



УКРАЇНА

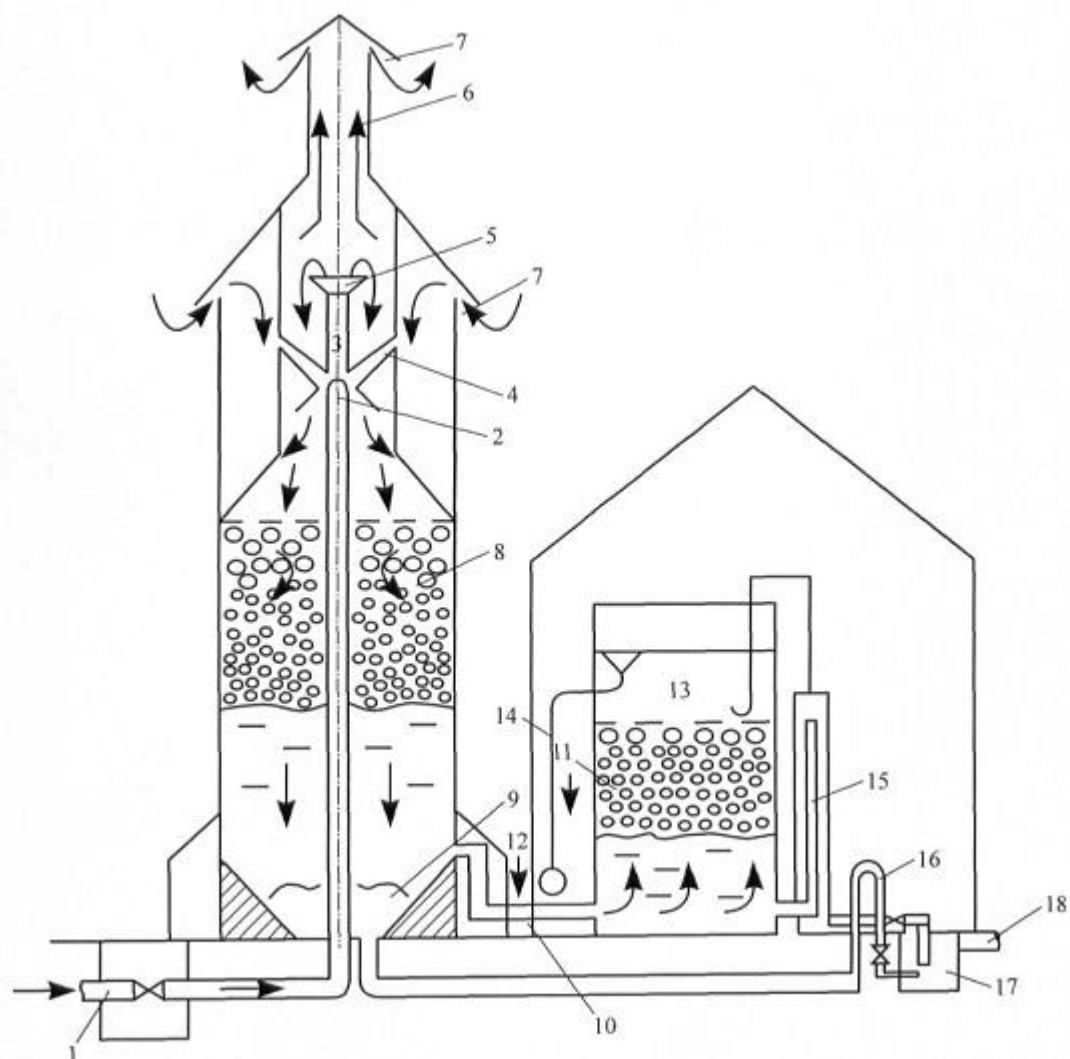
(19) **UA** (11) **107844** (13) **C2**  
(51) МПК**C02F 1/64** (2006.01)**C02F 1/52** (2006.01)**C02F 1/72** (2006.01)**C02F 9/14** (2006.01)ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

