на спільній рамі. Таке конструювання системи сатурації повітря у робочу рідину дає можливість уникнути небезпеки проривання нерозчиненого повітря безпосередньо у флотатор.

Ключові слова: напірна флотація; сатуратор; трубчатий сатуратор.

ВСТУП

Напірна флотація широко використовується при очистці промислових стічних вод від нафтопереробних та хімічних виробництв, заводів з переробки природного газу, паперових фабрик, підприємств харчової промисловості, фармацевтичних заводів, текстильних фабрик, автотомівок тощо [1, 2, 3, 4]. Серед традиційних методів очистки стічних вод з метою вилучення завислих та емульгованих домішок, жирів, масел, поверхнево-активних речовин найбільш ефективними

вважаються флотаційні технології через високий рівень очистки при високих концентраціях нафтопродуктів, жирів та завислих речовин; мінімальний рівень відходів та затрат на їх утилізацію; мінімальні площі під установку; низькі енергозатрати [5]. Одним із найпоширеніших флотаційних технологій, є напірна флотація, яка має ряд суттєвих переваг над іншими. Зокрема, мінімальний рівень відходів, та затрат на їх утилізацію при високих (93...98%) ефектах вилучення домішок, компактність установок [4]. Ефективність флотації забезпечується моле-

кулярним прилипанням частинки забруднення до поверхні розділу «газ-рідина», формуванням комплексу «частинка-бульбашка», який спливає на поверхню й видаляється різними способами [6]. Діаметр газових бульбашок має визначальний вплив на перебіг процесу флотації. За даними низки досліджень для різних категорій забруднень оптимальний розмір бульбашок становить 15...400 мкм. Зокрема, авторами [6, 7] визначено, що рекомендованим є розмір бульбашок 150 мкм. Водночас, авторами [6] показано, що напірно-флотаційні методи програють іншим способам отримання водо-повітряної суміші за енергозатратами, що становлять, в середньому 2...5 кВт/год на отримання 1 куб.м газу. Метою даної роботи було вдосконалення традиційних схем напірно-флотаційних установок з метою усунення їх основних недоліків.

Традиційна схема очисного комплексу для напірної флотації промислових стічних вод [8, 9] обов'язково містить наступні елементи: насос, що подає робочу рідину від накопичувальної ємності до сатуратора; компресор для подачі атмосферного повітря у трубопровід перед сатуратором; сатуратор для розчинення атмосферного повітря у робочій рідині; запірно-регульовальний пристрій безпосередньо перед флотатором, який забезпечує формування рівня тиску у трубопроводах між насосом і сатуратором та між сатуратором і флотатором у межах 0,3...0,5 МПа [7].

ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Традиційна схема очисного комплексу для напірної флотації промислових стічних вод [1] обов'язково містить наступні елементи: насос, що подає робочу рідину від накопичувальної ємності до сатуратора; компресор для подачі атмосферного повітря у трубопровід перед сатуратором; сатуратор для розчинення атмосферного повітря у робочій рідині; запірно-регульовальний пристрій безпосередньо

перед флотатором, який забезпечує формування рівня тиску у трубопроводах між насосом і сатуратором та між сатуратором і флотатором у межах 0,3...0,5 МПа.

У такій схемі компресор повинен забезпечувати рівень тиску не менше ніж на 12...18% вищий від тиску, який створює насос (тобто 0,6...0,65 МПа). Перерва у подачі компресором повітря у напірний трубопровід насоса з будь-яких причин призводить до автоматичного порушення нормального перебігу процесу розчинення повітря, а отже – до зникнення самого явища напірної флотації. Ось чому автором пропонується варіант повної відмови від включення в схему компресора за рахунок використання можливості насоса всмоктувати разом з робочою рідиною з накопичувальної ємності атмосферне повітря через окремих пристрій за типом ротаметра (рис.1).

