

Таблица 2. Результаты исследования процесса очистки сточных вод на двухступенчатом дисковом биофилтре, работающем в режиме "вытеснителя" с применением дополнительной аэрации сточной жидкости (время пребывания сточной жидкости в секции биофилтра – 20 минут)

Стадии обработки	БПК5 исходной жидкости, мг/дм ³	БПК5 выхода при q возд.: q ст. жидкости=			Эффект очистки, Э, %, при q возд.: q ст. жидкости=			Органическая нагрузка, гБПК5/м ² *сут, при q возд.			Окислительная мощность, гБПК5/м ² *сут, при q возд.		
		1:1 qвозд. = 0,86 м ³ /сут	2:1 qвозд. = 1,72 м ³ /сут	3:1 qвозд. = 2,58 м ³ /сут	1:1	1:2	1:3	qвозд. = 0,86 м ³ /сут	qвозд. = 1,72 м ³ /сут	qвозд. = 2,58 м ³ /сут	qвозд. = 0,86 м ³ /сут	qвозд. = 1,72 м ³ /сут	qвозд. = 2,58 м ³ /сут
После первой ступени обработки	4000	1400	960	920	65	76	77	1009			328	383	388
	3000	930	780	750	69	74	75	756			261	280	284
	2000	780	700	680	61	65	66	504			154	164	166
	1000	630	610	600	37	39	40	252			46,5	49,2	50,4
После второй ступени обработки		490	288	267	65	70	71	124	73	67	115	85	82
		372	273	247	60	65	67	94	69	62	70	64	63
		296,4	231	211	62	67	69	75	58	53	61	59	59
		315	268	252	50	56	58	79	68	64	40	43	44
После двух ступеней обработки	4000	490	288	267	88	93	93	504,3			221	234	235
	3000	372	273	247	88	90	92	378,3			166	172	174
	2000	296,4	231	211	85	88	89	252,2			107	112	113
	1000	315	268	252	69	73	75	126,1			43	46	47

VOLKOVA G.A., ANDREYUK S.V., STOROZHUK N.Yu. Intensification of process of biochemical sewage treatment of the milk-processing enterprises

The article presents the ways of intensification of biochemical wastewater treatment for the dairy industry. The results of studies of process intensification cleaning by applying additional aeration of the liquid waste.

УДК 628.316

Белов С.Г., Наумчик Г.О.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕСТРУКЦИИ ФОРМАЛЬДЕГИДА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ С ПОМОЩЬЮ ОЗОНА

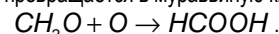
Введение. Загрязнения сточных воды текстильных предприятий представляют собой сложную смесь различных органических и неорганических веществ, таких как красители, ПАВы, щелочи, кислоты, соли органических и минеральных кислот, природные примеси волокон тканей. Но наиболее разнообразным и трудноудаляемым классом загрязнений сточных вод текстильных предприятий являются текстильно-вспомогательные вещества (ТВВ). К ним относятся вещества, используемые для закрепления и выравнивания окраски тканей, для придания тканям различных полезных свойств, таких как несминаемость, огнестойкость, водонепроницаемость, грязеотталкиваемость и других.

Текстильно-вспомогательные вещества очень разнообразны по химическому составу и экологической опасности для окружающей среды. Как правило, они являются предконденсатами различных высокомолекулярных веществ и в процессе обработки ткани закрепляются на ней и придают ей необходимые свойства. В составе большинства предконденсатов данных полимеров входит формальдегид. После обработки ткани из состава предконденсата выделяется свободный формальдегид, который при последующей промывке попадает в сточные воды.

Свободный формальдегид присутствует в сточных водах не только предприятий легкой промышленности, но также и предприятий деревообрабатывающей промышленности. Как известно, формальдегид входит в состав фенолформальдегидных и мочевиноформальдегидных смол, используемых при изготовлении фанеры, древесно-стружечных плит, древесно-волоконистых плит, клееного бруса

и т.д. Например, в сточных водах некоторых подразделений деревообрабатывающего предприятия ЗАО «Пинскдрев» концентрация формальдегида может достигать 200 мг/л.