<b>(21)</b> Номер заявки: <b>а 2013 02538</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Квартенко Олександр Миколайович (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>28.02.2013</b>	
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>25.02.2015</b>	<b>(73)</b> Власник(и): <b>Квартенко Олександр Миколайович,</b> пр. Миру, 9, кв. 77, м. Рівне, 33000, Україна (UA)
<b>(41)</b> Публікація відомостей про заяву: <b>10.09.2014, Бюл.№ 17</b>	<b>(56)</b> Перелік документів, взятих до уваги експертизою: JP 2008264687 A, 06.11.2008 Квартенко А.Н. Интенсификация процессов очистки подземных вод сложного физико-химического состава / А.Н. Квартенко // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. - 2009. - № 3 (47). - С. 181-191 SU 1502481 A1, 23.08.1989 UA 13907 A, 25.04.1997 UA 30904 A, 15.12.2000 UA 53222 A, 15.01.2003
<b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.02.2015, Бюл.№ 4</b>	

**(54) СПОСІБ ОЧИСТКИ ПІДЗЕМНИХ ВОД ВІД СТІЙКИХ ФОРМ ОРГАНІЧНИХ ТА ЗАЛІЗООРГАНІЧНИХ СПОЛУК****(57) Реферат:**

Винахід належить до галузі водопостачання, зокрема до очистки природних вод, які містять стійкі форми органічних та залізоорганічних сполук. Спосіб очистки підземних вод від стійких форм органічних та залізоорганічних сполук включає корегування рН вихідної води шляхом дегазації, окислення сполук заліза за рахунок присутності у воді розчиненого кисню та продуктів метаболізму залізоокислюючих мікроорганізмів з наступним фільтруванням. Деструкцію стійких форм органічних та залізоорганічних сполук здійснюють за рахунок послідовного поєднання комплексу процесів - гідродинамічної кавітації в присутності хімічно активного кисню повітря, припливно-витяжної вентиляції, біологічних процесів окислення, біокоагуляції та мінералізації. Далі у підфільтровій зоні освітлювального пінополістирольного фільтра формують завислий шар пластівців  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , з закріпленими залізоокислюючими бактеріями, пропускають потік води через завислий шар, змішують мінералізовані залізоорганічні та важкоокислювальні органічні сполуки з розчином коагулянту. Затримання утворених мінеральних агломератів осаду проводять в шарі фільтруючої засипки. Винахід дозволяє до 95-98 % зменшити концентрацію залізоорганічних комплексів, до 80-90 % зменшити концентрацію розчинних органічних речовин, до 80 % - розчинного аміаку при його вихідній концентрації до 3 мг/л.

UA 107844 C2



Фиг.

Винахід належить до галузі водопостачання, зокрема до очистки природних вод, які містять стійкі форми органічних та залізоорганічних сполук і може бути застосований в системах водопідготовки для цілей водопостачання.

Відомий спосіб знезалізнєння, який проводиться аерацією з наступною фільтрацією через зернисту засипку біофільтра, на якій іммобілізовані залізобактерії [1].

Недоліком відомого способу є низька ефективність очистки підземних вод, яка полягає в наступному:

- можливість вимивання біологічної плівки до моменту запрацювання засипки біофільтра; можливістю "проскакування" розчинних залізоорганічних сполук після регенерації засипки;
- можливістю вторинного забруднення води при надходженні органіки до водопровідної мережі із подальшим розвитком на стінках трубопроводів залізобактерій та виникнення біологічної корозії останніх;
- при високих концентраціях заліза у вихідній воді є необхідність в обробці іммобілізованої на засипці біоплівки спеціальним живильним для залізобактерій розчином, що значно ускладнює експлуатацію.

Відомий спосіб біологічного знезалізнєння підземних вод, який ґрунтується на методах аерації та двоступеневого фільтрування вихідної води послідовно через біофільтр із щебеневою засипкою, та освітлювальний фільтр із піщаною засипкою. При цьому фільтри обладнані пристроями для їх гідроавтоматичної промивки. Як засипка біофільтра використовується гранітний щебінь крупністю фракцій  $\delta=10-30$  мм, висотою шару 1500...2000 мм, а як засипка освітлювального фільтра - кварцовий пісок крупністю 0.7...1.5 мм, висотою шару 800...1000 мм [2].

Недоліком даного способу є нерухомість щебеневої засипки біофільтра при промивці, що є причиною її поступової кальматації продуктами життєдіяльності залізобактерій, що унеможливує проникнення кисню на всю глибину засипки, в результаті чого в нижніх шарах можуть формуватися анаеробні зони, в яких не відбувається деструкція комплексно органічних сполук, значна кількість яких в розчиненому стані надходять на фільтр, збільшуючи тим самим на нього навантаження, що погіршує якість фільтрату.