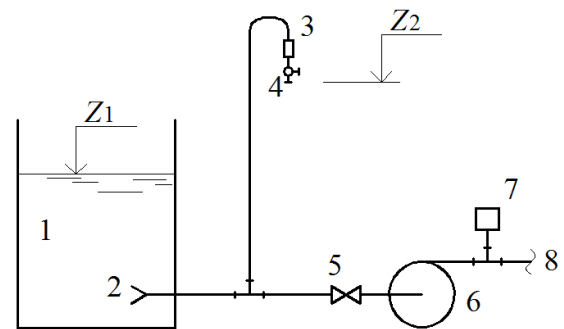


Рис. 1. Схема підключення насоса без використання компресора:

1 – ємність з робочою рідиною; 2 – всмоктувальний патрубок; 3 – ротаметр; 4 – вентиль ротаметра; 5 – засувка на всмоктувальному трубопроводі насоса; 6 – насос; 7 – манометр; 8 – напірний трубопровід до сатуратора; Z_1 – максимальний рівень робочої рідини; Z_2 – мінімальний рівень вхідного отвору ротаметра; $Z_2 - Z_1 = 0,4 \dots 0,5$ м

Fig. 1. Wiring diagram of the pump without the use of a compressor:

1 – tank with working fluid; 2 – suction pipe; 3 – rotameter; 4 – rotameter valve; 5 – latch on the suction line of the pump; 6 – pump; 7 – manometer; 8 – pressure pipe to the saturator; Z_1 – maximum level of working fluid; Z_2 – the minimum level of the inlet of the rotameter; $Z_2 - Z_1 = 0.4 \dots 0.5$ m

Співвідношення витрат повітря через ротаметр (3) q_p , $\text{дм}^3/\text{хв}$ та робочої рідини через патрубок (2) q_r , $\text{дм}^3/\text{хв}$ повинно знаходитись у межах 6...8%, де мінімальний рівень має забезпечувати умови утворення у флотаторі достатнього об'єму газової фази, а максимальний рівень не повинен створювати загрозу виникнення кавітаційних явищ у насосі.

Очевидно, що всмоктування повітря в насос змінюватиме параметри робочої характеристики "Q-H" насоса орієнтовно так, як це показано на рис.2.

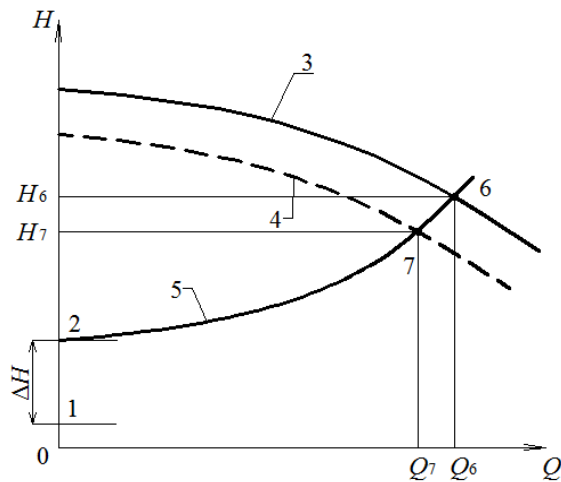


Рис.2. Характеристики взаємодії насоса і напірного трубопроводу:

1 – рівень води у флотаторі; 2 – тиск у напірному трубопроводі; 3 – характеристика "Q-H" насоса без усмоктування повітря; 4 – характеристика "Q-H" насоса при всмоктуванні повітря; 5 – характеристика втрат напору в напірному трубопроводі; 6 – робоча точка насоса без усмоктування повітря; 7 – робоча точка насоса при всмоктуванні повітря

Fig.2. Characteristics of interaction of the pump and the pressure head pipeline:

1 – water level in the floater; 2 – pressure in the pressure pipeline; 3 – characteristics of the "Q-H" pump without air suction; 4 – characteristic "Q-H" at the pump suction air; 5 – characteristic of pressure losses in the pressure pipeline; 6 – operating point of the pump without air suction; 7 – operating point of the pump when sucking air

Витрата робочої характеристики Q_6 і напір H_6 відповідають умовам роботи насоса без усмоктування повітря, а Q_7 і H_7 – при усмоктуванні повітря. Рівень тиску

H_7 повинен забезпечувати тиск 2 у межах 0,3...0,5 МПа. В цьому випадку стрибок тиску безпосередньо у флотаторі (ΔH) і забезпечує утворення водоповітряної суміші з належним ступенем диспергування газової фази для реалізації процесу очищення стічних вод від флотованих забруднень.

