

Проблема загрязнения водных ресурсов является актуальной в связи с продолжающимся ростом антропогенной нагрузки на окружающую среду. Высокая загрязненность водных объектов токсичными веществами требует принятия незамедлительных мер по снижению экологического риска. Научно-технические мероприятия охраны водных ресурсов должны быть реализованы, во-первых, с использованием бессточных технологий с полным рециклом воды, во-вторых – эффективной локальной очисткой сточных вод (далее СВ) в местах их возникновения. Существующие в настоящее время методы, обеспечивающие эффективную очистку стоков с дальнейшим извлечением из шлама ценных компонентов, требуют сложного аппаратного оформления и являются дорогостоящими [1-3]. Однако экономическое состояние многих предприятий ограничивает ресурсные возможности по реализации природоохранной деятельности, в том числе и в плане очистки СВ. В связи с вышеизложенным, в настоящее время большое внимание уделяется внедрению высокоэффективных методов очистки, не требующих больших вложений финансовых средств и не оказывающих негативного влияния на окружающую природную среду. Особый интерес представляет использование в качестве реагентов вторичных материальных ресурсов. В качестве последних весьма перспективно использование отходов промышленных и сельскохозяйственных производств, в связи их низкой себестоимостью. Весьма интересным видится использование для очистки СВ какого-либо производства стоками других производств [4,5]. В этом случае поллютанты, которые содержатся в сточной жидкости, являются химическими реагентами для удаления или нейтрализации вредных примесей в другом стоке. В этом случае процессы очистки СВ различными химическими и физико-химическими способами заменяются простым смешением двух стоков в определенных пропорциях. При смешении последних в зависимости от состава поллютантов могут протекать реакции нейтрализации, окисления, восстановления, комплексообразования, проходить процессы коагуляции, флокуляции, хемосорбции с выделением продуктов взаимодействия примесей чаще всего в виде твердой дисперсной фазы. Известно, что данные технические решения способствуют экономии реагентов, что весьма актуально, интенсифицируют очистку стоков с выделением, в частности, химических веществ, которые можно рекуперировать. В данной работе исследовалась возможность очистки СВ, содержащих ионы тяжелых металлов (ИТМ), в частности, ионы никеля и меди щелочными стоками ОАО «Казанский завод синтетического каучука» (ЩСВСК) и ОАО «Нижнекамскнефтехим» (ЩСВНХ). С применением теории интерполирования проведена математическая обработка результатов исследований. Исходя из результатов экспериментальных исследований, составлены аналитические выражения, устанавливающие связь между объемом добавленных щелочных СВ и полученными значениями физико-химических показателей. В последнее время существенное развитие получили

методы математического моделирования. Данное обстоятельство связано с интенсивным применением информационных технологий и вычислительной техники. Использование математических моделей при расчёте процессов и аппаратов технологий даёт возможность значительно сократить время исследования процесса. Для успешного использования математической модели необходимо, чтобы модель достаточно верно описывала качественно и количественно свойства объекта моделирования. Для проверки адекватности математической модели реальному процессу нужно сравнить результаты измерения реального процесса с результатами предсказания модели в идентичных условиях (при определённых значениях входных и управляющих параметров). Такая проверка позволяет оценить точность математической модели и, следовательно, возможность её применения для решения различных задач. При изучении различных физических явлений и проведении технологических экспериментов часто наблюдается функциональная зависимость между величинами, описывающими количественную сторону данного явления или эксперимента. Результаты этих экспериментов обычно представляются графически, т.е. в виде некоторых линий, указывающих связь между этими величинами. Чтобы показать эту зависимость, иногда приходится проводить огромное количество экспериментов. Для этого требуется достаточно много времени и большое количество реагентов. В этой связи встаёт вопрос: как установить зависимость или связь между экспериментальными величинами, имея минимальное количество исходных данных? В данной работе для математической обработки результатов экспериментальных исследований, следуя работе [6], использовалась теория интерполирования функций [7], которая заключается в следующем. Пусть на основании эксперимента значениям x_1, \dots, x_n соответствуют значения y_1, \dots, y_n . Необходимо установить, по возможности более простую, зависимость между этими величинами. С этой целью вводим интерполяционный полином Лагранжа, приближённо выражающий эту зависимость: где , причём, $\Phi_i(x_j)=0$ при $j \neq i$, $\Phi_i(x_i)=1$. В качестве исходной сточной воды исследовались никельсодержащий (НСС) и медьсодержащий (МСС) модельные стоки с содержанием названных ионов 100 мг/л. Рассмотрим процесс очистки для никельсодержащего модельного стока. Объем приливаемых щелочных стоков к модельным составляет 100:(0,25-10) мл. Результаты экспериментальных исследований приводим в графическом виде и с помощью аналитических выражений. Рис. 1 – Изменение содержания ионов металла в зависимости от дозировки щелочных стоков. Графики, приведенные на рис. 1 показывают, что с увеличением количества щелочных стоков концентрация ионов никеля понижается. Данное обстоятельство свидетельствует об очищении модельных сточных вод за счет образования сульфидов и гидроксидов металлов. Подтверждением увеличения сульфид-ионов служит рис. 2, отражающий увеличение содержания сульфид-ионов с

