

производства защитных покрытий обеспечивает увеличение предела прочности при сжатии на 1–2 марки, снижение водопоглощения и значительное, т.е. в 1,5–2,0 раза, увеличение морозостойкости изделий, одновременно улучшается их внешний вид и расширяется цветовая гамма.

Изучено влияние добавки осадка в керамическую массу для производства рядового кирпича, при этом снижается выделение оксидов серы на 60–80%, что улучшает санитарно-гигиенические условия труда и повышает срок эксплуатации оборудования, уменьшается количество растворённых соединений в обожжённом материале, увеличивается механическая прочность изделий и формовочные свойства массы. Аналогичный положительный эффект наблюдается при изучении токсикологических свойств керамзита, изготовленного из массы с добавлением осадка, кроме того, существенно уменьшается объёмно-насыпная масса гранул по сравнению с керамзитом, изготовленным из масс с добавлением доломита.

Добавление осадка сточных вод производства защитных покрытий в сырьевые смеси для рядового кирпича, плитки керамической фасадной, гравия керамзитового, а также бетона легкого на пористых заполнителях в пределах 5–15 % обеспечивает в соответствии с заключением Белорусского НИИ санитарии и гигиены Минздрава СССР получение экологически безвредной продукции, полностью отвечающей требованиям её безопасной эксплуатации для здоровья человека [2].

Разработанные составы керамических масс могут быть рекомендованы для внедрения в производство на заводах объединений стройматериалов, при этом использование метода пластического прессования должно предусматривать создание узла подсушки

осадка сточных вод до 25–30% влажности и дробление плава солей с его просевом в условиях сухого закрытого помещения. При производстве изделий шликерным способом можно использовать осадок сточных вод без предварительной подсушки с влажностью до 70%.

По результатам научных исследований осадок сточных вод БЭМЗ и Минского завода узлов ЭВМ можно рекомендовать к использованию в качестве красителя для плитки керамической фасадной.

Установлено, что при использовании в качестве компонента керамической массы осадка сточных вод от производства защитных покрытий происходит полное выгорание токсичных органических загрязнений покрасочного и других производств.

На основании проведённых исследований на Брестском комбинате строительных материалов в своё время была изготовлена промышленная партия плитки керамической фасадной. Акт о внедрении [3].

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Урецкий, Е.А. Керамическая масса для изготовления изделий из стеновой керамики / Е.А. Урецкий, О.И. Никитина, И.Д. Кузьмин, Б.А. Митин, В.И. Никитин – А.С. № 922098.
2. Белорусский научно-исследовательский санитарно-гигиенический институт. Результаты санитарно-химических исследований на основе керамических масс с добавкой осадка сточных вод от производства защитных покрытий. Информационные карты по результатам санитарно-химических исследований 1988 г.
3. Акт от 28 ноября 1988 г., утверждённый гл. инженером Брестского комбината строительных материалов Н.А. Когаленюком.

Материал поступил в редакцию 17.02.15

URETSKIY E.A., GAZIZOVA R.T., MOROZ V.V. Alternative technology galvanic waste, contaminated with organic and mineral ingredients paint industries in the production of building materials

The results of studies, and case studies of resource utilization technology galvanic contaminated with organic and mineral ingredients paint industries in the production of building materials.

УДК 628.316

Мороз В.В., Урецкий Е.А., Юхимук М.М.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОКОВ ОКРАСОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА В РАМКАХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Введение. Почти 90% действующих очистных сооружений предприятий приборостроительного профиля имеют очистные сооружения реагентного типа. Сопоставляя составы технологических растворов, применяемых в производстве защитных покрытий (гальваника, покраска), и виды товарных реагентов, идущих на обработку стоков, выясняется, что во многих случаях используются сходные по технологическим свойствам химические растворы. Результаты исследований показали принципиальную возможность эффективной очистки стоков, загрязнённых лакокрасочными материалами в рамках традиционных реагентных схем очистки стоков гальванического производства, а также возможность использования отработанных технологических растворов гальванического производства вместо приобретаемых реагентов для очистки этого вида стоков.

Технология очистки стоков окрасочного производства в рамках очистных сооружений гальванического производства внедрена на Брестском электромеханическом заводе. В основу этой технологии положен патент на изобретение [1].