Технологічно на початку запуску системи напірної флотації в роботу засувка (5) та вентиль (4) на рис.1 повинні бути повністю відкриті. Запірно-регулювальний пристрій перед флотатором має бути приведеним у положення, при якому за умов дотримання розрахункової витрати робочої рідини q_r , $\text{дм}^3/\text{хв}$ манометр (7) насоса зафіксує тиск близько 0,6...0,65 МПа. Після цього частковим прикриванням засувки (5) забезпечується всмоктування повітря через ротаметр (3), а вентилем (4) регулюється розрахункова витрата повітря в межах 6...8% від витрати робочої рідини.

Таким чином, запропонована схема дозволить суттєво зменшити капітальні витрати за рахунок ціни компресора та експлуатаційні витрати за рахунок відповідного споживання компресором електроенергії.

Конструкція сатуратора для розчинення у робочій рідині атмосферного повітря традиційно являє собою вертикально розташований герметичний циліндр (рис.3).

Одним із суттєвих недоліків такого пристрою є проблема контролю за рівнем робочої рідини у кожний момент часу. Якщо, наприклад, витрата повітря, що надходить у сатуратор від компресора, буде більшою від витрати розчиненого повітря за час перебування робочої рідини у сатураторі, рівень рідини може знижуватись настільки швидко, що виникне небезпека проривання повітря через запірно-регулюючий пристрій безпосередньо у флотатор. Це повністю порушує процес флотації й очистки стічної води.

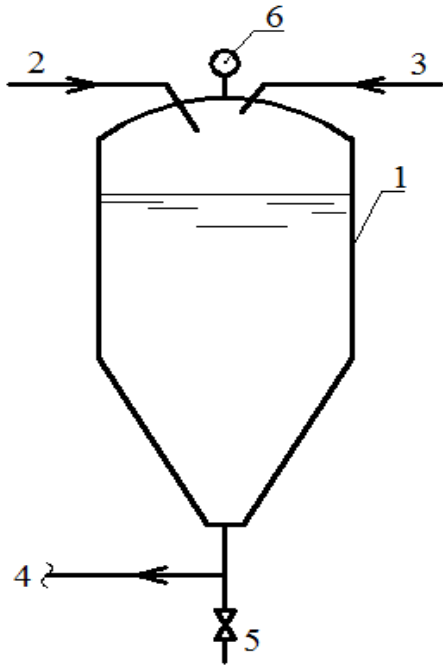


Рис.3. Схема конструкції вертикального сатуратора:

1 – корпус сатуратора; 2 – подача робочої рідини від насоса; 3 – подача атмосферного повітря від компресора; 4 – вихід робочої рідини з розчиненим повітрям до запірно-регулювального пристрою; 5 – спорожнення сатуратору; 6 – манометр.

Примітка: позиція 3 у запропонованому автором варіанті відсутня

Fig.3. The design scheme of the vertical saturator:

1 – saturator housing; 2 – supply of working liquid from the pump; 3 – supply of atmospheric air from the compressor; 4 – output of the working fluid with dissolved air to the shut-off-regulating device; 5 – emptying of the saturator; 6 – manometer.

Note: position 3 in the version proposed by the author is absent

У 2013 р. було запропоновано [10] конструкцію сатуратора у вигляді гнучкої трубчастої системи. Але при відносно невеликому її діаметрі та з урахуванням тривалості розчинення повітря у робочій рідині (за різною інформацією, від 6 до 12...18 хв) довжина такого сатуратора може сягати декількох десятків метрів. Тому автором пропонується свій варіант сатуратора, який збереже переваги горизонтального розташування ємності, що сприяє інтенсифікації розчинення у воді

повітря і водночас гарантує від можливості потрапляння у флотатор нерозчиненого атмосферного повітря, як це може траплятися у вертикальному сатураторі.

Суть цієї пропозиції полягає в наступному. Система сатурації складається з декількох (від 3-х до 5-ти) окремих елементів, кожний із яких виглядає так, як це показано на рис.4. Діаметр і довжина кожного окремого елемента може бути розрахована індивідуально для різних за витратою схем напірної флотації.

