

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

С. Г. Белов, Г. О. Наумчик

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
vvit@bstu.by

Аннотация

Данная статья содержит анализ преимуществ и недостатков основных методов обеззараживания городских сточных вод. Особый акцент сделан на озонифлотации, являющейся новым и перспективным методом обработки городских сточных вод, позволяющей не только обеззараживать сточную воду, но и окислять стойкие к биологическому окислению вещества, в том числе и лекарственные препараты, попадающие в городские сточные воды, которые не могут быть окислены в сооружениях биологической очистки, а также производить флотационную очистку сточной воды от активного ила в случае его выноса из вторичных отстойников, происходящего при сбоях в работе сооружений биологической очистки. В работе приведена схема озонифлотационной установки и содержится подробное описание принципа работы данной установки.

Ключевые слова: обеззараживание, хлорирование, УФ-облучение, озонирование, озонифлотация, озонифлотационная камера, камера реакций, камера пеногашения, деструктор.

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF URBAN WASTEWATER DISINFECTION METHODS

S. G. Belov, G. O. Naumchik

Abstract

This article contains an analysis of the advantages and disadvantages of the main methods of disinfection of urban wastewater. Special emphasis is placed on ozone flotation, which is a new and promising method of urban wastewater treatment, which allows not only to disinfect waste water, but also to oxidize substances resistant to biological oxidation, including medicines that enter urban wastewater that cannot be oxidized in biological treatment facilities, as well as to perform flotation treatment of waste water from activated sludge, in case of its removal from secondary settling tanks, which occurs during failures in the operation of biological treatment facilities. The paper presents a scheme of an ozone flotation plant and contains a detailed description of the principle of operation of this installation.

Keywords: disinfection, chlorination, UV irradiation, ozonation, ozone flotation, ozone flotation chamber, reaction chamber, defoaming chamber, destructor.

Введение. Сточные воды, поступающие на канализационные очистные сооружения города после прохождения механической и биологической очистки должны обеззараживаться. Наиболее известными методами обеззараживания сточных вод являются следующие методы: хлорирование, УФ-облучение, озонирование [1, 2].

Хлорирование – наиболее дешевый способ обеззараживания. Также хлор обладает длительным эффектом последствия. При этом хлорирование обладает рядом недостатков. В процессе обеззараживания воды хлором протекают реакции хлорирования органических соединений, содержащихся в сточных водах. В результате этих реакций образуются хлорорганические соединения, обладающие высокой токсичностью, мутагенностью и канцерогенностью, что является источником опасности для биоценоза водоприемников и для населения. Отведение хлорированных сточных вод в водоем может вызывать гибель водных биоценозов и привести к практически полному прекращению процессов самоочищения водоемов, в том числе и от патогенной микрофлоры. Хлорорганические соединения способны аккумулироваться в донных отложениях, тканях гидробионтов и, в конечном счете, по трофическим цепям попадать в организм человека. Содержание хлорированных углеводов в рыбе, водорослях и планктоне находится в тесной корреляции с содержанием их в донных отложениях [2].

При использовании газообразного хлора для хлорирования воды возникают существенные технические сложности с хранением и транспортированием баллонов, содержащих сжиженный хлор. Электролизные установки для синтеза гипохлорита натрия из поваренной соли (NaCl) являются безопасными в эксплуатации, но довольно дорогостоящими, и имеют невысокий ресурс работы. Электроды гипохлоритных установок выполнены из титана и покрыты редкоземельными металлами. Поэтому стоимость электродов доходит до половины стоимости от всей электролизной установки, а ресурс таких электродов составляет около 20 000 часов. Для функционирования электролизной установки кроме электроэнергии необходимо обеспечить постоянный подвоз хлорида натрия. При использовании хлора для обеззараживания необходимо сооружать контактный резервуар, обеспечивающий время контакта обрабатываемой воды с хлором не менее 30-ти минут [2, 3].