Технология состоит из пяти последовательных этапов:

- **на первом этапе** сточные воды, содержащие лакокрасочные материалы (ЛКМ), из окрасочного производства поступают в два приемных резервуара, оборудованные барботажными устройствами. Продувка сжатым воздухом этих сточных вод в

течение 20 мин позволяет снизить ХПК легкоокисляемых органических загрязнений кислородом воздуха до 20% и предотвратить выпадение легкооседаемой взвеси (пигменты, наполнители и т. п.) на дно приемных резервуаров. После продувки сжатым воздухом сточные воды, содержащие ЛКМ, равномерно подмешиваются с помощью дозаторов в накопительные ёмкости промывных хромсодержащих стоков;

- **на втором этапе** в смеси хромсодержащих и краскосодержащих сточных вод происходит восстановление ионов хрома (VI) до ионов хрома (III) и одновременно деструкция трудноокисляемых органических веществ в присутствии традиционного катализатора. Процесс осуществляется в кислой среде (pH=2,0–3,0), создаваемой кислыми отработанными технологическими растворами (ОТР), содержащими восстановитель железо (II). Концентрация железа (II) в этих ОТР достигает 90% от железа общего – 250 г/л; В процессе восстановления ионов хрома (VI) до ионов хрома (III) происходит окисление ионов железа (II) до ионов железа (III), и соответственно многократно увеличивается концентрации последнего. При этом решается одна из главных технологических проблем – окисление железа (II) до железа (III), так как осаждение гидроксида железа (II), в отличие от железа (III), требует высокого щелочного резерва.

Юхимук Михаил Михайлович, ст. преподаватель кафедры высшей математики Брестского государственного технического университета.

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

Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология

Таблица 1. Интервал концентраций загрязнений

Наименование ингредиента	Единица измерения	Средний, доверительный интервал концентраций после реактора нейтрализатора	Наблюдаемый максимум до и после вертикального отстойника	
			до	после
Хром (VI)	мг/л	отсут.	-	отс.
Хром общ.	Мг/л	10 – 20	не опр.	1,7
Цинк	мг/л	15 – 28	32,1	0,2
Никель	мг/л	2,2 – 4,9	5,20	0,1
Железо	мг/л	70 – 195	250	1,5
Медь	мг/л	11 – 22	28,0	0,5
Кислота	мг-экв/л	7,9 – 9,1	10,8	отс.
Щёлочь	мг-экв/л	3 – 4,2	5,25	отс.
pH		не опр.	не опр.	8,6
ХПК	мг/л	1500 – 2000	2500	21,6
Суммарное содержание основных ингредиентов ($F_{\text{общ}}$, $C_{\text{общ}}$, Cu , Zn , Ni), образующих оксигидратный коллектор (Σ и.о.к.)				108,2 – 269,9

Окисление железа (II) до железа (III) в процессе восстановления хрома(VI) до хрома (III) резко увеличивает коагулирующую и сорбционную ёмкость образующегося при нейтрализации всех видов сточных вод оксигидратного коллектора. Подобное явление объясняется правилом Шульце-Гарди, согласно которому коагулирующая способность иона равна шестой степени его валентности;

- **на третьем этапе** обработанная смесь краскосодержащих, хромсодержащих и кислотнощелочных сточных вод направляется на нейтрализацию в нижнюю зону (под мешалку) работающего в режиме вытеснителя реактора - нейтрализатора. В нём поддерживается $pH=8-8,5$ с помощью щелочных ОТР, а при их недостаточности - раствором известкового молока. Подача сточных вод в нижнюю зону реактора-нейтрализатора связана и с тем, что максимальная сорбционная способность солей железа (II) и железа (III) имеет место в момент их гидролиза в реакторе-нейтрализаторе при $pH=8-8,5$. Как известно, процесс гидролиза в разбавленных растворах происходит практически мгновенно. Поэтому именно в нижней зоне реактора - нейтрализатора происходит быстрый гидролиз солей тяжелых металлов и солей железа с образованием многокомпонентного оксигидратного коллектора. Именно в этот короткий промежуток времени его сорбционная активность максимальна, а затем резко падает. В состав оксигидратного коллектора входят гидрооксиды железа (II), (III) и тяжёлых металлов, присутствующих в нейтрализуемой смеси. Основным компонентом оксигидратного коллектора являются гидрооксиды железа (II) и (III). Этот коллектор эффективно сорбирует на себе органические загрязнения. Протекающий процесс сорбции веществ на оксигидратном коллекторе практически идентичен введению в эту зону измельченного угольного порошка;

Как показали проведенные исследования, концентрация железа общего, как правило, не ниже 50–60 мг/л, что более чем достаточно для сорбции органических загрязнений в указанной смеси.