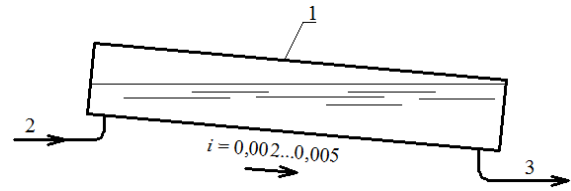


Рис.4. Елемент системи сатурації:

1 – металева або пластмасова труба діаметром 100...150 мм, довжиною 1,8...2,5 м; 2 – впуск робочої рідини з повітрям від насоса (або від попереднього елемента); 3 – випуск робочої рідини з частково розчиненим повітрям до наступного елемента (або до запірно-регулювального пристрою)

Fig.4. Saturation system element:

1 – metal or plastic pipe with a diameter of 100...150 mm, length 1.8... 2.5 m; 2 – inlet of the working fluid with air from the pump (or from the previous element); 3 – release of working fluid with partially dissolved air to the next element (or to the shut-off and control device)

Елементи розташовуються похило за рухом рідини ($i = 0,002...0,005$), щоб мінімізувати можливість проскоку нерозчиненого повітря від поточного елемента до наступного. Система сатурації в цілому компонується у вигляді батареї елементів, як це показано (для 4-х елементів) на рис.5. Особливістю даного варіанту розташування всіх елементів блоку на спільній опорній рамі (7) є можливість їх одночасного синхронного коливання для прискорення розчинення повітря. При цьому напрямок коливання рами може бути реалізований у різні моменти часу у двох варіантах (А і В). кінематична схема коливань наведена на рис.6, де поз.5 та поз.6 з рис.5 збережені без змін.

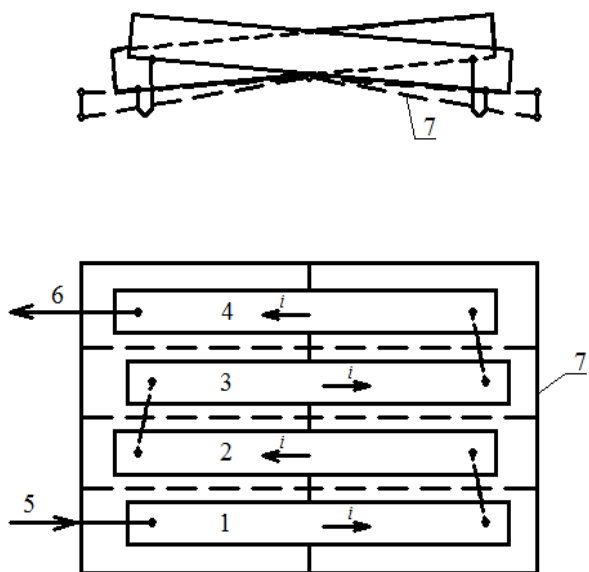


Рис.5. Батарея елементів сатураторного блоку:

1...4 – окремі елементи блоку (за рухом робочої рідини з повітрям); 5 – вхід робочої рідини від насоса; 6 – вихід водо-повітряної суміші до запірно-регулювального пристрою; 7 – опорна рама блоку

Fig.5. Battery of elements of the saturator block: 1... 4 – individual elements of the unit (by the movement of the working fluid with air); 5 – inlet of the working fluid from the pump; 6 – output of the water-air mixture to the shut-off and control device; 7 – support frame of the block

Механізми, які здійснюють коливання рами, розраховуються на забезпечення частоти коливань в межах $10...12 \text{ хв}^{-1}$, а кут відхилення від нейтрального положення не більше $2...3^\circ$. Такі коливання цілком достатньо турбулізують масу рідини в кожному елементі, що сприяє розчиненню у ній атмосферного повітря, накопиченого у верхній зоні труби.

Слід окремо відзначити небажаність напряму коливання рами за варіантом С (рис.6) навколо осі “3-0-3”, оскільки саме при цьому зберігається підвищений рівень небезпеки проскоку нерозчиненого повітря від останнього за ходом руху рідини елементу у флотатор.