Формальдегид является высокотоксичным веществом для водных организмов, его ПДК в сточных водах составляет 0,05 мг/л. В нормальных условиях в свободном состоянии он представляет собой газ с резким запахом, хорошо растворимый в воде. По химической природе он является простейшим альдегидом, имеет формулу CH_2O , и как все альдегиды обладает восстановительными свойствами. При окислении, формальдегид превращается в муравьиную кислоту:



Образующаяся в результате окисления формальдегида муравьиная кислота не является высокотоксичным веществом и усваивается микроорганизмами в качестве питательного вещества. Поэтому представляется целесообразным удаление формальдегида из сточных вод методом окисления его до муравьиной кислоты.

Наиболее эффективным окислителем, позволяющим разрушать органические загрязнения в сточных водах при любых концентрациях и обычных температурах, является озон. Он используется для удаления из сточных вод нефтепродуктов, красителей, ПАВов, снижения ХПК и т.д.

Авторами статьи на кафедре ВВиОВР БрГТУ были выполнены исследования удаления красителей из сточных вод предприятий текстильной промышленности с помощью озона [1, 2]. Также были выполнены исследования деструкции различных ароматических

Белов Сергей Григорьевич, к.т.н., доцент кафедры водоснабжения, водоотведения, охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

Наумчик Григорий Остапович, ассистент кафедры водоснабжения, водоотведения, охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

соединений методом озонирования [3]. Данные исследования показали высокую эффективность применения озона для деструкции данных веществ в водных растворах. В данной работе исследовалась эффективность применения озона для деструкции формальдегида в водных растворах, поскольку в литературных источниках информации по данному вопросу не имеется.

Методическая часть. Определение концентрации формальдегида в водных растворах осуществлялось спектрофотометрическим методом на основе специально разработанной методики с использованием в качестве индикатора фуксинсернистой кислоты (реактив Шиффа). За основу был выбран метод качественного анализа альдегидов, описанный в [4]. Необходимость разработки специальной методики определения формальдегида была обусловлена особенностями выполнения исследований с использованием озона. Дело в том, что при осуществлении процесса озонирования в продуктах реакции остается не прореагировавший озон, а также растворенный кислород. Чтобы исключить влияние не прореагировавшего озона и кислорода на результаты анализа необходимо удалить их из реакционной смеси. В данных исследованиях это осуществлялось путем добавления мелкого порошка сульфата двухвалентного железа ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) в количестве 40 мг на 20 мл реакционной смеси, взятой в качестве пробы для анализа. Данное количество сульфата железа полностью связывало как остаточный озон, так и весь растворенный кислород в 20 мл пробы реакционной смеси. Метод анализа формальдегида с хромотроповой кислотой, описанный в [5] является очень громоздким и тяжело осуществимым при выполнении большого количества анализов, а метод анализа формальдегида гидрохлоридом фенилгидразина, также приводимый в [5] как было установлено авторами по чувствительности не превышает чувствительность определения формальдегида с фуксинсернистой кислотой. Также не известно, как могли бы повлиять ионы железа на определение формальдегида с хромотроповой кислотой или гидрохлоридом фенилгидразина. При определении формальдегида с фуксинсернистой кислотой авторами было установлено, что ионы железа не взаимодействуют с реактивом Шиффа.

Метод анализа формальдегида с использованием в качестве индикатора фуксинсернистой кислоты основан на том, что краситель фуксин образует с сернистой кислотой бесцветное нестойкое соединение – фуксинсернистую кислоту. Данное соединение взаимодействует с альдегидами с образованием окрашенных продуктов присоединения, на чем и основано применение фуксинсернистой кислоты в качестве реагента для обнаружения альдегидов. Однако при взаимодействии с веществами, связывающими сернистый ангидрид, фуксинсернистая кислота разлагается, и при этом выделяется свободный краситель. К данным веществам в частности относятся окислители, окисляющие сернистую кислоту до серной. При этом раствор приобретает окраску, интенсивность которой пропорциональна количеству выделившегося красителя, и это искажает результаты анализа.

В результате выполненной работы был получен раствор фуксинсернистой кислоты, позволяющий определять концентрацию формальдегида в водных растворах менее 1 мг/л, однако необходимость добавления сульфата двухвалентного железа в пробу снижает чувствительность анализа из-за маскирующего действия ионов трехвалентного железа до 3...5 мг/л формальдегида.