Ультрафиолетовое обеззараживание воды является безреагентным методом. Для обработки УФ-лучами необходимо достичь высокой прозрачности воды и обрабатывать следует слой, имеющий толщину не более 20 см, что требует изготовления реактора с малой глубиной и большой площадью, в котором необходимо разместить большое количество УФ-ламп. Чтобы гарантировать прозрачность, которая может быть нарушена при сбоях в процессах биологической очистки, сопровождаемых выносом активного ила или биологической пленки из вторичных отстойников, перед резервуаром с ультрафиолетовыми лампами необходимо устанавливать зернистые фильтры, требующие осуществления периодической промывки в процессе эксплуатации [4]. Кроме того, существует проблема биологического обрастания поверхности ламп. Регулярная очистка большого количества ламп вручную делает эксплуатацию установок УФ-обеззараживания слишком дорогостоящей и трудоемкой. Оснащение каждой УФ-лампы манипулятором для ее

механической очистки приводит к заметному увеличению стоимости установки УФ-обеззараживания. Средний срок службы ультрафиолетовой лампы около 10 000 часов, т.е. примерно 1 год. Из этого следует, что примерно раз в год необходимо производить замену всех ультрафиолетовых ламп установки. А с учетом того, что УФ-лампы изготовлены из кварцевого стекла и имеют высокую стоимость, то замена всех ламп будет являться финансово затратным мероприятием [4].

В последние годы появился интерес к применению озона для обработки сточных вод в связи с его меньшей опасностью для водоема-приемника. Дезинфекция озоном идет намного быстрее, чем хлором. Продолжительность контакта обрабатываемой воды с озоном 5...10 минут. В отличие от хлора озон кроме бактерий также уничтожает вирусы [3, 5, 6]. Озон не только обеззараживает обрабатываемую сточную воду, но и окисляет содержащиеся в ней органические вещества, которые не могут быть удалены методом биологической очистки [3, 7, 8]. Использование озонифлотационных камер для введения озона позволяет повысить эффективность озонирования в связи с тем, что процесс флотации обеспечит дополнительную очистку и гарантирует задержание взвешенных веществ, которые могут выноситься из вторичных отстойников при сбоях в работе установки биологической очистки воды.

Есть еще одна проблема, которая связана с присутствием в водных объектах лекарственных препаратов. Это связано не только с тем, что некоторые фармацевтические препараты выливаются в канализацию, но и с тем, что после приема внутрь многие фармацевтические препараты проходят через организм человека и выводятся вместе с мочой и попадают в канализацию. Поэтому полностью исключить попадание лекарственных препаратов в городские сточные воды невозможно [9]. Начиная с середины 1990-х присутствие лекарственных препаратов в природных экосистемах стали рассматривать как новую экологическую проблему. Этот период ознаменовался не только развитием производства и ростом потребления лекарств, но и активным внедрением новых аналитических методов, в частности высокочувствительной и высокоселективной хроматографии и масс-спектрометрии, позволяющих выявлять даже следовые количества лекарственных средств. Фармацевтическое загрязнение окружающей среды тесно связано с ростом потребления медикаментов, чему, в свою очередь, способствуют такие факторы, как демографическое старение, все большее распространение хронических заболеваний, доступность недорогого лечения и появления новых лекарственных препаратов. С экологической точки зрения ключевые этапы жизненного цикла лекарственных средств включают производство и потребление, а также управление отходами. Загрязнение окружающей среды возможно на каждом из этапов, но происходит в основном в процессе их