Досвід експлуатації [2] показав, необхідність заміни щебеневої засипки через 1-2 роки, що ускладнює експлуатацію станцій знезалізнєння. Спосіб придатний для використання в межах  $\text{Fe}^{2+} \leq 6.0$  мг/л та  $\text{pH} \geq 6.8$ .

Відомий спосіб біологічного знезалізнєння підземних вод з концентрацією заліза до 15÷20 мг/л,  $\text{CO}_2$  до 120 мг/л,  $\text{pH}=6.5-6.7$ , заснований на використанні методу аерації, за допомогою насичення води киснем повітря в ежекційному пристрої, з наступним розбризкуванням через систему форсунок над поверхнею біофільтра як насадки, в якому використовуються модулі із капронових текстурованих джгутових ниток (КТДН), на яких відбувається іммобілізація залізобактерій. Біореактор обладнаний системою гідроелеваторів, які забезпечують часткову рециркуляцію води із регулюванням величин  $\text{pH-Eh}$  середовища в зоні розташування модулів, до меж комфортних для життєдіяльності залізобактерій, прискорюючи їх каталітичну активність. Крім блока біологічної очистки є два блоки розділу фаз: блок тонкошарового відстійника та освітлювального пінополістирольного фільтра. Система гідророботів забезпечує гідроавтоматичну промивку засипок біофільтра, фільтра та тонкошарового модуля.

Недоліком даного способу є складність виготовлення блоків та експлуатації блоків КТДН, окремі джгути яких в процесі експлуатації можуть відриватись від блока і кальматувати полиці тонкошарового відстійника. Крім того, виникає складність при промивці такого виду носія бактерій. Джгути в процесі експлуатації можуть відриватися від корпусу блока під вагою сполук заліза [3].

Найбільш близьким до запропонованого способу є спосіб кондиціонування води на біореакторі із струминною насадкою і контактної засипки із пінополістиролу та освітлювальних фільтрів ФПЗ-1 з пінополістирольною засипкою. Біореактор являє собою циліндричну ємкість діаметром 2.7 м і висотою 8 м. Конструктивно біореактор облаштовано розподільною камерою з однією струминною насадкою  $d_n=50$  мм, відбивачем  $D_{\text{відб.}}=0.6$  м, круглими повітровпускними отворами, які розташовані по периметру споруди в її верхній частині і призначені для підсмоктування атмосферного повітря, насичення вихідної води киснем повітря та формування каталітичної плівки на поверхні контактної пінополістирольної засипки біореактора. При подачі води під тиском 2,5 атмосфери через струминну конічну насадку навколо струменя води утворюється зона вакууму. При розбризкуванні води з висоти 0.9-1.1 м після контакту із відбивачем, конічною кришкою біореактора та наступним фільтруванням через шари незатопленої та затопленої засипки товщиною 1.7 м, відбувається окислення сполук двовалентного заліза закріпленою на поверхні пінополістиролу біоплівкою із залізобактерій. Час

контакту із засипкою 10-12 хв. Наступне висхідне фільтрування води із швидкістю 5-6 м/год. на ФПЗ-1 забезпечує очистку води від зависі гідроксиду заліза та частинок біоплівки, яка виноситься із біореактора. Якість підземної води, яка подається на обробку становить:  $\text{Fe}^{2+}$ =до 3.2 мг/л; рН=7.5-8.0;  $\text{PO}_4$ =2.0 мгО<sub>2</sub>/л; лужність 6.8 мг-екв/л. Швидкість руху води в біореакторі та на фільтрах становить відповідно 12-15 м/год. та 5-6 м/год. Зниження аміаку на 35 %, фосфатів на 44 %.

Недоліком даного способу є велике співвідношення загальної площі біореактора до струменя води, що виходить із струменевого насадка, це дещо знижує ефективність процесів масообміну. Вода насичується киснем повітря в основному при розбризкуванні після контакту із відбивачем та за рахунок припливно-витяжної вентиляції, що утворюється між повітровпускними отворами та вентиляційною трубою, розташованою на кришці біореактора. Знезалізнення води в даному способі відбувається як за рахунок каталітичної плівки в верхній - незатопленій частині біореактора, так і за рахунок залізобактерій, розташованих в затопленій частині біореактора, які, як відомо, в процесі своєї життєдіяльності виділяють пероксид водню. Це також пояснює і те, що важкоокислювальні органічні сполуки, залізоорганічні комплекси та аміак окислюються досить повільно (50-60 %) [4].

