

УДК[628.31:614.718]:546.49

Л. Ф. ДОЛИНА – к.т.н., приват-профессор, кафедра «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, gidravlika2013@mail.ru

А. Ю. ЧЕРНАЯ – ассистент, кафедра «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, gidravlika2013@mail.ru

Е. К. НАГОРНАЯ – к.т.н., доцент, кафедра «Водоснабжение, водоотведение и гидравлики», ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ek\_n@i.ua

## ДОСТИЖЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ СОВРЕМЕННЫМИ МЕТОДАМИ ОЧИСТКИ ВОДЫ И ВОЗДУХА ОТ РТУТИ

*Статья рекомендована к публикации д. т. н., проф. Н. Н. Беляевым (Украина),  
д. т. н., проф. А. Б. Бойником (Украина)*

### Постановка проблемы

Ртуть – химический элемент II группы периодической таблицы Менделеева, атомный номер 80, относительная атомная масса 200,59. Известно 7 стабильных и более 20 радиоактивных изотопов ртути. Ртуть в обычных условиях представляет собой тяжелый жидкий металл. В специальной литературе такую ртуть называют «элементарной» или металлической (Hg<sup>0</sup>). Ртуть относительно редко встречается в природе в жидком состоянии, чаще ее можно найти в составе органических и неорганических соединений, в которых она может быть как одновалентной, так и двухвалентной. Под воздействием некоторых микроорганизмов и естественных процессов ртуть может менять форму своего нахождения. Элементарная ртуть, содержащаяся в виде паров в атмосфере, может трансформироваться в неорганические ртутные соединения, обеспечивая тем самым значительную возможность для осаждения поступающей в воздух «техногенной» ртути. В природе ртуть весьма редкий элемент, ее среднее содержание в земной коре и основных типах горных пород, по разным оценкам, колеблется в пределах  $3...9 \cdot 10^{-6}$  % (по массе). Масса ртути сосредоточена в поверхност-

ном слое земной коры мощностью в 1 км и в собственных месторождениях находится только 0,02 %, оставшаяся часть ртути рассеяна по горным породам [2 – 4]. Именно эта ртуть и создает природный геохимический фон, на который накладывается ртутное загрязнение, обусловленное деятельностью человека. Высвобождение ртути в окружающую среду происходит в основном в результате человеческой деятельности. Основным источником ртути является сжигание угля для получения электроэнергии и отопления. Ртуть содержится в угле и выделяется при его сгорании. Почти половина всех выбросов ртути в атмосферу происходит при сжигании угля на угольных электростанциях, в промышленных бойлерах и т. п. К другим источникам выбросов ртути относятся промышленные процессы, использование мусоросжигательных установок, добыча ртути, золота и других металлов. Поскольку ртуть является природным элементом, она высвобождается в окружающую среду в результате вулканической деятельности и выветривания скальных пород.

В основном воздействие метилртути на людей происходит во время употребления в пищу рыбы и моллюсков, загрязненных метилртутью. В тканях практически каждого

из нас есть, по меньшей мере, следы метилртути, что свидетельствуют о ее широком распространении в окружающей среде и воздействии на человека при употреблении в пищу рыбы и моллюсков.

Люди могут подвергаться воздействию ртути в любой ее форме в разных обстоятельствах. Для плода человека, а также для младенцев и детей основным последствием воздействия метилртути является нарушение неврологического развития. Воздействие метилртути на плод во время внутриутробного развития может происходить в результате потребления матерью рыбы или моллюсков, содержащих метилртуть, что чревато пагубными последствиями для развития мозга и нервной системы ребенка, может быть нарушены когнитивное мышление, память, внимание, речь, а также мелкая моторика и визуально-двигательная координация. При вдыхании воздуха, содержащего пары ртути в концентрации не выше  $0,25 \text{ мг/м}^3$ , последняя полностью задерживается в легких. В случае более высоких концентраций паров в атмосфере возможен и другой путь проникновения их в организм – через поврежденную кожу. В зависимости от количества ртути и длительности ее поступления в организм возможны острые отравления, хронические отравления, микромеркуриализм. Наиболее чувствительны к ртутным отравлениям дети и женщины [3, 4, 7].