использования. Установлено, что от 30 до 90% орально применяемых препаратов и их производных попадают в виде активных метаболитов во внешнюю среду в составе мочи (в среднем $64\pm 27\%$); часть продуктов метаболизма лекарственных средств выводится с каловыми массами (в среднем $35\pm 26\%$). Причиной загрязнения воды нередко становится некорректная утилизация неиспользованных медикаментов [9, 10]. Результаты проведенного опроса населения крупных городов показали, что ненужные и просроченные лекарственные препараты чаще всего выбрасываются в общие бытовые отходы (около 80%), а более 15% потребителей отправляют их в канализацию. При этом около 50% граждан осознают, что такие способы утилизации могут нанести вред окружающей среде и готовы поддержать инициативу по сбору просроченных и ненужных лекарств в специальные контейнеры, установленные в аптеках с целью их дальнейшей безопасной переработки. Очень неблагоприятная ситуация с утилизацией медикаментов складывается в лечебно-профилактических учреждениях. Исследования показывают, что несмотря на наличие адекватных систем безопасного удаления медицинских отходов, возврат медикаментов реализуется не всегда, и порядка 50% неиспользованных медицинских продуктов не собирается. Даже в лечебно-профилактических учреждениях Германии, оказывающих медицинскую помощь населению, около 60...80% неиспользованных лекарственных препаратов спускаются в канализацию или выбрасываются вместе с обычным бытовым мусором. Имеющиеся на городских очистных станциях сооружения биологической очистки не могут обеспечить эффективное удаление фармацевтических субстанций [9, 11]. Например, уровень ибупрофена, который присутствует в значительных количествах в сточных водах, снижается после прохождения очистки на 60...96%, в то время, как уровень очистки сточных вод от карбомазепина существенно ниже. Вследствие этого лекарственные препараты все чаще обнаруживаются в поверхностных и грунтовых водах и даже в питьевой воде. Лёгкость распространения лекарственного загрязнения в водных объектах, негативное воздействие на гидробиоту и, наконец, возможность попадания лекарственных средств в питьевую воду позволяют считать водное загрязнение лекарственными препаратами наиболее опасным [9, 10, 11]. Если же очистные сооружения имеют в качестве системы доочистки озонфлотационную установку, то проблема загрязнения лекарственными препаратами будет решена, поскольку озон эффективно разрушает лекарственные препараты.

Основная часть. На рисунке 1 представлена схема озонфлотационной установки, разработанная кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