Для подолання вказаних недоліків необхідно: збільшити масообмін, прискорити проходження хімічних реакцій, провести деструкцію складних органічних та залізо-органічних комплексів до простих сполук, придатних до подальшого біологічного окислення, мінералізації та коагулювання в завислому шарі осаду з подальшим розділом фаз на пінополістирольних фільтрах.

Поставлена задача вирішується тим що, у способі очистки підземних вод від стійких форм органічних та залізоорганічних сполук, який включає корегування рН вихідної води шляхом дегазації, окислення сполук заліза за рахунок присутності у воді розчиненого кисню та продуктів метаболізму залізоокислюючих мікроорганізмів з наступним фільтруванням, деструкцію стійких форм органічних та залізоорганічних сполук здійснюють за рахунок процесу послідовного поєднання комплексу процесів - гідродинамічної кавітації в присутності хімічно активного кисню повітря, припливно-витяжної вентиляції, біологічних процесів окислення, біокоагуляції та мінералізації, в результаті чого змінюється структура води з утворенням радикальних високоактивних частинок, зокрема  $\text{OH}^*$ ,  $\text{HO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}^*$ ,  $\text{O}^*$ , які приймають участь у руйнуванні складних органічних молекул в більш дрібні, придатні для подальшого біологічного окислення, а також вільного кисню, який підвищує окисновідновний потенціал системи до меж існування активного біологічно середовища (-100...+200 мВ) залізоокислюючих мікроорганізмів, у підфільтровій зоні освітлювального пінополістирольного фільтра формують завислий шар пластівців  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , з закріпленими залізоокислюючими бактеріями, змішують мінералізовані залізоорганічні та важкоокислювальні органічні сполуки з розчином коагулянту (флокулянту), що призводить до їх остаточної мінералізації з подальшою біокоагуляцією, а затримання утворених мінеральних агломератів осаду проводять в шарі фільтруючої засипки.

Відміна даного способу полягає в тому, що відомий спосіб включає вилучення частини легкоокислювальних органічних сполук та гідрокарбонату заліза шляхом використання комплексу методів - струминної аерації - дегазації з біологічним окисленням, закріпленої на пінополістирольній засипці мікрофлори, тоді як запропонований спосіб ґрунтується на наступних ознаках:

- деструкції підлягають не тільки легкоокислювальні органічні сполуки і сполуки гідрокарбонату заліза, а й складні органічні сполуки (гумінові та фульвокислоти), залізоорганічні комплекси, аміак;

- деструкція проходить в два етапи:

- перший - руйнування складних органічних сполук шляхом їх окислення до менш складних структур під дією гідродинамічної кавітації;

- другий - окислення отриманих органічних структур та  $\text{Fe}^{2+}$  відбувається в біологічно активному середовищі, що утворюється за рахунок розвитку специфічних мікроорганізмів в певному комфортному полі значень рН-Eh;

- при гідродинамічній кавітації в присутності кисню повітря відбувається зміна структури води із утворенням вільних водневих зв'язків, що обумовлює її підвищену активність та реагентну здатність, а саме присутності у воді пероксиду водню та цілої групи радикалів ( $\text{OH}^*$ ,  $\text{HO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}^*$ ,  $\text{O}^*$  та накопичення молекулярного кисню);

- в поєднанні утвореного природного коагулянту  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  зі штучним коагулянтом - оксихлоридом алюмінію, для повноти проходження процесу розділу фаз в засипці пінополістирольного фільтра.

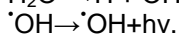
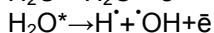
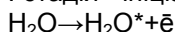
Все це дозволяє активно окислювати та мінералізувати розчинні стійкі органічні та залізоорганічні комплекси, аміак в засипці біореактора, проводити коагуляцію та агломерацію пластівців мінералізованих органічних та залізоорганічних сполук у завислому шарі осаду в підфільтровому просторі. На фільтр таким чином надходить вода, в якій практично відсутні розчинне залізо у важкоокислювальних органічних формах, це дозволяє запобігти попаданню органічних речовин до водопровідної мережі та розвитку в ній залізобактерій, які сприяють процесам біокорозії та вторинному забрудненню води.