Обычно симптомы острого ртутного отравления парами ртути проявляются уже через несколько часов после начала отравления – общая слабость, отсутствие аппетита, головная боль, боль при глотании, металлический привкус во рту, слюнотечение, набухание и кровоточивость десен, тошнота и рвота. Как правило, появляются боли в желудке, слизистый понос. Нередко наблюдается воспаление легких, катар верхних дыхательных путей, боль в груди, кашель, отдышка, иногда озноб. Температура тела повышается до  $38...40 \text{ }^\circ\text{C}$ . В моче пострадавшего находят значительные количества ртути. В особо тяжелых случаях через несколько дней возможна смерть.

При хронических отравлениях ртути в первую очередь поражается нервная система. Последствия хронического отравления могут проявляться спустя несколько лет после прекращения контакта с ртутью.

Микромеркуриализм – это хроническое отравление, которое возникает при воздействии на человека ничтожных концентраций паров ртути в течение 5...10 лет. Клиническими проявлениями микромеркуриализма являются быстрая утомляемость, снижение работоспособности, повышенная возбудимость, раздражительность, головные боли, ослабление памяти. По мере высвобождения в окружающей среде (в воздухе, осадочных отложениях, воде) она проходит ряд сложных превращений. Когда ртуть попадает в почву или в осадочные отложения, она превращается в метилртуть под влиянием бактерий. Метилртуть является самой высокотоксичной формой ртути, она особенно усиливается в пищевых цепях, аккумулируется в морской и речной рыбе, млекопитающих, и чем старше возраст рыбы или млекопитающих, тем больше в них концентрация метилртути [5 – 7].

Ртуть может находиться в разном количестве во многих изделиях, включая гальванические элементы, измерительные приборы, такие как термометры, барометры; электрические переключатели и реле в оборудовании, лампы (включая энергосберегающие для домашнего пользования); косметические и фармацевтические средства. При использовании и утилизации продукции, содержащей ртуть, важно соблюдать должную осторожность.

#### **Анализ последних исследований и публикаций**

Чрезвычайную опасность в качестве загрязнителей природных вод представляют тяжёлые металлы, оказывающие токсическое воздействие на водные организмы в даже сравнительно малых концентрациях. В ряду тяжёлых металлов приоритетное место по токсичности для гидробионтов и

человека занимает ртуть. При миграции и трансформации в водной экосистеме она накапливается в виде высокотоксичных соединений. Накопление ртути в биоте ингибирует обменные процессы, ослабляет защитные функции крови. Поверхностные источники являются основными источниками водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий Украины, а также водоёмами – приемниками сточных вод. Поэтому, проблема предотвращения ртутного загрязнения поверхностных источников водоснабжения представляется актуальной.

Многолетнее функционирование производств каустической соды и хлора методом ртутного электролиза на химических комбинатах, привело к тому, что близлежащие территории и акватории оказались загрязненными ртутью и в регионах возникли серьезные экологические проблемы. Вода в поверхностных источниках оказалась непригодной для целей питьевого водопользования, а содержание ртути в рыбе превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК) в сотни и тысячи раз [6 – 8].

Анализ современной отечественной и зарубежной литературы [1 – 9] показывает, что основным методом удаления ионов тяжелых металлов (ртути) из сточных вод является реагентный, основанный на нейтрализации и осаждении металлов в форме гидроксидов с образованием минеральных шламов, утилизация которых является серьезной проблемой. Причины низкой эффективности реагентного метода остаются до конца невыясненными.

В связи с этим необходим новый подход к выбору методов демеркуризации сточных вод, позволяющий извлекать малые и ультрамалые концентрации ртути из сточных вод. Актуальными являются подробные исследования закономерностей извлечения малых концентраций ртути из сточных вод, возможностей возврата очищенной воды в производство и разработка научно-обоснованных методов утилизации ртути.

## **Цель**

Целью данной работы является разработка технологий и технологических схем очистки сточных вод и пылегазовых выбросов, содержащих ртуть. Поэтому достижение безопасности на производствах при эксплуатации оборудования, установок, приборов, содержащих ртуть или же технологических процессов, выделяющих ртуть и ее соединения в окружающую среду, один из важнейших вопросов, требующий особого внимания.