Во избежание разрушения хорошо сформированных хлопьев взвеси на выпуске из реактора-нейтрализатора максимальный интервал времени обработки сточных вод не должен превышать 10 минут;

- **на четвёртом этапе** нейтрализованные сточные воды с хорошо сформированной взвесью и адсорбированными на ней органическими загрязнениями направляются в вертикальные отстойники, где в осветленном стоке ХПК снижается до 25–30 мг/л. Осветлённая вода направляется на использование для собственных нужд очистных сооружений. Образующийся в осветлителях осадок вывозится в места, согласованные с СЭС. Авторами разработан и метод использования осадка в производстве керамических строительных материалов. Согласно заключению Института санитарии и гигиены Республики Беларусь [2], эти материалы не создают негативного воздействия на окружающую среду и безвредны для организма человека;
- **на пятом этапе** осветлённые стоки из отстойников направляются на механические сорбционные фильтры. Здесь происходит дальнейшее снижение ХПК до 10–11 мг/л. Вода после филь-

тров может быть использована для неответственных операций гальванического и покрасочного производств.

Использование «попутной» технологии обработки краскосодержащих стоков в рамках очистных сооружений гальванического производства показало, что глубина очистки по ХПК достаточно высока.

При исходном ХПК до 2500 мг/л на БЭМЗ на выходе из очистных сооружений без фильтрования она не превышала 35 мг/л. И это при том, что в общей величине ХПК подавляющую часть составляет ХПК недоокисленных минеральных загрязнителей (таких как Fe (II), Sn (II) и т.п.). Средний, доверительный интервал концентраций загрязнений после реактора - нейтрализатора и осветлителей приведен в таблице 1.

Авторами выполнена математическая обработка полученной экспериментальным методом кривой зависимости величины ХПК от концентрации оксигидратного коллектора, образованного в результате принятой технологии обработки сточных вод содержащей лако-красочные загрязнения.

Принимая во внимание то, что для воспроизведения данной кривой интерполированием получится многочлен степени n , который не обладает требуемым асимптотическим поведением на бесконечности, и метод наименьших квадратов также усложняет описание функции на первом этапе построения аппроксимирующей кривой, разобьем экспериментальную кривую на две части. Первая часть кривой (на промежутке $[0;30]$) будет соответствовать первому этапу обработки сточной воды, т.е. продувке сжатым воздухом. Вторая часть кривой (на промежутке $[30;+\infty)$) будет соответствовать второму и третьему этапам, то есть восстановлению шестивалентного хрома и обработке оксигидратным коллектором с отстаиванием соответственно.