Методика выполнения анализа проводилась следующим образом. В пробе объемом 20 мл растворялось 40 мг порошка $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, затем добавлялось 5 мл раствора индикатора фуксинсернистой кислоты, далее смесь перемешивалась и выдерживалась в герметичной склянке в течение 20-ти минут. Параллельно выполнялся холостой опыт по той же методике с добавлением вместо фуксинсернистой кислоты дистиллированной воды. После этого на сканирующем спектрофотометре СФ-2000 снимался спектр в диапазоне от 400 до 750 нм, и определялось значение оптической плотности на характерной для красителя фуксина длине волны 555 нм, как пробы, так и холостого опыта. Абсолютное поглощение фуксинсернистой кислоты на характерной длине волны определялось путем вычитания результатов значения оптической плотности холостого опыта из значения оптической плотности пробы.

По данной методике с использованием ГСО формальдегида был построен калибровочный график, позволяющий с высокой точностью

определять концентрацию формальдегида от 5 до 100 мг/л, представленный на рисунке 1.

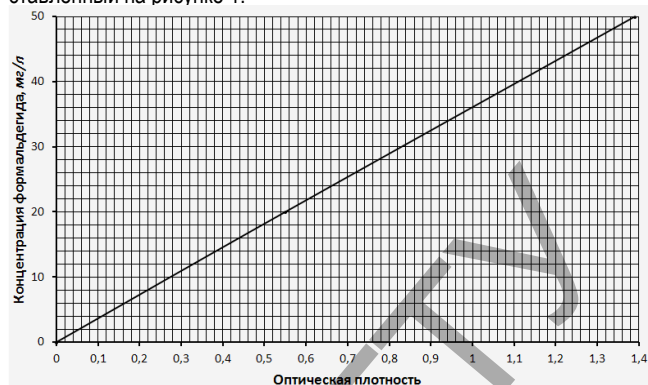


Рис. 1. Калибровочный график для определения концентрации формальдегида с помощью индикатора фуксинсернистой кислоты на длине волны 555 нм

Выполнение экспериментальных исследований по озонированию раствора формальдегида осуществлялась по разработанной авторами методике, позволяющей точно дозировать высокие дозы озона. Методика была разработана с целью обеспечения возможности применения высоких абсолютных доз озона к относительно небольшому объему реакционной смеси. При этом в качестве реагента – источника озона, используется как озонированная вода, так и озонированный кислород [6]. Данная методика неоднократно использовалась авторами в исследованиях по озонированию растворов красителей и других органических соединений [2, 3].

Продукты озонирования также исследовались на содержание перекисных соединений, образующихся в результате окисления озон простыми органическими кислот, для выяснения химизма процесса окисления формальдегида озонем. Методика обнаружения небольших концентраций перекисных соединений в водных растворах приводится в [5]. Согласно данной методике в пробу реакционной смеси последовательно добавлялись по 1 мл растворов иодида калия, серной кислоты и крахмала. Далее проба выдерживалась в течение десяти минут. Появление синей окраски свидетельствовало о наличии в реакционной смеси перекисных соединений.

Определение ХПК, выполнялось арбитражным методом, детально описанным в [5]. Для снятия спектров использовался сканирующий спектрофотометр СФ-2000 и кварцевые кюветы с длиной оптического пути 50 мм. Для определения рН реакционных смесей использовался прибор «Экотест-120».

Экспериментальная часть. Целью данной работы было исследование эффективности применения озона для удаления формальдегида из сильноразбавленных водных растворов, каковыми являются сточные воды. В результате экспериментов, выполненных по вышеприведенной методике, была получена зависимость эффекта очистки водного раствора формальдегида от удельной дозы озона, представленная на рисунке 2.