Цель работы также заключается в исследовании и применении эффективной технологии очистки ртутьсодержащих сточных вод ионообменными смолами. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- оценить уровень ртутного загрязнения сточных вод и воздуха производственных предприятий;
- провести анализ эффективности существующих схем, технологий, конструкций локальных очистных сооружений, предприятий, имеющих ртутьсодержащие стоки, и осуществить выбор ионообменных материалов, пригодных для извлечения ртути из сточных вод;
- разработать технологическую схему очистки сточных вод от ртути.

## **Потери ртути в производстве и ее поступления в воздух, воду и грунты**

Основными источниками потерь ртути являются каустическая сода, водород, сточные воды, хлор, шламы, вентвыбросы. Величина потерь определяется особенностями технологической схемы, уровнем соблюдения технологического режима, культурой производства, наличием и эффективностью работы узлов очистки от ртути. Величины потерь ртути с каустической содой, хлором, неиспользованным водородом распределяется в ничтожных количествах между потребителями продуктов, и, в конечном счете, поступает в окружающую

среду или отходы при хранении или использовании продуктов.

Ртуть, теряемая с абгазами, вентвыбросами, поступает в атмосферу, а уходящая со сточными водами, неиспользуемыми в замкнутом цикле, – в водоемы.

Потери ртути с рассольными шламами определяются существующими на производстве методами очистки рассола. При использовании привозной соли без выпарки первичного рассола они велики, при использовании чистой выпаренной соли – малы. Рассольные шламы с низкой концентрацией ртути в них не подлежат переработке, а уплотняются и накапливаются на специально оборудованных и контролируемых полигонах. Величина потерь ртути с другими видами шламов, выбираемых из электролизеров при чистках, образующихся при обратной промывке фильтров, после отстоя сточных вод, из отработанного графита разлагателей, активированного угля, ионообменных смол и т. д., может быть сведена до минимума за счет термической регенерации ртути в них.

Потери ртути с выбросами, образующимися в результате интенсивной вентиляции зала электролиза, практически не могут быть сокращены иным путем, кроме поддержания высокой культуры производства: герметизации ванн, максимального сокращения частоты остановок и чистки ванн, предотвращения случайных разливов и утечек ртути, организация своевременного сбора пролитой ртути. Пары ртути, уходящие с вентвыбросами через аэрационные фонари зала электролиза, конденсируются и оседают на строительные конструкции и почву в зоне, прилегающую к производству. Под воздействием атмосферных осадков и естественных процессов испарения, эта ртуть может попадать в водоемы и разносится за пределы зоны первичного выброса.

Потери ртути могут происходить на электролизерных установках при случайных утечках или же вызванных негерметичностью фланцевых соединений, вместе со шламами, или же при очистке анолита.

Ряд этих потерь зависит от режима эксплуатации электролизных установок, их конструктивных особенностей и периодов непрерывной работы установок.

Снижения механических потерь ртути, возникающих в ходе неполного улавливания и возврата разливов ртути при обслуживании и ремонте электролизеров в хлорно-щелочном производстве, можно добиться путем максимального сокращения частоты остановок электролизеров на чистки и ремонты, строгого соблюдения норм обслуживания и технологической дисциплины, повышения качества ремонта, организации постоянного сбора пролитой ртути с очисткой ее до требуемой нормы, обеспечения герметичности полов в залах электролиза, организации лотков и приямков для сбора сточных вод и пролитой ртути с вакуумным сбором последней.

Вместе с тем, следует отметить, что просачиваясь в почву через неплотности полов производственных зданий, она накапливается в подземных пластах. Глубина ее проникновения и пути дальнейшей миграции, в том числе с возможным попаданием в водоемы, определяется геологическими особенностями участка.

В связи с этим следует иметь ввиду, что непосредственно под зданиями, где функционировало хлорно-щелочное производство в течение нескольких десятилетий, и в районе, прилегающем к ним, возможно накопление металлической ртути до нескольких тонн, поэтому вопросы локализации ее миграции и потенциального возврата в производство, предоставляются важными.