Деструкція залізоорганічних сполук відбувається у низхідному потоці при швидкостях до 10 м/год. Концентрація залізоорганічних сполук у вихідній воді - до 20 мг/л, аміаку до 2 мг/л,  $\text{pH} \geq 6.3$ , лужність - від 0.9 до 6.5 мг-екв/л. Фільтрування відбувається у висхідному потоці при швидкості 3-4 м/год. Крупність гранул пінополістиролу в біореакторі становить 2-6 мм, в освітлювальному фільтрі - 0.63-2.0 мм. Висота шару засипки в біофільтрі - 1.2-1.5 м; в освітлювальному фільтрі - 1.5-2.0 м. Система обладнана блоком гідроавтоматичної промивки.

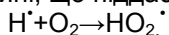
На кресленні представлена схема, яка пояснює послідовність операцій запропонованого способу. Схема складається з трубопроводу подачі вихідної води - 1; сопла - 2; гідродинамічного кавітатора - 3; повітряних каналів - 4; дифузора - 5; витяжного короба - 6; припливно-витяжних отворів - 7; біореактора - 8; зони накопичення осаду - 9; трубопроводу подачі води на фільтр - 10; освітлювального пінополістирольного фільтра - 11; вводу коагулянту - 12; бака промивної води - 13; трубопроводу відведення фільтрату - 14; гідроробота освітлювального фільтра - 15; гідроробота біореактора - 16; збірний каналу відпрацьованих промивних вод - 17; трубопроводу відведення відпрацьованих промивних вод - 18.

Вихідна вода, яка містить стійкі форми залізоорганічних сполук по трубопроводу 1 подається до сопла 2 гідродинамічного кавітатора 3, в зону створення вакууму, далі по повітряних каналах 4 підсмоктується до сопла з атмосфери повітря. Насичена у співвідношенні 1:3 киснем повітряна водяна суміш надходить до гідродинамічного кавітатора 3, де відбувається зміна структури (механотермоліз) води з утворенням вільних радикалів, що обумовлює її підвищену активність та реагентну здатність. Реакція відбувається за ланцюговим механізмом.

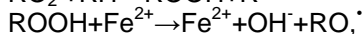
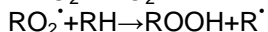
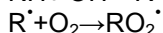
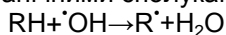
I стадія - ініціація ланцюга:



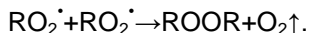
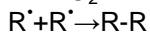
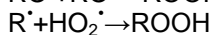
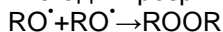
Присутність у воді розчиненого кисню робить більш різноманітними хімічні перетворення в рідині, що піддається кавітації.



II стадія - розвиток ланцюга (утворені радикали вступають у взаємодію із розчинними органічними сполуками):



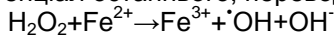
III стадія - розрив ланцюга:



Вода із зміненими у гідродинамічному кавітаторі хімічними та структурними властивостями розчинених сполук надходить в його верхню частину через дифузор 5, який слугує для зменшення швидкості та рівномірного розподілу потоків води над поверхнею засипки в біореакторі 8. Витяжний короб 6 необхідний для створення процесу припливно-витяжної вентиляції та масообміну через припливно-витяжні отвори 7, повітряні канали 4, напірний гідродинамічний кавітатор 3, що прискорює процеси дегазації розчинених у воді газів ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ ), розчинення кисню повітря, підвищення  $\text{pH-Eh}$  водної системи до меж активності залізобактерій родів *Gallionella*, *Leptotrix*, *Clonothrix*. На пінополістирольній засипці біореактора 8 утворюється біоплівка з різних видів залізобактерій, здатних за рахунок позаклітинних ферментів та пероксиду водню, який вивільняється в процесі клітинного метаболізму, окислювати та мінералізувати деструктуровані органічні та залізоорганічні сполуки.

Процес вивільнення продуктів метаболізму (пероксидню водню, вільних радикалів) проходить у капсулах, чохлах, на поверхні клітинної стінки бактерій, де концентруються всі компоненти реакції (відновлені сполуки заліза, пероксид водню тощо). Пероксид водню, крім

того, може й вивільнятися з клітини в навколишнє середовище, підвищуючи окисновідновний потенціал останнього, переводячи систему з відновного стану в окисний.