Будем искать аппроксимирующую функцию на промежутке $[30;+\infty)$ в виде

$$f_2(x) = a \cdot \arctg(b(x-c)) + d.$$

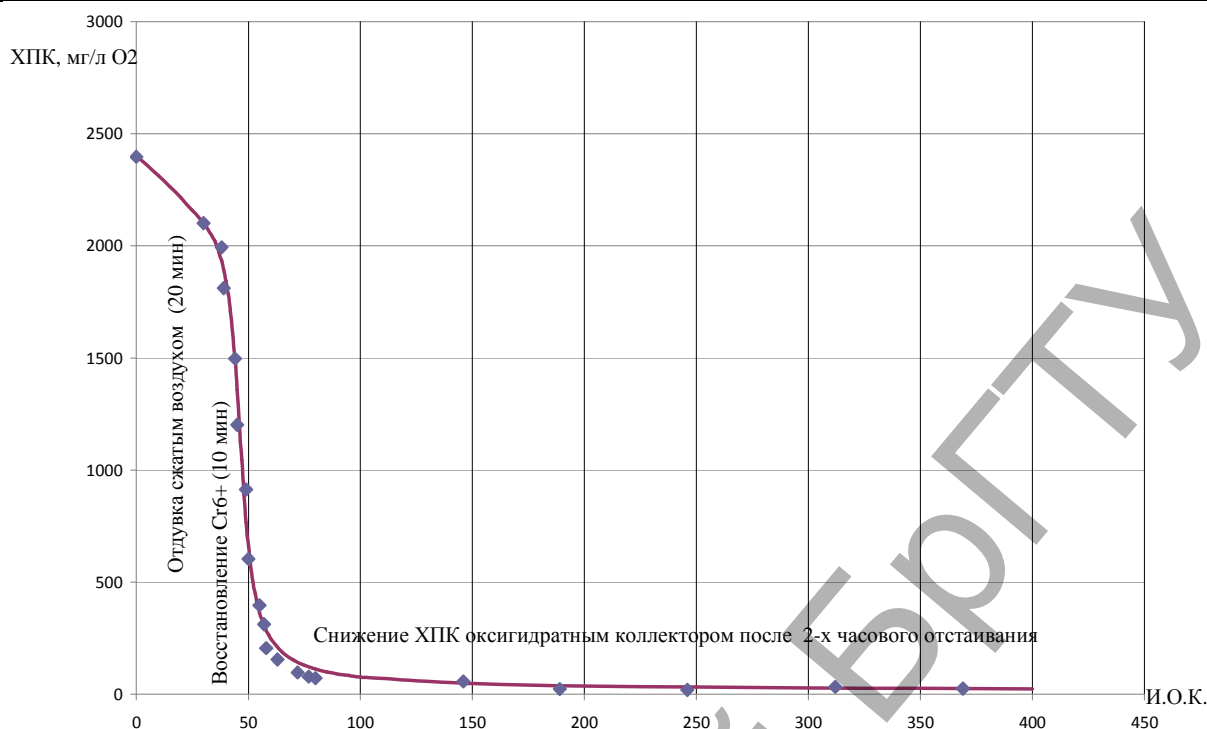
Данная функция с регулируемыми параметрами «а», «b», «с», «d» подобрана исходя из вида распределения экспериментальных данных.

Учитывая, что областью значений функции $f_2(x)$ является интервал $(d; a\pi + d)$, а также то, что при $\sum u.o.k.=0$, ХПК=2396, начальное приближение параметра «а» будем искать из равенства $a\pi + d = 2396$, откуда $a_0 = 750$.

Параметр «b» задает коэффициент растяжения кривой $y=f_2(x)$ вдоль оси абсцисс. Принимаем для начала $b_0 = 1$.

Параметр «с» задает абсциссу центра симметрии кривой $y=f_2(x)$ (точки перегиба). Согласно полученным экспериментальным данным примем $c_0 = 50$.

В качестве начального приближения параметра «d» возьмем минимальное практически достижимое значение ХПК, равное 15 мг/л, т.е. положим $d_0 = 15$.



Исходя из принятых данных, уточняем значения параметров, минимизируя величину

$$\Delta = \sum_{i=1}^{20} |f_2(x_i) - y_i|.$$

По полученным данным строим кривую таким образом, чтобы отклонения экспериментальных данных от кривой были минимальными. В результате с помощью метода наименьших квадратов получим следующие значения (ограничимся точностью до двух знаков после запятой):

$$a=726,82, b=0,22, c=46,29, d=14,39.$$

При этом вычисленная сумма отклонений (погрешность) $\Delta=843,30$, а аппроксимирующая функция на промежутке $[30, +\infty)$ при подстановке полученных параметров будет иметь вид:

$$f_2(x) = 726,82 \cdot \arctg(0,22(x - 46,29)) + 14,39.$$

На участке оси и.о.к $[0, 30)$ (стадия отдувки сжатым воздухом) применим квадратичную интерполяцию, т.е. будем искать аппроксимирующую функцию в виде интерполяционного многочлена второй степени:

$$f_1(x) = ax^2 + bx + c.$$

Поскольку парабола $y=f_1(x)$ должна проходить через точку $(0; 2396)$, то $f_1(0)=c=2396$, т.е. получаем параметр $c=2396$.

Т.к. $f_2(30) \approx 2100$, потребуем, чтобы парабола проходила через точку $(30; 2100)$. При этом, подставляя значения, получим:

$$f_1(30) = 900a + 30b + c = 2100$$

откуда

$$900a + 30b = -296.$$

Распределение экспериментальных данных показывает, что ветви параболы должны быть направлены вниз, а абсцисса ее вершины должна быть отрицательна, т.е. $a < 0$ и $b < 0$.