### **Демеркуризация транспортных средств**

Опыт проведения демеркуризационных работ [8, 9] показывает, что в число объектов, загрязняемых ртутью, входят транспортные средства – железнодорожные вагоны, самолеты, вертолеты, автомобили. Негативное воздействие ртути в рассматриваемых случаях связано не только с ее токсичностью для людей, но и специфическим

влиянием ртути на конструкционные материалы, вследствие чего является снижение прочности и надежности транспортных средств.

Так, в 70-е годы XX века весьма остро стоял вопрос, связанный с загрязнением ртутью летательных аппаратов. Ртуть, попадая в детали, изготовленные из алюминиевых сплавов, может вызвать адсорбционное понижение прочности (эффект Ребиндера), и межкристаллическую коррозию материала [9].

Степень проявления этих эффектов может варьироваться от незначительного коррозионного поражения до катастрофического разупрочнения конструкции. Проблема осложнялась тем, что препараты эффективные для демеркуризации других объектов, например помещений, оказались непригодными, ввиду их коррозионной агрессивности, для очистки от ртути металлических конструкций. В связи с вышеуказанным были разработаны специальные составы, на основе персульфата калия, тиомочевины, бензолсульфамида, применение которых не снижает прочности металлических конструкций, не вызывает коррозию авиационных материалов.

Загрязнение ртутью железнодорожных вагонов, как правило, связано с разрушением ртутьсодержащих приборов, например, датчиков. Капли ртути, ввиду их высокой подвижности, способны дробиться, попадать в различные зазоры; пары ртути адсорбируются отделочными материалами вагона. Для демеркуризации железнодорожных вагонов специалистами НПП «Эктром» разработаны специальные препараты, содержащие ингибиторы коррозии для стальных конструкций, практика использования этих средств показала их высокую эффективность.

#### **Методы очистки продукции, отходов и газовых выбросов от ртути**

Для предотвращения выделения ртути в атмосферу и попадания ее в водоемы на предприятиях, выпускающих каустическую

соду, используются методы очистки газообразных, жидких и твердых отходов с сокращением содержания ртути в них ниже утвержденных норм.

Так, для предотвращения выделения вредных веществ в воздух зала электролиза, предусмотрена очистка от ртути абгазов, отсасываемых из карманов электролизеров с помощью вентиляторов. Далее их охлаждают до температуры 15 °С с целью конденсации части ртутных и водяных паров. Охлажденные абгазы проходят туманоотделитель, служащий для удаления капельной ртути, затем они подаются на фильтры с двойным слоем активированного угля для очистки от паров ртути. После фильтров абгазы с массовой концентрацией ртути не более 0,01 мг/м<sup>3</sup> выбрасываются в атмосферу. Абгазы, содержащие ртуть, отсасываемые из входных карманов, направляются на очистку щелочным раствором гипохлорита натрия. Конденсат ртутных и водяных паров из холодильника и фильтра собирается в приемник и откачивается на установку для очистки от ртути. Отработанную насадку фильтров отправляют на термическую регенерацию.

В производствах каустической соды предусмотрена фильтрация раствора каустической соды от мелкодисперсной металлической ртути и графитовой пыли, унесенных из разлагателей. Каустическая сода после разлагателей охлаждается до температуры 55...75 °С, а затем подается на фильтрацию. Очищенный раствор с содержанием NaOH не менее 46 % и массовой долей ртути не более 0,00007 % направляется потребителям или в складские емкости.

Ртутные шламы и амальгамное масло из зала электролиза в барабанах подается в отделение регенерации на переработку, включающую предварительный отстой или отбой основной части ртути и последующую термическую регенерацию. Жидкая ртуть, отделенная от шламов, сливается в металлические баллоны, а шламы направляются в отделение регенерации ртути в печах с электронагревателями. Туда же по-

ступают содержащие ртуть твердые отходы, отработанные насадки фильтров очистки щелочи, сорбенты с установок очистки сточных вод. Исключение составляют шламы рассолоочистки, объем которых велик, а содержание ртути мало.

Для демеркуризации отработанного крупногабаритного оборудования перед отправкой его на лом используют туннельные печи. Абгазы из печи, где обрабатывается шлам, отсасываются вентилятором и направляются на санитарный фильтр – адсорбер для очистки, после которого выбрасываются в атмосферу с содержанием ртути не более 0,01 мг/м<sup>3</sup>. Шламы загружают в печь, которая плотно закрывается.