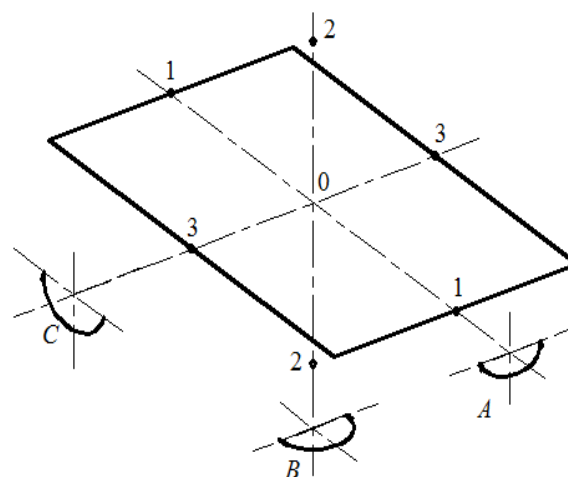


Рис. 6. Просторова кінематична схема коливань опорної рами:

1-0-1 – вісь, навколо якої реалізуються коливання рами у варіанті А; 2-0-2 – вісь, навколо якої реалізуються коливання рами у варіанті В.

Примітка: а) дислокація поз.5 і 6 відповідає рис.5; б) варіант коливання С коментується у тексті

Fig. 6. Spatial kinematic scheme of oscillations of the support frame:

1-0-1 – the axis around which the oscillations of the frame are realized in variant A; 2-0-2 – the axis around which the oscillations of the frame are realized in variant B.

Note: a) the location of positions 5 and 6 corresponds to Fig.5; b) the variant of oscillation C is commented in the text

ВИСНОВОК

1. Запропонована заміна компресора, як окремого елемента схеми напірної флотації насосом, який усмоктує атмосферне повітря разом із робочою рідиною, дозволяє зменшити капітальні та експлуатаційні витрати на спорудження й обслуговування системи напірно-флотаційної очистки промислових стічних вод.

2. Конструювання системи сатурації повітря у робочу рідину у вигляді блоку із горизонтальних труб дає можливість уникнути небезпеки проривання нерозчиненого повітря безпосередньо у флотатор та прискорює процес розчинення атмосферного повітря у робочій рідині.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Fanaie V. R., Khiadani M., Sun G.** Effect of salinity and temperature on air dissolution in an unpacked air saturator of a dissolved air flotation system. *Desalination and Water Treatment*, 2019, 170. doi:[10.5004/dwt.2019.24718](https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24718)
2. **Barbery G.** Engineering Aspects of Flotation in the Minerals Industry: Flotation Machines, Circuits and their Simulation. In: Ives K.J. (eds) *The Scientific Basis of Flotation*. NATO ASI Series (Series E: Applied Sciences), 1984, 75. Springer, Dordrecht. doi:[10.1007/978-94-009-6926-1_8](https://doi.org/10.1007/978-94-009-6926-1_8)
3. **Медяник Н. Л., Шевелин І. Ю., Какушкин С. Н.** Математическое моделирование процесса переработки техногенных минерализованных вод методом напорной флотации. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*, 2018, 2. С.121-129. doi: [10.15372/FTPRPI20180213](https://doi.org/10.15372/FTPRPI20180213)
4. **Ніронович Н. І., Третяк, І. Ю., Копитін А. М.** Напірна флотація як один із найефективніших способів попереднього очищення промислових стоків. *Водопостачання, водовідведення*, 2017, 4. С.45-47
5. **Паршилкина А. А.** Выбор метода очистки сточной воды рыбообрабатывающего предприятия. *Известия КГТУ*, 2014, 34. С. 156-164.
6. **Небеснова Т. В., Цыганкова О. В.** Анализ конструкций современных флотационных установок. *Вісник ОДАБА*, 2011, 40. URL: <http://mx.ogasa.org.ua/handle/123456789/1232>
7. **Остапюк В. А.** Технология очистки сточных вод флотацией с применением трубного сатуратора. *Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура*, 2013, 4 (13). С. 57-62.
8. **Воронов Ю. В., Яковлев С. В.** Водоотведение и очистка сточных вод. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. 704 с.
9. **Гусяк А. М., Знак З. О., Курилец О. Г., Мних Р. В., Оленич Р. Р., Савчук Л. В.** Спосіб очищення стічних вод напірною флотацією. Патент на корисну модель № 85950, опубліковано 10.12.2013, бюл. №23.
10. **Таварткіладзе Ю. М., Остапюк В. А.** Установка «флотатор з трубчатим сатуратором». Патент на корисну модель № 79440, опубліковано 25.04.2013, бюл. №8.