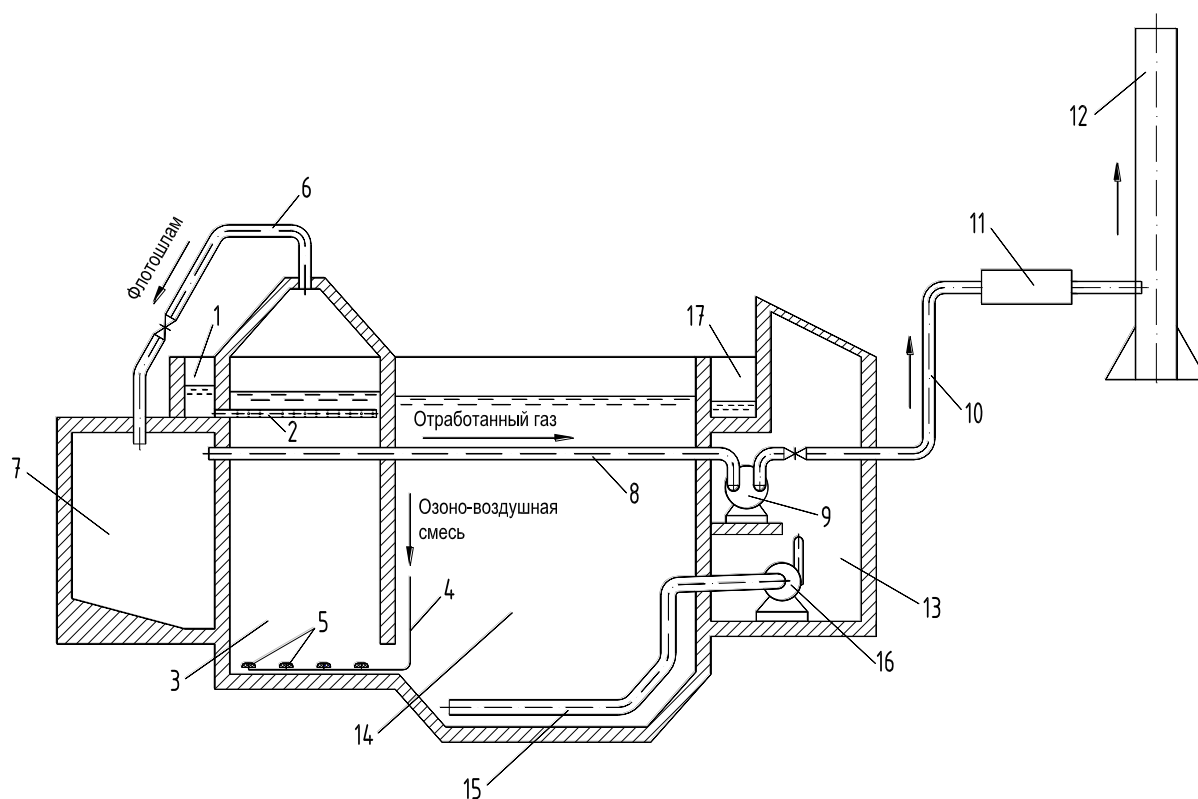


Рисунок 1 – Схема озонифлотационной установки

- 1 – лоток подачи сточной воды в озонифлотатор; 2 – перфорированная труба подачи сточной воды в озонифлотационную камеру;
- 3 – озонифлотационная камера; 4 – трубопровод подачи озоновоздушной смеси к диспергаторам; 5 – диспергаторы; 6 – трубопровод отвода флотошлама;
- 7 – камера пеногашения; 8 – всасывающий трубопровод откачивания отработанного газа; 9 – вакуумная вихревая воздуходувка; 10 – напорный трубопровод выброса отработанного газа; 11 – термический деструктор остаточного озона; 12 – вытяжная труба выброса отработанного газа в атмосферу; 13 – помещение насосной станции;
- 14 – камера реакции с озоном; 15 – перфорированная труба удаления осадка из камеры реакции с озоном; 16 – насос удаления осадка из камеры реакции с озоном;
- 17 – лоток отвода очищенной сточной воды из озонифлотатора.

К озонифлотатору подведен лоток для подачи осветленной воды из вторичных отстойников. Общий подводящий лоток возле озонифлотатора делится на две равные части для подвода воды к каждой секции озонифлотатора с фронтальной стороны. На каждом лотке, подводящем воду к секциям озонифлотатора, установлен шибер, позволяющий перекрыть подачу воды в секцию. На случай возникновения расхода, значительно превышающего расчетный расход, предусмотрен боковой перелив с обводным трубопроводом, позволяющим пропустить избыточный расход мимо озонифлотаторов. Вода из подающих лотков поступает в соответствующие озонифлотационные камеры через затопленные перфорированные трубы. Отверстия в подающих перфорированных трубах расположены по бокам труб и в верхней части труб. Отверстия по бокам труб распределяют воду равномерно по площади озонифлотационной камеры. Отверстия в верхней части труб служат для удаления газа, который может попасть в подающие трубы в процессе

озонофлотации. Вода после попадания в верхнюю часть озонофлотационной камеры движется вниз навстречу газовым факелам, выходящим из диспергаторов. Пневматические диспергаторы озоно-воздушной смеси присоединены к подводящим трубам, проложенным по дну озонофлотационных камер. Противоточная система движения обрабатываемой воды и газовой дисперсии позволяет достичь максимального массопереноса озона из озонированного воздуха в воду. После прохождения озонофлотационной камеры вода с растворенным озоном через окно, расположенное в нижней части озонофлотационной камеры, попадает в камеру реакции.

Газовые пузырьки, выходя на поверхность камеры озонофлотации, сорбируют на себя механические и растворенные загрязнения и образуют флотошлам, который отводится через верхнюю часть пирамидального конуса. Для отвода пенного продукта из верхней части конуса в камеру гашения пены служит труба из нержавеющей стали. На трубе, выходящей из каждой секции, установлен шаровый кран, соответствующего диаметра, для возможности перекрывания данного трубопровода при опорожнении отдельной секции.

Вода из озонофлотационных камер с растворенным озоном через окна, расположенные в нижней части данных камер, поступает в камеры реакции. Объем камер реакции принимается из условия обеспечения продолжительности реакции растворенного озона с окисляемыми веществами и микроорганизмами, с целью максимального снижения показателей ХПК, БПК₅ и полного обеззараживания. В мировой практике принято, что время, необходимое для снижения ХПК и надежного обеззараживания должно быть не менее 15...20 минут [5, 6]. Ширина камеры реакции равна ширине озонофлотационной камеры. Глубина прямоугольной части камеры реакции равна глубине озонофлотационной камеры. Время пребывания обрабатываемой воды в озонофлотаторе складывается из продолжительности ее пребывания в озонофлотационной камере и времени пребывания в камере реакции установки.

После камеры реакции очищенная вода собирается в сборных лотках. Каждая секция имеет свой сборный лоток, оборудованный шибером. Вода из сборных лотков от каждой секции поступает в общий сборный лоток, из которого она поступает на сброс в водоприёмник.