Процесс регенерации ведется при температуре 500 °С и при разряжении 10...20 мм водного столба, создаваемого вентилятором. Сконденсированная при этом металлическая ртуть попадает в сборник, откуда по мере надобности заливается в электролизеры. Для предотвращения окисления ртути в печь подается слабый поток азота.

### Результаты

Основными источниками поступления ртути в водные объекты являются хлорно-щелочные заводы. Расчеты, основанные на данных по содержанию ртути в осадках муниципальных сточных вод, показывают, что на очистные канализационные сооружения российских городов ежегодно может поступать 3,4...11,9 тонн ртути. На Украине такие показатели отсутствуют.

В ходе очистки сточных вод большая часть ртути концентрируется в осадках сточных вод, которые в основном размещаются на иловых картах и полях фильтрации. Ртуть может содержаться в промышленных сточных водах, поступающих в муниципальные канализационные системы.

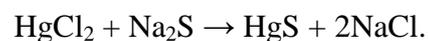
Основными источниками ртути в городских сточных водах являются также стоматологические учреждения, вышедшие из строя электротехнические приборы, термометры; ртуть также может поступать в вод-

ные объекты в составе поверхностного местного стока (дождевого, талого) [1, 2].

Оценка количества ртути, присутствующей в технической воде, используемой при добыче нефти и газа, не проводилась, но вероятно, это может быть существенным источником сброса ртути в водные объекты. Потери ртути со сточными водами составляют 30...50 г для старых установок и 3...5 г для новых, но это количество может быть уменьшено путем эффективной обработки сточных вод.

Содержание ртути в отходящих жидких потоках производства NaOH составляет 0,08...2 мг/дм<sup>3</sup>, а ее концентрация в суспендированных частицах – 14 мг/кг сухого вещества. Например, в США на одном из заводов по производству NaOH общая концентрация ртути в стоках составляет 1,4...2,8 мг/дм<sup>3</sup>, при этом ее потери со стоками равны 4,5...9 г/сут.

Среди методов очистки сточных вод от ртути цехов по производству каустической соды и хлора практическое применение нашли сульфидный метод, как показано на рис. 1, ионообменный, восстановительный методы или их сочетание. Менее распространены методы: адсорбция ртути на твердой фазе, содержащей CaCO<sub>3</sub>, MgO, BaSO<sub>4</sub>, обработка растворами солей меди, свинца, никеля, олова с последующей цементацией ртути в виде нерастворимых блоков, очистка при помощи обратного осмоса. Сульфидный метод очистки сточных вод от ртути основан на осаждении ее ионов в виде труднорастворимого сульфида ртути:



Растворимость HgS очень низкая, поэтому удается достичь концентрации ртути в очищаемой воде 0,07 мг/л и ниже. После осаждения сульфида ртути его извлечение осуществляется обычно путем пропускания раствора через фильтрующий слой угля, торфа или пемзы, пропитанный также сульфидом натрия.

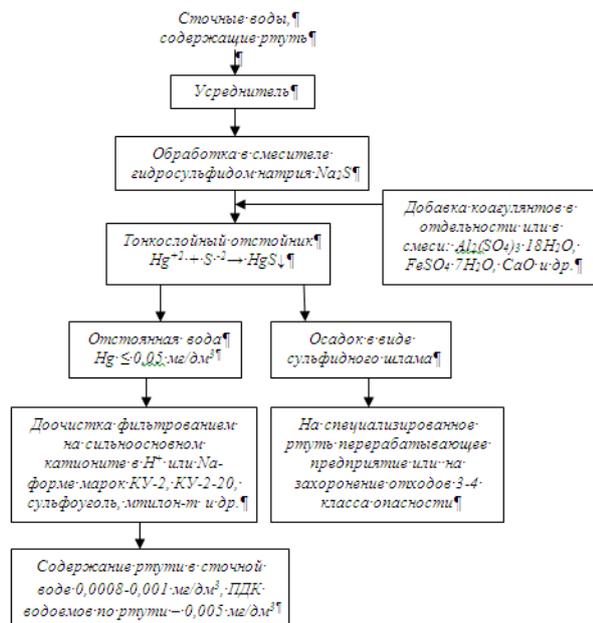


Рис. 1. Технологическая схема очистки сточных вод от ртути цеха электролиза (предлагаемая)

Очистка сточных вод от ртути может осуществляться также методом сорбции на ионообменных смолах с предварительным окислением металлической и одновалентной ртути, а также переводом соединений ртути в нерастворимый в воде  $HgCl_2$  (при хлорировании сточных вод газообразным хлором). После перевода ртути в нерастворимое соединение, вода поступает на фильтрацию через механические фильтры.