Для того чтобы аппроксимирующая кривая была гладкой, потребуем, чтобы

$$f_1'(30) = f_2'(30).$$

Получаем:

$$f_2'(x) = 726,82 \left(-\frac{1}{1 + 0,22^2(x - 46,29)^2} \cdot 0,22 \right);$$

$$f_2'(30) = -\frac{726,82 \cdot 0,22}{1 + 0,22^2 \cdot 16,29^2} = -11,55;$$

$$f_1'(x) = 2ax + b;$$

$$f_1'(30) = 60a + b.$$

Таким образом, получаем систему для определения параметров «a» и «b»:

$$\begin{cases} 900a + 30b = -296; \\ 60a + b = -11,55, \end{cases}$$

решением которой являются $a=-0,06$ и $b=-8,18$.

Таким образом, аппроксимирующая функция на участке оси и.о.к $[0, 30]$ имеет вид:

$$f_1(x) = -0,06x^2 - 8,18x + 2396.$$

Из-за ошибок округления равенство $f_1(30) = f_2(30)$ не достигается (фактически $f_1(30) < f_2(30)$), поэтому для непрерывности всей аппроксимирующей функции необходимо «приподнять» кривую $y=f_1(x)$ на величину

$$h = f_2(30) - f_1(30).$$

Тогда функция будет иметь вид:

$$f(x) = \begin{cases} f_1(x) + f_2(30) - f_1(30), & x \in [0; 30); \\ f_2(x), & x \in [30; +\infty). \end{cases}$$

Точка $x=30$ будет являться точкой непрерывности, то есть функция $f(x)$ будет непрерывной на всём промежутке $[0, +\infty)$. При этом кривая $y=f(x)$ будет аппроксимировать полученные экспериментальные данные.

Заключение. Экспериментально установлено и практически подтверждено, что предварительная отдувка стоков загрязнённых лакокрасочных материалов сжатым воздухом в течение не менее 20

минут позволяет снизить ХПК до 20%. Наиболее перспективной является схема, предусматривающая предварительную отдувку их сжатым воздухом с последующей обработкой совместно с хромосодержащими стоками и дальнейшей стоков нейтрализацией с кислотными стоками.

Объединение хромосодержащих и стоков, загрязнённых ЛКМ, при последующей их совместной обработке в реакторе-восстановителе ионов хрома (VI) до ионов хрома (III) позволяет эффективно провести процесс деструкции лакокрасочных материалов. Процесс оптимизируется кислой средой ($pH=2,5-3,0$) в присутствии традиционного катализатора хрома.

В процессе создания математической модели теоретически рассматривается процесс обработки объединённого потока хромосодержащих сточных вод и сточных вод, загрязнённых лакокрасочными

материалами, и возможность прогнозирования эффекта процесса очистки сточных вод.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Способ очистки сточных вод лакокрасочного производства и производств защитных покрытий и плат: патент на изобретение №12453(BY) / Е.А. Урецкий, В.В. Мороз – Заявка № а 20071107. 2007.09.11.
2. Заключение Белорусского НИИ санитарии гигиены Минздрава СССР на получение экологически безвредной продукции на основе керамических масс с добавкой осадка сточных вод от производств защитных покрытий, Информационные карты по результатам санитарно-химических исследований 1988 г.

Материал поступил в редакцию 04.03.15

MOROZ V.V., URETSKIY E.A., YUKHIMUK M.M. Mathematical model of technology of cleaning of drains of painting production within treatment facilities of the galvanic productions

A mathematical model and a description of technology of sewage treatment painting production within the treatment facilities electroplating.

УДК 628.544

Романовский В.И., Рымовская М.В., Бессонова Ю.Н., Ковалевская А.М., Лихавицкий В.В.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЗИНФЕКЦИИ СООРУЖЕНИЙ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ СРЕДСТВ И ОЗОНА

Введение. Обеззараживание воды применяется для устранения из нее болезнетворных и иных микроорганизмов и вирусов, из-за наличия которых вода становится непригодной для питья, хозяйственных нужд или промышленных целей. При этом дезинфекция инженерных сетей и сооружений является одним из видов обеззараживания и представляет собой комплекс мероприятий, направленных на уничтожение возбудителей инфекционных заболеваний и разрушение токсинов на поверхности объектов используемых систем.