Продукти метаболізму накопичуються в зоні осаду 9, освітлена вода по трубопроводу 10 надходить на пінополістирольний фільтр 11. Завислий шар осаду, що формується у підфільтровому просторі є природним коагулянт, який сприяє коагуляції мінералізованих органічних сполук, для інтенсифікації чого передбачається введення розчину коагулянту 12, який сприяє проходженню біокоагуляційних процесів, в з'єднувальний трубопровід 10. Освітлювальний пінополістирольний фільтр 11 використовується для розділу фаз вода - мінералізовані - скоагульовані сполуки. Освітлена вода (фільтрат) збирається у баку промивної води 13, звідки по трубопроводу 14 надходить до споживачів. Біореактор 8 та освітлювальний фільтр 11 обладнані системою гідроавтоматичної промивки - гідророботами, відповідно, 15 та 16, які дозволяють проводити регенерацію засипки біореактора та освітлювального фільтра з інтенсивністю промивки 14-16 л/с·м<sup>2</sup>. Відпрацьовані промивні води через збірний канал 17 та трубопровід 18 надходять на вузол обробки промивних вод. Для покращення седиментаційних властивостей скоагульованих домішок шляхом їх агрегації (укрупнення) можливе введення розчину флокулянта.

Таким чином за даним способом забезпечення руйнування органічних та залізо-органічних сполук відбуваються у наступних стадіях:

А) при обробці в гідродинамічному кавітаторі, відбувається деструкція складних залізоорганічних сполук у більш прості, які можуть бути далі використані мікроорганізмами при побудові нової клітинної біомаси;

Б) пряме використання деструктизованих залізоорганічних сполук мікроорганізмами як поживного субстрату;

В) за рахунок деструкції органічних сполук при контакті з продуктом метаболізму залізобактеріями пероксидом водню.

Запропонований спосіб має наступні переваги:

відсутність енергоспоживаючих пристроїв для насичення води киснем повітря (компресори, повітродувки);

використання існуючого обладнання для створення ефекту гідродинамічної кавітації у присутності хімічно активного кисню повітря;

відсутність додаткових хімічних реагентів для проведення процесів окислення і мінералізації стійких форм органічних та залізоорганічних сполук;

використання синергетичного ефекту від поєднання комбінаторики біофізико-хімічних процесів, а саме: гідродинамічної кавітації в присутності хімічно активного кисню повітря, припливно-витяжної вентиляції, біологічних процесів окислення, мінералізації, а також процесу біокоагуляції за рахунок поєднання отриманого природним шляхом коагулянту  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  з неіоногенним флокулянт;

використання гідроавтоматичної регенерації обладнання.

Література:

1. A. Doguin, D. Siben, Deferrisation biologique appliquee ala preparation de l'eau potable. Lean. Lindustrie, les nusancel, 1988. - № 117. - S. 29-30.

2. Сафонов Н.А. Самопромывающиеся водоочистные установки (технологии, конструкции и расчет) / Н.А. Сафонов, А.Н. Квартенко, А.Н. Сафонов // Ровно, Изд-во РГТУ. - 2000. - С. 47-51.