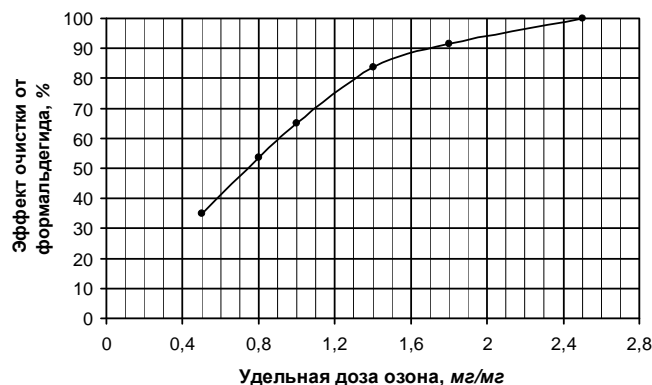


Рис. 2. Результаты исследований по удалению формальдегида из водных растворов с помощью озона

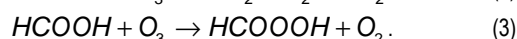
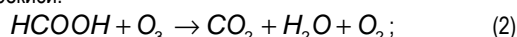
Выполненные исследования показывают, что с увеличением удельной дозы озона остаточная концентрация формальдегида в растворе уменьшается, т.е. эффект очистки растет. При этом до удельной дозы озона порядка 1,4 мг/мг формальдегида эффект очистки увеличивается практически прямо пропорционально увеличению удельной дозы озона, а при дальнейшем увеличении дозы озона процесс деструкции формальдегида замедляется. Полное удаление формальдегида из водного раствора с помощью озонирования наблюдалось при удельной дозе озона 2,5 мг/мг формальдегида и времени реакции более 3-х часов.

Очевидно, на участке прямо пропорциональной зависимости эффекта очистки от дозы озона в основном протекает реакция окисления формальдегида до муравьиной кислоты по радикальному механизму:



Теоретически для окисления одной молекулы формальдегида до муравьиной кислоты по данному уравнению реакции требуется одна молекула озона, что соответствует удельной дозе 1,6 мг/мг. Данное соотношение, как показывает экспериментально полученная зависимость, выполняется до разрушения порядка 85% формальдегида, подвергнутого озонированию в водном растворе. Однако при удельной дозе озона порядка 1,4 мг/мг и выше данная зависимость перестает быть прямо пропорциональной, что объясняется замедлением скорости реакции озона с формальдегидом при низких концентрациях последнего, а также все более возрастающей долей озона взаимодействующей с образовавшейся муравьиной кислотой. Также при длительном времени реакции сказывается процесс самораспада озона.

Взаимодействие озона с муравьиной кислотой возможно по двум различным механизмам – окисление до CO₂ и H₂O или до простейшей гидроперекиси:



Механизм взаимодействия озона с органическими соединениями в водных растворах по реакции (2) рассматривается как наиболее вероятный во многих источниках, посвященных проблемам водоподготовки и очистки сточных вод [7, 8]. Однако в работе [9] указано, что простейшие органические кислоты при озонировании в водных растворах окисляются не до CO₂ и H₂O, а до простейших пероксикислот по реакции (3). Данная реакция протекает очень медленно, а образующиеся перекиси являются довольно стойкими в разбавленных водных растворах при отсутствии других органических соединений.

Для уточнения механизма взаимодействия озона с продуктами озонирования в водных растворах формальдегида, содержащих муравьиную кислоту, были сняты спектры с помощью сканирующего спектрофотометра в УФ диапазоне (на длинах волн 200...400 нм). Для сравнения в том же диапазоне были сняты спектры растворов муравьиной кислоты, в различных концентрациях. Данные спектры представлены на рисунках 3 и 4.

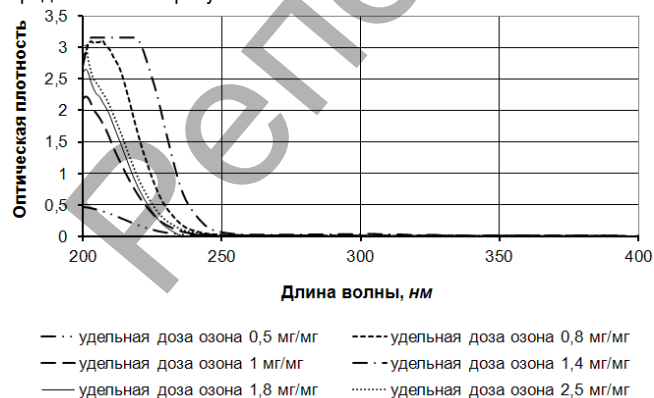


Рис. 3. Спектры поглощения растворов формальдегида, обработанные различными удельными дозами озона