В качестве обеззараживающих веществ широкое применение нашли гипохлорит кальция, гипохлорит натрия, хлорная известь.

Контроль за процессом и результатом дезинфекции воды осуществляют чаще всего путем определения общего микробного числа (ОМЧ), при этом учитываются все одноклеточные микроорганизмы, образующие колонии на полноценной питательной среде для бактерий. По численному значению этого показателя принимается решение о дозе вводимого обеззараживающего агента. Дополнительно контролируют количество бактерий группы кишечной палочки – это показатель общие колиформные бактерии ОКБ и термотолерантные колиформные бактерии ТКБ – свидетельство загрязнения питьевой воды бытовыми сточными водами, то есть возможного вторичного загрязнения (СанПиН 10-124-99). Определение количества колифагов, спор сульфитредуцирующих кластридий и цист лямблий дает ответы на вопросы о давности загрязнения бытовыми сточными водами и дополнительную информацию об эффективности обеззараживания, однако является более трудоемким, поэтому проводится реже.

Бактерия *Escherichia coli*, так называемая кишечная палочка, всегда присутствует в кишечнике человека и теплокровных животных; ее наличие в воде свидетельствует о загрязнении воды бытовыми сточными водами. Сама по себе кишечная палочка безвредна, она является лишь индикаторным организмом, характеризующим бактериальную загрязненность воды. Хлор, озон и другие обеззараживающие реагенты (средства) убивают кишечную палочку труднее, чем ряд других патогенных микроорганизмов, вызывающих желу-

дочно-кишечные заболевания, поэтому она является хорошим контрольным организмом (индикатором) при оценке эффективности процесса дезинфекции воды [1]. Кроме того, присутствие кишечной палочки в воде может быть определено значительно проще, чем присутствие других микроорганизмов кишечной группы. В то же время следует иметь в виду, что целый ряд микроорганизмов и вирусов значительно более резистентен в отношении хлора и других обеззараживающих средств, чем кишечная палочка. Наиболее устойчивы к биоцидным агентам эндоспоры бактерий, менее устойчивы грамотрицательные бактерии, наименьшей устойчивостью обладают грамположительные бактерии [2]. Дополнительным фактором устойчивости является формирование клетками бактерий в процессе жизнедеятельности капсул и слизей, чехлов. Устойчивость вирусов зависит от строения их оболочек. Различают два вида устойчивости микроорганизмов к дезинфицирующим веществам. Первый, это внутренняя невосприимчивость дезинфектанта к болезнетворным и иным микроорганизмам и вирусам, при этом достичь эффективного обеззараживания невозможно. Второй вид – это адаптация клеток микроорганизмов, вирусов к дезинфектанту [3, 4].

Согласно проведенным исследованиям [5], было выявлено, что вирус *Coxsackie A2* достаточно устойчив к свободному хлору, и для его инактивации необходимо от 7 до 46 раз больше свободного хлора, чем для инактивации *E. coli*. В последующем исследовании [5] было отмечено, что аденовирус типа 3 и *E. coli* показали одинаковую восприимчивость к свободному хлору. Еще одним устойчивым к хлору вирусом оказался вирус *Norwalk* [7]. При концентрации активного хлора 3,75 мг/л были инактивированы полиовирус 1, ротавирус человека и обезьяны, f2 бактериофаг, но не вирус *Norwalk*. Доказана [6] также устойчивость различных штаммов *S. typhi* и *Coli aerogenes* к хлору и хлорамину.

Кроме того, хлорсодержащие дезинфектанты обладают различной относительной дезинфицирующей активностью: от 0,5% для

Романовский В.И., старший преподаватель Белорусского государственного технологического университета.

Рымовская М.В., старший преподаватель Белорусского государственного технологического университета.

Бессонова Ю.Н., аспирантка Центрального научно-исследовательского института комплексного использования водных ресурсов.

Ковалевская А.М., студентка Белорусского государственного технологического университета.

Лихавицкий В.В., ассистент Белорусского государственного технологического университета.

Беларусь, БГТУ, 220050, г. Минск, ул. Свєрдлова, 13а.