REFERENCES

1. **Fanaie V. R., Khiadani M., & Sun G. (2019).** Effect of salinity and temperature on air dissolution in an unpacked air saturator of a dissolved air flotation system. *Desalination and Water Treatment*, 170. doi:[10.5004/dwt.2019.24718](https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24718)
2. **Barbery G. (1984).** *Engineering Aspects of Flotation in the Minerals Industry: Flotation Machines, Circuits and their Simulation*. In: Ives K.J. (eds) *The Scientific Basis of Flotation*. NATO ASI Series (Series E: Applied Sciences), 1984, 75. Springer, Dordrecht. doi:[10.1007/978-94-009-6926-1_8](https://doi.org/10.1007/978-94-009-6926-1_8)
3. **Medyanik N. L., Shevelin I. Yu., & Kakushkin S. N. (2018).** Mathematical Modeling of Mineralized Industrial Wastewater Treatment by Pressure Flotation. *Physical and technical problems of mineral development*, 2, 121-129. doi: [10.15372/FTPRPI20180213](https://doi.org/10.15372/FTPRPI20180213)
4. **Nironovich N. I., Tretyak, I. Y., & Kopytin A. M. (2017).** Pressure flotation as one of the most effective methods of pre-treatment of industrial effluents. *Water supply, drainage*, 2017, 4, 45-47. [in Ukrainian]
5. **Parshilkina A. A. (2014).** Choice of a method for purifying waste water from a fish processing enterprise. *Izvestia KSTU*, 34, 156-164. [in Russian]
6. **Nebesnova T. V., & Tsygankova O. V. (2011).** Analysis of the designs of modern flotation units. *Visnik ODABA*, 40. Retrieved from <http://mx.ogasa.org.ua/handle/123456789/1232>
7. **Ostapjuk V. A. (2013).** Wastewater treatment technology by flotation using a pipe saturator. *SGASU Bulletin. Urban planning and architecture*, 4 (13). 57-62. [in Russian]
8. **Voronov Yu. V., & Yakovlev S. V. (2006).** *Water drainage and wastewater treatment*. Moscow: Publishing House of the Association of Construction Universities. [in Russian]
9. **Gusyak A. M., Znak Z. O., Kurylets O. G., Mnykh R. V., Olenych R. R., & Savchuk L. V. (2013).** Method of wastewater treatment by pressure flotation. Utility model patent № 85950. [in Ukrainian]
10. **Tavartkiladze Yu. M., & Ostapjuk V. A. (20113).** Installation "Floater with tubular saturator". Utility model patent № 79440. [in Ukrainian]

Improvement of certain elements of pressure flotation cleaning complex

Tetiana Arhatenko

Abstract. A number of improvements to the existing schemes of pressure and flotation treatment of industrial wastewater are proposed. The classical variant of the organization of the scheme of pressure flotation with compressor injection of air into the vertical saturator and the system with the horizontal tubular saturator were considered. For the classical scheme the variant of full refusal of the compressor due to use of possibility of the pump to suck atmospheric air through the separate device on type of a rotameter together with working liquid from accumulative capacity is offered. Such changes will significantly reduce capital costs due to the price of the compressor and operating costs due to the corresponding consumption of electricity by the compressor. Given the disadvantages of the tubular saturator, an option is proposed that will preserve the advantages of the horizontal location of the tank for dissolving air in water and at the same time guarantees the possibility of undissolved atmospheric air entering the floater, as can happen in a vertical saturator. The saturation system consists of several separate tubular elements, located with a slope of 0.002... 0.005 on the movement of the liquid and mounted on a common frame. This design of the air saturation system in the working fluid makes it possible to avoid the danger of breaking undissolved air directly into the flotator.

Key words: pressure flotation; saturator; tubular saturator.

Стаття надійшла до редакції 3.11.2020