Нижняя часть камер реакции имеет пирамидальное дно для сбора осадка и возможности полного опорожнения секции озонофлотатора. В нижней части пирамидального дна каждой камеры реакции проложена перфорированная труба для удаления осадка по всей длине камер реакции. Перфорированная труба связана со всасывающим трубопроводом насосов, служащих как для удаления осадка из камер реакции, так и для полного опорожнения любой секции озонофлотатора.

Камера пеногашения служит для сбора флотошлама, образующегося в озонофлотационных камерах. Как было указано ранее, образующийся флотошлам под действием вакуума по трубам отводится из верхней части пирамидальных конусов в камеру пеногашения. Данная камера расположена перед озонофлотационной камерой под подводящими лотками. В верхней части

камеры пеногашения установлен датчик пены, при срабатывании которого включается система пеногашения на 20 минут. Вода для пеногашения специальным насосом забирается из средней части камеры реакции и подается в распределительную систему пеногашения. Гашение пены происходит за счет разбрызгивания воды по площади камеры пеногашения. Система для гашения пены представляет собой перфорированный трубопровод, проложенный у потолка камеры, отверстия в котором направлены так, чтобы орошать всю площадь камеры пеногашения.

Уровень концентрата погашенной пены по мере накопления растет и при достижении грушевидного датчика верхнего уровня жидкости происходит включение системы взмучивания осадка. После пятиминутного взмучивания происходит выкачивание концентрата погашенной пены из камеры пеногашения с помощью того же насоса, который предназначен для выкачивания осадка из камеры реакции и для полного опорожнения секции озонофлотатора. Насос подает концентрат погашенной пены по напорному трубопроводу в начало очистных сооружений в лоток перед вторичными отстойниками. Этот же трубопровод служит для подачи осадка из камеры реакции в начало сооружений и для полного опорожнения озонофлотаторов. Откачивание концентрата пены прекращается при срабатывании грушевидного датчика нижнего уровня жидкости. После завершения процесса перекачки на ответвлении от напорного трубопровода открывается кран с электроприводом на период, равный 30-ти минутам. За это время жидкость, оставшаяся в напорном трубопроводе после перекачки в начало очистных сооружений, самотеком сливается в камеру пеногашения. Поскольку напорный трубопровод проложен с против уклоном и объем жидкости, содержащийся в нем, составляет примерно 1 м^3 , времени 30-ти минут будет достаточно для полного опорожнения данного трубопровода. Опорожнение необходимо для предотвращения промерзания находящейся в нем жидкости в зимний период.

Для удобства эксплуатации дно камеры пеногашения имеет пирамидальную форму. Воду для взмучивания осадка в камере пеногашения подает тот же насос, который служит для подачи воды в систему пеногашения. Забор воды для взмучивания осадка так же, как и для гашения пены осуществляется из средней части камеры реакции. Распределительная система взмучивания осадка представляет собой перфорированный трубопровод, проложенный по периметру камеры пеногашения у нижнего основания прямоугольной части камеры. Отверстия перфорированного трубопровода направлены вниз вдоль стенок пирамидальной части камеры пеногашения.

Помещение насосной станции заглубленного типа заблокировано с торцевой частью камер реакций. В верхнем перекрытии данного помещения установлен

люк с размером, позволяющим загружать и выгружать любое установленное в помещении оборудование. В нижней части помещения насосной станции установлены основные насосы консольного типа, изготовленные из нержавеющей стали, которые служат для удаления осадка из любой камеры реакции, для полного опорожнения любой секции озонофлотатора, а также для удаления погашенной пены из камеры пеногашения. На полке, расположенной приблизительно на середине высоты данного помещения, установлен вспомогательный насос, служащий для подачи воды как в систему пеногашения, так и в систему взмучивания осадка. Обе вышеуказанные системы расположены в камере пеногашения. Вспомогательный насос также изготовлен из нержавеющей стали. Вода для подачи в системы пеногашения и взмучивания осадка отбирается из средней части камеры реакции.