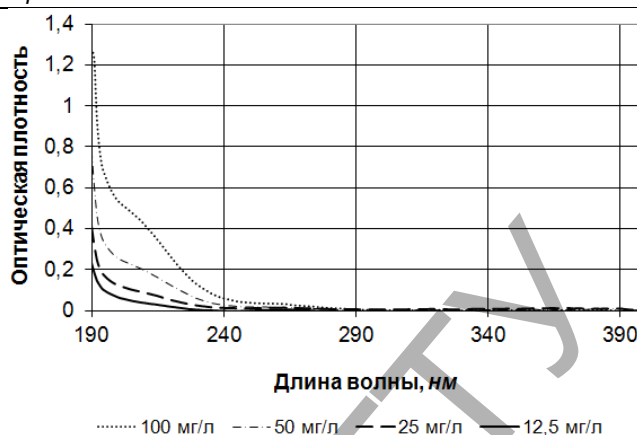


Рис. 4. Спектры поглощения водных растворов муравьиной кислоты

Представленные на рисунке 3 спектры показывают, что уровень поглощения в УФ диапазоне растворов формальдегида, обработанных озном, с увеличением его удельной дозы, увеличивается. Раствор чистого формальдегида при исследованных концентрациях порядка 100 мг/л не поглощает УФ излучение в диапазоне от 200 до 400 нм. Водные растворы муравьиной кислоты, как показывают спектры, представленные на рисунке 4, в данных концентрациях обладают заметным поглощением в ближнем УФ диапазоне. Поэтому можно предположить, что спектры, представленные на рисунке 3, обусловлены появлением в продуктах озонирования заметных количеств муравьиной кислоты. При минимальной исследованной удельной дозе озона спектр поглощения продуктов озонирования по форме хорошо согласуется со спектрами поглощения растворов муравьиной кислоты при концентрациях 50...100 мг/л. Теоретическая концентрация муравьиной кислоты для удельной дозы озона 0,5 мг/мг формальдегида при исходной концентрации формальдегида в растворе 75 мг/л, должна составлять около 40 мг/л, при этом оптическая плотность данного раствора на длине волны 200 нм, должна иметь значение около 0,3. Фактическая оптическая плотность на этой же длине волны составила 0,5. При более высоких удельных дозах озона оптическая плотность продуктов озонирования раствора формальдегида значительно превышает расчетную оптическую плотность, соответствующую поглощению чистого раствора муравьиной кислоты стехиометрической концентрации, образовавшейся в соответствии с уравнением реакции (1). Спектры, представленные на рисунке 3, были получены при исследовании продуктов озонирования с различной исходной концентрацией формальдегида, поэтому их уровни поглощения не прямо пропорциональны использованной удельной дозе озона.

Для подтверждения предположения об образовании перекисных соединений при озонировании водных растворов формальдегида были выполнены анализы на наличие перекисных соединений в продуктах озонирования. Исследования выполнялись по методике, приведенной в методической части, их результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты исследования продуктов озонирования растворов формальдегида на наличие перекисных соединений

Удельная доза озона, мг/мг формальдегида	0,5	0,8	1	1,4	1,8	2,5
Результат анализа на наличие перекисных соединений	—	—	—	+	+	++

Примечание:

- «—» – перекисных соединений не обнаружено;
- «+» – наличие небольшого количества перекисных соединений;
- «++» – наличие значительного количества перекисных соединений

Сопоставление результатов спектрометрического анализа с данными таблицы 1, позволяет сделать вывод о том, что при удельных дозах озона до 1 мг/мг формальдегида образуется незначи-

тельное количество перекисных соединений, которые не идентифицируются с помощью качественной реакции. Но повышенные уровни поглощения в УФ диапазоне свидетельствуют о наличии перекисей даже при низких удельных дозах озона, т.к. перекисные соединения имеют более высокий уровень поглощения по сравнению с органическими кислотами. При более высоких удельных дозах озона перекисные соединения уверенно идентифицируются в продуктах озонирования с помощью качественной реакции, что подтверждают спектрофотометрические исследования.