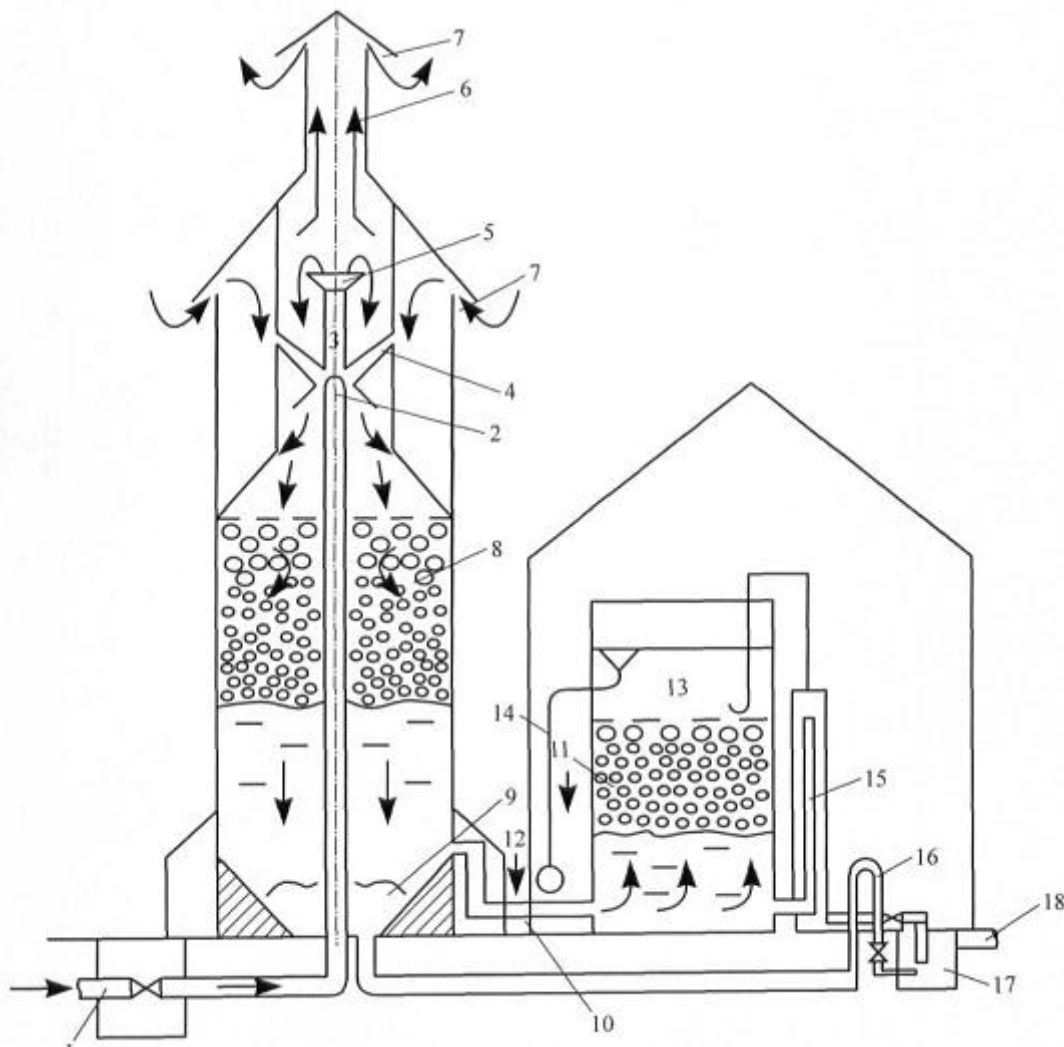
3. Журба М.Г. Биохимическое обезжелезивание и деманганация подземных вод / М.Г. Журба, Ж.М. Говорова, А.Н. Квартенко // ВСТ. - 2006. - № 9. - С. 17-23.

4. Говоров О.Б. Безреагентное кондиционирование подземных вод на биореакторах-фильтрах: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.04. - Вологда, 2007. - С. 123-139.

## ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб очистки підземних вод від стійких форм органічних та залізоорганічних сполук, який включає корегування рН вихідної води шляхом дегазації, окислення сполук заліза за рахунок присутності у воді розчиненого кисню та продуктів метаболізму залізоокислюючих мікроорганізмів з наступним фільтруванням, який **відрізняється** тим, що деструкцію стійких форм органічних та залізоорганічних сполук здійснюють за рахунок послідовного поєднання комплексу процесів - гідродинамічної кавітації в присутності хімічно активного кисню повітря, припливно-витяжної вентиляції, біологічних процесів окислення, біокоагуляції та мінералізації, зі зміною структури води з утворенням радикальних високоактивних частинок, зокрема  $\text{OH}^\cdot$ ,  $\text{HO}_2^\cdot$ ,  $\text{H}_2\text{O}^\cdot$ ,  $\text{O}^\cdot$ , а також вільного кисню, далі у підфільтровій зоні освітлювального пінополістирольного

5 фільтра формують завислий шар пластівців  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , з закріпленими залізоокислюючими бактеріями, пропускають потік води через завислий шар, змішують мінералізовані залізоорганічні та важкоокислювальні органічні сполуки з розчином коагулянту, що приводить до їх остаточної мінералізації з подальшою біокоагуляцією, а затримання утворених мінеральних агломератів осаду проводять в шарі фільтруючої засипки.



Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601