увеличением количества ЩСВ. Далее приводим аналитические выражения, описывающие изменение содержания ионов никеля в зависимости от дозировки щелочных стоков для ЩСВСК и ЩСВНХ, соответственно: $L(x) = 0,002x^4 - 0,278x^3 + 5,594x^2 - 40,27x + 100$ (1) $L(x) = -0,091x^4 + 1,816x^3 - 9,389x^2 - 6,453x + 100$ (2)

Рис. 2 – Изменение содержания сульфидов в зависимости от дозировки щелочных стоков Аналитические выражения, описывающие изменение содержания сульфид-ионов в зависимости от дозировки щелочных стоков для ЩСВСК и ЩСВНХ, соответственно, записываются в виде: $L(x) = 0,2x^4 - 4,032x^3 + 25,22x^2 - 25x$ (3) $L(x) = 0,165x^4 - 3,479x^3 + 23,51x^2 - 23,61x$ (4) Как видно из зависимостей изменения значений показателя pH смесевых фильтратов, приведенных на рис. 3, значение последних с увеличением дозировок приливаемых ЩСВ повышается, что вполне закономерно. Отмечено, что при добавлении к модельному НСС ЩСВНХ в максимальной дозировке (10 мл) приводит к достижению значений pH=12,54, превышающих исходное значение pH ЩСВНХ (pH=11,95). По всей видимости, в данном случае имеет место образование дополнительного количества NaOH в результате замещения иона Na+ в феноляте натрия, присутствующих в сточной жидкости, на ионы Ni²⁺. Рис.

3 – Изменение значения показателя pH в зависимости от дозировки щелочных стоков Далее приводим аналитические выражения, описывающие изменение значения показателя pH в зависимости от дозировки щелочных стоков для ЩСВСК и ЩСВНХ, соответственно: $L(x) = 0,002x^4 - 0,053x^3 + 0,337x^2 - 0,306x + 6,6$ (5) $L(x) = 0,007x^4 - 0,153x^3 + 0,888x^2 - 0,419x + 6,6$ (6) Рис. 4 – Изменение значения показателя ХПК в зависимости от дозировки щелочных стоков Как видно из рис. 4 значений показателя ХПК с увеличением дозировок приливаемых ЩСВ повышаются, что вполне закономерно. Наибольшие значения исследуемого параметра имеют смесевые фильтраты, полученные при добавлении к исходному НСС щелочных стоков производства тиоколов на ОАО «КЗСК». Данное обстоятельство объясняется тем, что указанные ЩСВ имеют высокие первоначальные значения ХПК. Далее записываем аналитические выражения, описывающие изменение значения показателя ХПК в зависимости от дозировки щелочных стоков для ЩСВСК и ЩСВНХ, соответственно: $L(x) = 0,641x^4 - 11,70x^3 + 38,49x^2 + 286,8x$ (7) $L(x) = 0,942x^4 - 19,10x^3 + 112,6x^2 - 88,85x$ (8) Рассмотрим процесс очистки для медьсодержащего модельного стока. Результаты экспериментальных исследований приводим в виде таблицы и аналитических выражений, описывающих изменение физико-химических показателей фильтрата после смешения модельного медьсодержащего стока с щелочными стоками. Таблица 1 – Физико-химические показатели фильтрата после смешения ЩСВСК