Образование муравьиной кислоты при озонировании формальдегида и ее превращение в перокси кислоту при высоких удельных дозах озона можно также проследить по изменению pH полученных продуктов озонирования. Формальдегид не обладает кислотными свойствами, поэтому его раствор имеет значение pH, близкое к нейтральному. В данных опытах pH исходного раствора формальдегида имело значение 5,5 и целиком определялось величиной pH используемой в опытах не обезгаженной дистиллированной воды.

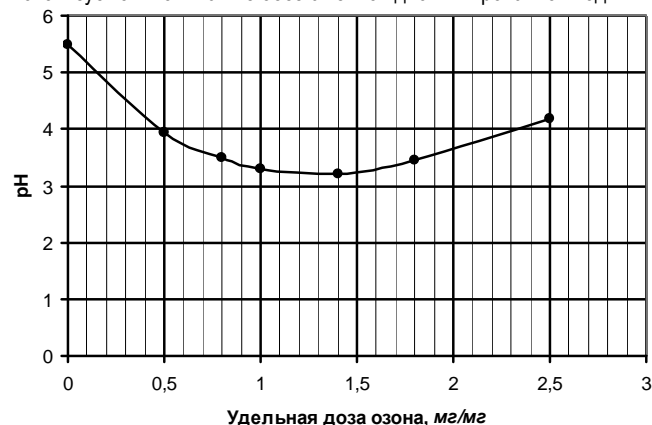


Рис. 5. Изменение pH раствора формальдегида с исходной концентрацией 75 мг/л в процессе озонирования

Как видно из графика, представленного на рисунке 5, по мере увеличения удельной дозы озона pH раствора вначале снижается, а затем увеличивается, но не до исходного уровня. Такая закономерность, в дополнение к спектрофотометрическим исследованиям и исследованиям с помощью качественной реакции, подтверждает предполагаемый химизм процесса озонирования формальдегида в водных растворах, согласно которому до удельной дозы озона порядка 1,5 мг/мг преимущественно протекает процесс окисления формальдегида в муравьиную кислоту, а при более высоких удельных дозах озона образовавшаяся муравьиная кислота окисляется в перокси кислоту. Перокси кислоты являются более слабыми кислотами, чем простые органические кислоты, поэтому график на рисунке 5 проходит через минимум, соответствующий максимальному количеству муравьиной кислоты в продуктах озонирования. Разложение муравьиной кислоты до CO_2 и H_2O при обработке озоном не установлено.

Исследование химизма реакции формальдегида с озоном также уточнялось с помощью определения ХПК продуктов озонирования. Теоретическое ХПК раствора формальдегида с концентрацией 100 мг/л составляет 106 мг $\text{O}_2/\text{л}$. Бихроматное ХПК данного раствора, определенное арбитражным методом, составило 90 мг $\text{O}_2/\text{л}$. Результаты определения ХПК продуктов озонирования раствора формальдегида с исходной концентрацией 100 мг/л представлены на рисунке 6.

Полученная зависимость ХПК продуктов озонирования подтверждает радикальный механизм взаимодействия озона с формальдегидом на всех стадиях процесса, т.е. в реакцию вступает только один из трех атомов кислорода, содержащихся в молекуле озона. Упрощенно образование активного атома кислорода по радикальному механизму можно представить в виде реакции диссоциации озона:

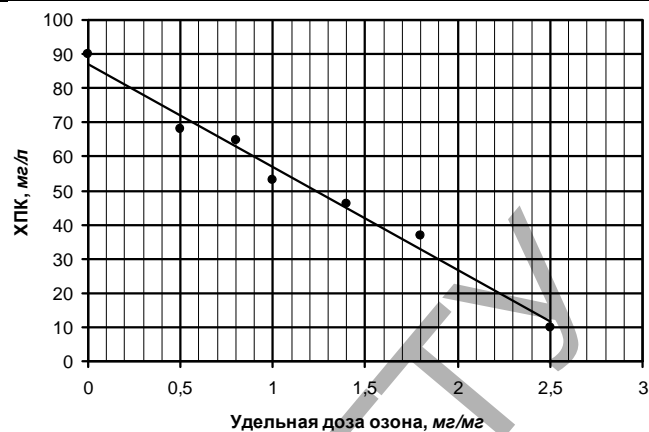
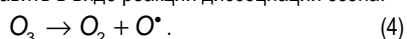