В случае хлорирования сточных вод, вода после фильтрации поступает на дехлорирование в адсорбер, заполненный активированным углем. Это производится с целью предупреждения проскока активного хлора в очищенные сточные воды.

Очищенная от основной массы ртути сточная вода насосами подается в адсорберы, заполненные ионообменной смолой. Количество адсорберов от 2 до 6. В них могут быть загружены последовательно смолы различных марок. Из адсорберов очищенная вода с содержанием ртути не более  $0,05 \text{ мг/дм}^3$  сливается в емкость, из которой подается в сборники-осветлители.

После очистки сточные воды, нейтрализованные щелочью, могут быть направлены для повторного их использования в производстве. При несоответствии очищенной

воды норме, она подается на повторную очистку. Отработанная ионообменная смола с содержанием ртути 40 % из первого адсорбера и до 10 % из остальных, отправляется на установку регенерации ртути или на ртуть перерабатывающие предприятия.

На рис. 2 приведена технологическая схема установки по очистке промышленных стоков от ртути [1].

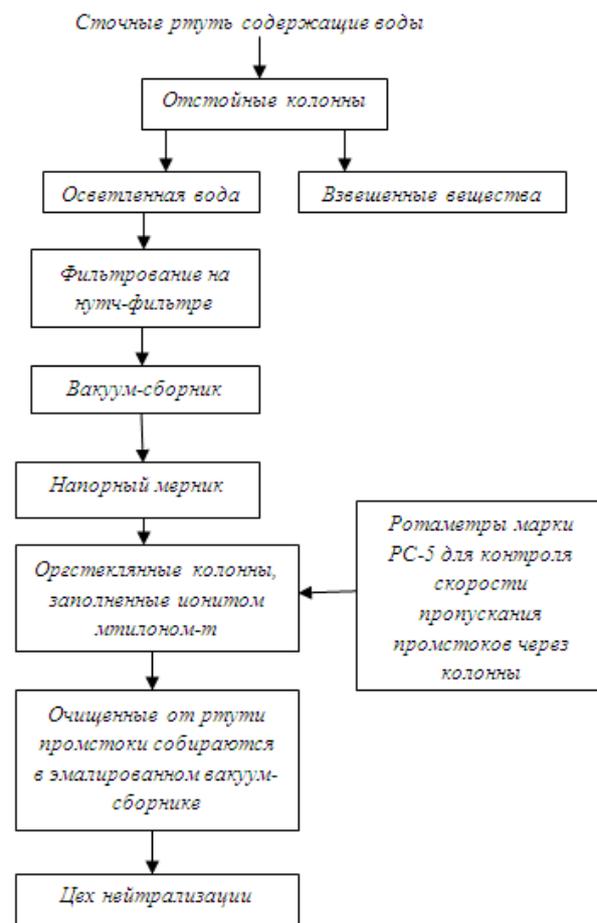


Рис. 2. Технологическая схема установки очистки сточных вод от ртути (существующая)

Промышленные стоки при помощи вакуума закачиваются в три отстойные колонны из оргстекла для отделения взвешенных веществ. После отстаивания осветленная часть раствора фильтруется в нутч-фильтре и перекачивается вакуум-сборником в напорный мерник. Промышленные стоки сливов рабочих площадок из вакуум-сборников также перекачиваются в напорный мерник. Затем промышленные стоки поступают на параллельно соединен-

ные оргстеклянные колонны высотой 1 м и диаметром 300 мм, заполненные ионитом мтилон-т.

Загрузка ионитом каждой колонны составляет 12 кг. Колонны при помощи перфорированных перегородок из оргстекла разделены на три секции, что предотвращает чрезмерное уплотнение ионита и создает возможность замены его в тех секциях, где он уже насыщен ртутью. Скорость пропускания промышленных стоков через колонны контролируется ротаметрами марки РС-5.