Показатели	Объем ЩСВСК, мл	0	0,25	0,5	5	10
Содержание ионов Cu ²⁺ , мг/л	100	89,2	68,9	1	0,1	
Содержание сульфид ионов, мг/л	0	0	14,34	138	286,8	
pH	5,15	5,55	5,72	7,2	8,1	
ХПК, мг O ₂ /л	0	78,09	151	1354	1698	

Далее приводим аналитические выражения, описывающие изменение физико-химических

показателей фильтрата. Аналитические выражения, описывающие изменение содержания ионов меди в зависимости от дозировки щелочных стоков для ЩСВСК и ЩСВНХ, соответственно: $L(x) = 0,162x^4 - 2,849x^3 + 13,48x^2 - 22,77x + 100$ (9) $L(x) = 0,052x^4 - 0,771x^3 + 2,648x^2 - 11,82x + 100$ (10)

Таблица 2 – Физико-химические показатели фильтрата ЩСВНХ

Показатели мг/л	Объем ЩСВНХ, мл	0	0,25	0,5	5	10
Содержание ионов Cu^{2+} , мг/л		100	77	43,5	1	0,2
Содержание сульфид ионов, мг/л		0	0	11,24	162,7	259,2
pH		5,15	6,1	6,7	11,2	12,5
ХПК, мг O_2 /л		0	81,7	172,6	670,2	799

Аналитические выражения, описывающие изменение содержания сульфид-ионов в зависимости от дозировки щелочных стоков для ЩСВСК и ЩСВНХ, соответственно: $L(x) = -0,191x^4 + 3,879x^3 - 19,59x^2 + 27,71x$ (11) $L(x) = -0,345x^4 + 6,562x^3 - 33,19x^2 + 47,36x$ (12)

Аналитические выражения, описывающие изменение значения pH в зависимости от дозировки щелочных стоков для ЩСВСК и ЩСВНХ, соответственно: $L(x) = -0,003x^4 + 0,071x^3 - 0,392x^2 + 0,753x + 5,15$ (13) $L(x) = -0,012x^4 + 0,226x^3 - 1,200x^2 + 2,151x + 5,15$ (14)

Аналитические выражения, описывающие изменение значения ХПК в зависимости от дозировки щелочных стоков соответственно для ЩСВСК и ЩСВНХ, соответственно: $L(x) = -3,334x^4 + 62,12x^3 - 320,4x^2 + 496,2x$ (15) $L(x) = -1,251x^4 + 23,00x^3 - 117,0x^2 + 201,1x$ (16)

В данной работе проведена математическая обработка результатов экспериментальных исследований процесса очистки модельных никельсодержащих и медьсодержащих СВ смешением с щелочными стоками нефтехимических производств и установлена функциональная зависимость, описывающая изменение физико-химических показателей процесса очистки. В частности, построены аналитические выражения, аппроксимирующие результаты экспериментов и позволяющие получить интересующие нас данные, не проводя множество экспериментов, что имеет большое значение при построении математических моделей различных химических и технологических процессов. Полученные в работе результаты экспериментальных исследований показывают возможность очистки производственных сточных вод от ионов тяжелых металлов с использованием щелочных стоков нефтехимического производства, а построенные аналитические выражения дают четкое представление о ходе процесса очистки (величина достоверности аппроксимации равна 0,99).