Рис. 6. ХПК необработанного озонем и озонированных растворов формальдегида с исходной концентрацией 100 мг/л

Это подтверждается расчетом доли кислорода, присоединенного к формальдегиду в процессе озонирования, и соответственного снижения ХПК продукта реакции. Например, ХПК исходного раствора формальдегида, согласно графику, представленному на рисунке 6, составляло 87 мг $\text{O}_2/\text{л}$, а ХПК продукта озонирования при удельной дозе озона 1 мг/мг — 54 мг $\text{O}_2/\text{л}$. Т.е. снижение ХПК при использовании данной дозы озона составило $87 - 54 = 33$ мг $\text{O}_2/\text{л}$. Как видно, к формальдегиду в результате озонирования из каждых 100 мг озона присоединилось только 33 мг кислорода, что составляет одну треть от его использованного количества. Это полностью согласуется с радикальным механизмом образования активного кислорода по уравнению (4). При высоких удельных дозах озона наблюдается небольшое отклонение от теоретического значения снижения ХПК в сторону увеличения ХПК по сравнению с расчетным. Это объясняется более длительным временем реакции и соответственно увеличением влияния процесса самораспада озона.

Заключение

1. Установлено, что озон легко окисляет формальдегид в водных растворах, при этом на первой стадии процесса происходит окисление формальдегида в муравьиную кислоту, а на второй стадии образовавшаяся муравьиная кислота окисляется до перекисных соединений, причем эти реакции происходят по радикальному механизму.
2. Удельная доза озона, необходимая для окисления основного количества формальдегида в муравьиную кислоту, составляет 1,4...1,8 мг озона / мг формальдегида, что позволяет удалить из водного раствора порядка 90% формальдегида от его исходного количества. Полное удаление формальдегида при данных удельных дозах озона не наблюдается, поскольку часть озона тратится на параллельные реакции окисления муравьиной кислоты. Для полного удаления формальдегида из водного раствора методом озонирования необходима удельная доза озона 2,5 мг озона / мг формальдегида и выше, и длительное время реакции.
3. Обнаружено, что при озонировании формальдегида полного разрушения органического вещества до образования таких конечных продуктов, как CO_2 и H_2O не происходит, а образуются перокси кислоты, что было подтверждено как спектрофотометрическими исследованиями, так и с помощью качественной реакции на перекисные соединения.
4. В результате выполненных исследований, на примере формальдегида, показана эффективность применения озона для очистки сточных вод текстильных предприятий от таких опасных для водных объектов компонентов, как текстильно-вспомогательные вещества. Данные загрязнения в сточных водах принято характеризовать таким интегральным показателем ХПК. В проделанных экспериментах удалось снизить данный показатель загрязнения сточных вод с помощью озонирования практически до нуля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Житенев, Б.Н. Применение озона для снижения окраски сточных вод текстильных предприятий легкой промышленности / Б.Н. Житенев, С.Г. Белов, Г.О. Наумчик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2010. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 90–97.
2. Житенев, Б.Н. Исследование влияния продуктов реакции органических красителей с озоном на процесс последующей биологической очистки / Б.Н. Житенев, С.Г. Белов, Г.О. Наумчик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2013. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 42–46.
3. Житенев, Б.Н. Спектрометрические исследования влияния дозы озона на степень деструкции красителей в водных растворах / Б.Н. Житенев, С.Г. Белов, Г.О. Наумчик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2012. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 26–32.
4. Шапиро, С.А. Аналитическая химия / С.А. Шапиро, Я.А. Гурвич. – М.: Высшая школа, 1973 – 464 с.
5. Лурье, Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод / Ю.Ю. Лурье. – М.: Химия, 1984. – 447 с.
6. Белов, С.Г. Разработка метода точного дозирования высоких удельных доз озона при обработке воды / С.Г. Белов, Г.О. Наумчик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2011. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 73–81.
7. Мунтер, Райн. Очистка промышленных стоков / Райн Мунтер // Устойчивый водный менеджмент в бассейне Балтийского моря: Программа Балтийского университета / Уппсальский университет; под науч. ред. Ларс-Кристер Лундин. – Уппсала, 2000. – Книга 2: Использование и менеджмент водных ресурсов. – С. 219-236.
8. Кожин, В.Ф. Озонирование воды / В.Ф. Кожин, И.В. Кожин. – М.: Стройиздат, 1974. – 159 с.
9. Разумовский, С.Д. Озон и его реакции с органическими соединениями / С.Д. Разумовский, Г.Е. Заиков. – М.: Наука, 1974. – 324 с.