Очищенные от ртути промышленные стоки собираются в эмалированный вакуум-сборник и по мере наполнения перекачиваются при помощи сжатого воздуха в цех нейтрализации.

Контроль уровня промышленных стоков в емкостях осуществляется автоматически сигнализаторами уровня. Кроме ионной ртути волокно (мтилон-т) механически задерживает мелкодисперсную металлическую ртуть и взвеси солей редкоземельных металлов. Сорбция ртути ионообменным волокном мтилон-т (до 0,42 г металла на 1 г волокна) происходит достаточно быстро – время контакта не превышает 1 минуты при низких концентрациях ртути в растворе.

### Выводы

Существующие технологии очистки сточных вод от ртути основаны на подаче сточных вод в очистные сооружения под вакуумом, что усложняет эксплуатацию сооружений при нарушении режима эксплуатации. Кроме того, очистные сооружения (колонны, вакуум-сборники и т.д.) изготовлены из оргстекла, эмалированной стали и др. дорогостоящих материалов, что приводит к увеличению капитальных затрат на внедрение технологии на производствах и повышению себестоимости очистки 1 м<sup>3</sup> промышленных сточных вод.

Предлагаемая технология основана на использовании стандартных очистных сооружений (тонкослойный отстойник, ионитовый фильтр и др.) без применения вакуума. В технологической схеме используются

недорогие коагулянты и иониты отечественного производства.

Для очистки газовых выбросов используются традиционные фильтры с активированным углем, а также туманоотделители для удаления капельной ртути.

### Библиографический список

1. Яковлев, С. В. Канализация [Текст] / С. В. Яковлев, Я. И. Карелин. – Москва: Стройиздат, 1975. – 465 с.
2. Долина, Л. Ф. Современная технология и сооружения для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов [Текст]: монография / Л. Ф. Долина. – Днепропетровск: Континент, 2008. – 254 с.
3. Трахтенберг, Т. М. Ртуть и ее соединения в окружающей среде. [Текст] / Т. М. Трахтенберг, М. Н. Коршун. – Киев: Вища школа, 1990. – 195 с.
4. Критерии санитарно-гигиенического состояния окружающей среды. Вып. 1: Ртуть: [Текст] / Пер. с англ. – Москва: Медицина, 1979. – 163 с.
5. Янин, Е. П. Добыча и производство ртути в СНГ как источник загрязнения окружающей среды [Текст]: Эколого-геохимические проблемы ртути. / Е. П. Янин. – Москва: ИМГРЭ, 2000. – 318 с.
6. Гладков, С. Ю. Аппаратура и технология поиска источников ртутных загрязнений. Ртуть. Комплексная система безопасности. [Текст] / С. Ю. Гладков, В. А. Климов, В. Д. Симонов // Сборник мат-лов 3-й научн.-техн. конф. Санкт-Петербург. – 1999. – С. 44-45.
7. Zeitz, P. Public health consequences of mercury spills: hazardous substances emergency events surveillance systems [Text] / P. Zeitz, M. Orr, W. E. Kaye // Environ Health. Perspect. – 2002. – 110. – № 2. – P. 129-132.
8. Макаренко, Г. В. Демеркуризация объектов городской среды. [Текст] / Эколого-геохимические проблемы ртути // Г. В. Макаренко,

Н. В. Косорукова, А. А. Волох –  
Москва: ИМГРЭ, 2000. – С. 153–160.

9. Косорукова, Н. В. Влияние ртути на усталостную долговечность и коррозионную стойкость конструкции самолетов из алюминиевых сплавов: [Текст]: Автореф. дис. канд. техн. наук. Н. В. Косорукова – Киев, 1983. – 28 с.

**Ключові слова:** містять ртуть, метилртуть, демеркуризація обладнання, накоплення ртуті, очистка від ртуті, сполуки ртуті.

**Ключевые слова:** содержащие ртуть, метилртуть, демеркуризация оборудования, накопление ртути, очистка от ртути, соединения ртути.

**Keywords:** mercury, methylmercury, decontamination of equipment, the accumulation of mercury, treatment mercury, mercury compounds.

Поступила в редколлегию 02.11.2014  
Принята к печати 18.11.2014