На железобетонной полке, расположенной у верхнего перекрытия помещения насосной станции, установлены вакуумные вихревые воздуходувки, создающие вакуум в камере пеногашения. Расчетный расход вакуумных воздуходувок должен превышать расход озоновоздушной смеси, подаваемый в озонофлотационные камеры. Вакуум, создаваемый вихревыми вакуумными воздуходувками, должен обеспечивать транспортирование флотошлама из озонофлотационной камеры в камеру пеногашения по трубе. После гашения пены воздух освобождается и отводится под действием того же вакуума, создаваемого вакуумными вихревыми воздуходувками, за пределы озонофлотатора. Однако сбрасывать данный воздух непосредственно в окружающую воздушную среду нельзя, поскольку он содержит остатки не вступившего в реакцию озона. Поэтому предусмотрена система обезвреживания данного воздуха, заключающаяся в деструкции остаточного озона с помощью деструктора. Из деструктора воздух попадает в вытяжную трубу для выброса в атмосферу. Высокая вытяжная труба делает выброс отработанного воздуха безопасным даже в случае неисправности деструктора.

Пол помещения насосной станции выполнен с уклоном в сторону дренажного приемка, который расположен в одном из углов помещения. В дренажном приемке расположен погружной насос, позволяющий удалять загрязненные грунтовые воды, который оборудован датчиком уровня. При срабатывании автоматики дренажного насоса он включается и перекачивает дренажные воды из приемка в общий водоотводящий лоток озонофлотатора.

На рисунке 2 представлена аксонометрическая схема вышописанной озонофлотационной установки, разработанная кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

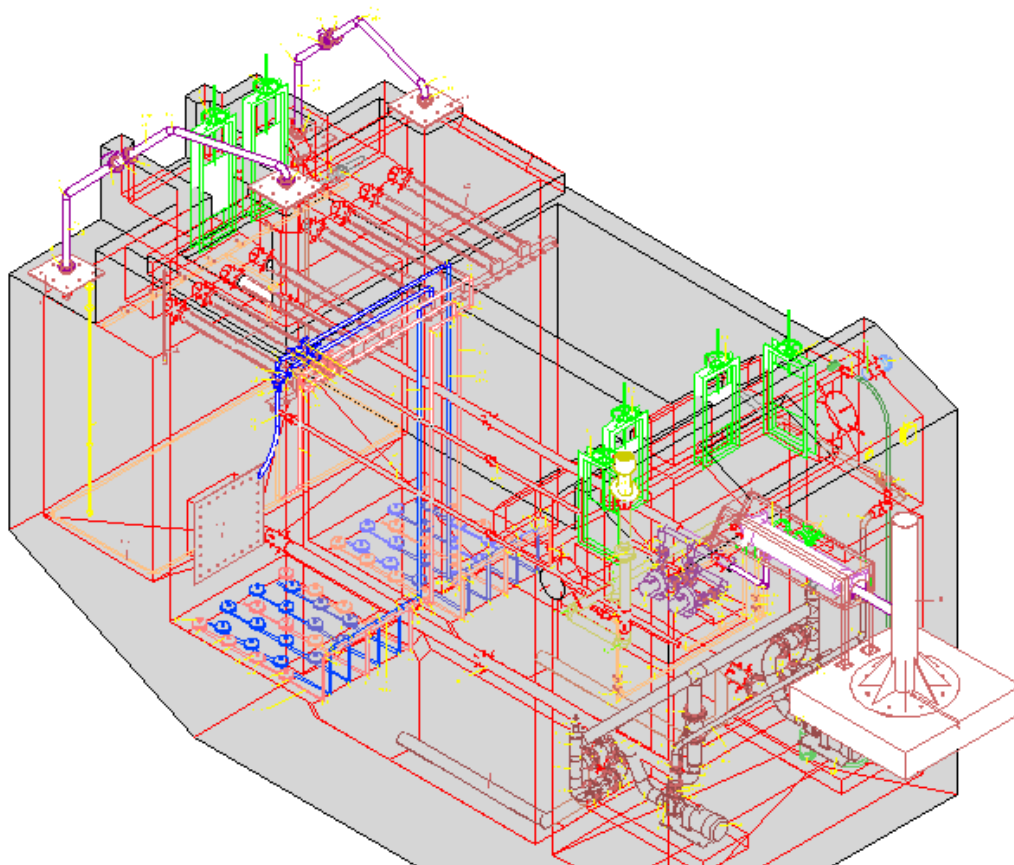


Рисунок 2 – Аксонометрическая схема камеры озонифлотации, совмещенная с камерами реакции и пеногашения

Заключение. Озонирование является самым перспективным методом обеззараживания городских сточных вод при его введении методом озонифлотации. При этом происходит не только обеззараживание воды и окисление стойких к биологическому окислению веществ, но и флотационная очистка сточной воды от активного ила, в случае его выноса из вторичных отстойников, происходящего при сбоях в работе сооружений биологической очистки. Также озон эффективно разрушает лекарственные вещества, которые попадают в городские сточные воды.