Материал поступил в редакцию 04.07.17

BELOV S.G., NAUMCHIK G.O. Research of formaldehyde destruction in water solutions with the help of ozone

The article claims the results of research of formaldehyde destruction in water solutions with the help of ozone. The research has been held at the basis of the method of accurate proportioning of a specific dose of ozone in relation to formaldehyde and with the use of the method, worked out by the authors. The method deals with the determination of formaldehyde in water solutions at the basis of fuchsin sulfurous acid. The results of the research of products of ozonation the solution of formaldehyde by different methods have proved that ozone interact with formaldehyde according to radical mechanism. When the first atom of oxygen join the molecule of formaldehyde, formic acid generates, and when the second atom joins – peroxy acid. Chemical decomposition of formaldehyde with the formation of carbon dioxide and water hasn't been seen. The conclusion has been made about the effectiveness of application of ozone for purification of sewage waters of textile enterprises from formaldehyde and other textile auxiliary substances.

УДК 628

Мороз В.В., Урецкий Е.А., Гуринович А.Д.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ АППАРАТУРНОГО ОФОРМЛЕНИЯ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ

Эксплуатация показала, что наиболее приемлемым видом оборудования для ведения процессов реагентной очистки являются типовые емкостные аппараты с механическим перемешивающими устройствами. Тем не менее, технологические возможности стандартной химической аппаратуры не учитываются. Во внимание принимается лишь объем аппаратов, позволяющий выдерживать стоки в соответствии с нормативным интервалом времени.

Характерные ошибки при подборке и обвязке химических аппаратов с перемешивающими устройствами:

- подбор оборудования без учета кинетики химических процессов;
- игнорирование гидродинамических возможностей химической аппаратуры;
- неправильная обвязка реакторов технологическими трубопроводами;
- непродуманные точки ввода сточных вод и реагентов в химический реактор;
- размещение чувствительных элементов систем автоматического регулирования (САР) вне активных зон реактора;
- отсутствие учета инерционностей САР.

Все указанные ошибки резко ухудшают эффективность использования стандартной химической аппаратуры и приводят к высокой металло- и энергоемкости технологических линий. Эффект очистки ниже ожидаемого.

В связи с этим, было необходимо разработать и применить единую методику, которая позволила бы выбрать оптимальные технологические условия и рассчитать производительность установок в зависимости от состава и количества обрабатываемых сточных вод.

Для решения этой задачи использованы методы системного анализа, которые успешно применяются при проектировании химических процессов [1], также при создании безотходных химических производств [2]. Согласно этому методу вся реакторная часть установок рассматривается как сложная химико-технологическая система (ХТС), со стоящая из отдельных подсистем, функционально связанных друг с другом. Расчленение (декомпозиция) системы на отдельные составляющие позволяет составить математическую модель каждой из подсистемы и объединить их в единое математическое описание. Такое математическое описание используется для выбора оптимальных технологических режимов процесса.

Применение этих принципов к процессам реагентной очистки сточных вод позволило выделить три иерархических уровня: кинетику химических реакций, гидродинамику аппаратов, смешивание химических реагентов с обрабатываемыми сточными водами на молекулярном уровне (микроремешивание). Функциональное соединение этих уровней привело к созданию единой методологии проектирования, схематично показанной на рис. 1. Использование этой методологии позволяет условно разбить весь процесс проектирования на три этапа:

Урецкий Евгений Аронович, член-корреспондент Белорусской инженерной технологической академии (БИТА).

Мороз Владимир Валентинович, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Гуринович Анатолий Дмитриевич, д.т.н., профессор кафедры гидравлики и гидравлических машин Белорусской национальной государственной академии строительства.

Беларусь, БНТУ, 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.