Список цитированных источников

1. Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод / Ю. В. Воронов, С.В. Яковлев. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.
2. Абдурахманов А. А. Анализ методов обеззараживания сточных вод / А. А. Абдурахманов, У. М. Матаев, О. Долдаев // Водопользование. Водоотведение. Водоподготовка. – 2021. – № 1. – С. 26–30.
3. Белов, С. Г. Перспективы применения озона вместо гипохлорита для обеззараживания питьевой воды при централизованном водоснабжении / С. Г. Белов, Г. О. Наумчик. // Международная научно-техническая конференция «Современные тенденции в развитии водоснабжения и водоотведения» : материалы Междунар. конф., посвященной 145-летию УП «Минскводоканал», Минск, 13–14 февраля 2019 г. : в 2 ч. – Минск : БГТУ, 2019 – Ч. 2 – 324 с. – ISBN 978-985-530-738-0.

4. Грудинкин, А. П. Технологические и технические особенности метода обеззараживания воды ультрафиолетом / А. П. Грудинкин, В. М. Пискарева // Сантехника. – 2016. – №5. – С. 52–56.
5. Драгинский, В. Л. Озонирование в процессах очистки воды / В. Л. Драгинский, Л. П. Алексеева, В. Г. Самойлович. – М. : ДеЛи принт, 2007. – 400 с.
6. Орлов, В. А. Озонирование воды / В. А. Орлов. – М. : Стройздат, 1984. – 88 с.
7. Разумовский, С. Д. Озон и его реакции с органическими соединениями / С. Д. Разумовский, Г. Е. Заиков. – М. : Наука, 1974. – 324 с.
8. Алексеев, С. Е. Оценка эффективности применения озона при очистке воды сильнозагрязненных источников водоснабжения / С. Е. Алексеев, Е. В. Корса-Вавилова, А. Я. Шмелёв // Водоснабжение и санитарная техника. – 2021. – № 6. – С. 8–17.
9. Прожерина, Ю. Фармацевтические отходы как новая экологическая проблема / Ю. Прожерина // Водопользование. Водоотведение. Водоподготовка. – 2021. – № 1. – С. 31–40.
10. Баренбойм, Г. М. Загрязнения поверхностных и сточных вод лекарственными препаратами / Г. М. Баренбойм, М. А Чиганова // Вода: химия и экология. – 2012. – № 10. – С. 40–46.
11. Мухутдинова, А. Н. Фармацевтические соединения на основе азотосодержащих гетероциклов – новый класс загрязителей окружающей среды / А. Н. Мухутдинова, М. И. Рычкова, Е. А. Тюмина, Е. В. Вихарева // Вестник Пермского университета. – 2015. – № 1. – С. 65–76.

УДК 551.43(476)

ОСОБЕННОСТИ НЕОГЕНОВОГО СЕДИМЕНТОГЕНЕЗА И ЕГО СВЯЗЬ С МИНЕРАГЕНИЕЙ ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПОДЛЯССКО-БРЕСТСКОЙ ВПАДИНЫ

М. А. Богдасаров¹, Н. Ф. Гречаник¹, Ю. Д. Кожанов², Е. А. Кухарик³

¹ УО «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина», Брест, Беларусь, bogdasarov73@mail.ru

² Средняя школа № 24, Брест, Беларусь, robing-1@mail.ru

³ Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь, shzhk@mail.ru

Аннотация

Показано, что территория Подляско-Брестской впадины в течение неогенового времени развивалась в континентальных условиях, что обусловило накопление песчаных, глинистых и угольных отложений, которые представляют определенный интерес как полезные ископаемые. Рассмотрена связь неогенового седиментогенеза с минерагеническим потенциалом, построена соответствующая схема.

Ключевые слова: неогеновая система, отложения, седиментогенез, минерагения, Подляско-Брестская впадина.