

### Литература

1. Генералов М.Б. Криохимическая нанотехнология: Учеб. пособие для вузов. -М: Академкнига, 2006. С. 118.
2. Сосновский А.В. Замерзание капель искусственного дождя. В кн.: Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения. Вып. 38. -М., 1980, с.73-79.
3. Маринюк Б.Т., Серенов И.И. Анализ и обоснование использования потенциала отрицательных температур окружающего воздуха в холодоаккумуляционных установках. //Сборник тезисов к конференции «Инновационные разработки в области техники и физики низких температур» 10 – 12 декабря 2013 г. С. 80-81.

### **Очистка сточных вод от окраски кузовов автомобильного завода**

Чл.-корр. РАН д.т.н. проф. Систер В.Г., к.б.н. доц. Миташова Н.И., Рогачева В.В.,  
Башкатова И.А.\*

*Университет машиностроения*  
8 (495) 761-72-71, vgs001@mail.ru  
8 (903) 141-98-90, mitanieko@mail.ru  
8 (916) 445-42-80  
\*ООО «НИК»  
8 (495) 623-58-77, bashiri@mail.ru

*Аннотация.* В статье рассмотрена возможность локальной и глубокой очистки сточных вод автозавода при окраске кузовов автомобилей. Выполнены экспериментальные исследования с использованием коагулянтов, выделенных из отходов; сорбционных методов (фильтрованием через гидроантрацит и известь порландит).

*Ключевые слова:* автозавод, сточная вода, коагулянты, физико-химический анализ, ПДК, динамическая сорбция.

Технологическая линия очистки сточных вод автомобильного завода включает в себя очистку сточных вод всего спектра производственных цехов предприятия (в т.ч. цехов российско-французского производства) [1]. В общей линии очистки используется полимерный коагулянт РЗ-сroni 810, закупаемый за рубежом.

В результате проверки качества локальной очистки на линии стоков завода (16 м<sup>3</sup>/ч), установлено, что содержание нефтепродуктов, тяжелых металлов, ПАВ и других токсичных загрязнений превышает установленные нормативы.

В общую линию очистки сточной воды завода поступают загрязненные стоки, в т.ч. от окраски кузовов, что увеличивает исходную загрязненность воды. В связи с этим целью нашей работы было изучение способов очистки сточной воды от окраски кузовов физико-химическими методами, в частности методами коагуляции, флокуляции, электрокоагуляции и сорбции.

Нами был проведен физико-химический анализ воды, отходящей после окрашивания кузовов автомобилей из гидрозавесы, после предварительного добавления полимерного коагулянта. Были исследованы различные методы доочистки сточной воды и выбран наиболее эффективный, позволяющий повторно использовать в производстве очищенную воду.

#### *Цех окраски кузовов*

Покраска автомобиля – сложный технологический процесс, который включает в себя шпаклевание, грунтование, ремонт, антикоррозийную обработку кузова и всех его деталей и множество других работ, которые предполагает кузовной ремонт [2]. Прежде чем приступить к окраске, следует приобрести материалы и оборудование. Около 90% трудовых затрат приходится на подготовительные работы и только 10% – на окраску и сушку.

Для проведения полного объема работ по окраске кузова выполняют следующие операции:

- подготавливают автомобиль к окраске и приобретают необходимые материалы;
- подготавливают поверхность кузова к окраске;
- приготавливают лакокрасочные материалы;
- грунтуют, шпаклюют, шлифуют наружные поверхности кузова, наносят первый слой эмали, локально шпаклюют и шлифуют;
- наносит несколько слоев эмали;
- сушат покрытие;
- шлифуют и полируют;
- контролируют качество окраски;
- наносит противокоррозионные мастики.

Окраску выполняют в следующей последовательности: устанавливают кузов на пост подготовки к окраске; обмывают кузов водой с помощью ветоши или трикотажного полотна; снимают шпателем старое отслоившееся покрытие с дефектных участков; выполняют мокрое шлифование (например, машинкой типа ОМП-3) [2, 3]. В труднодоступных местах шлифуют вручную; промывают кузов водой, обдувают сжатым воздухом, сушат в естественных условиях; обезжиривают (ветошью, смоченной уайт-спиритом), наносят кистью типа КФК-6 герметизирующую мастику (типа Д-4А) на сварные швы и стыки в местах соединения замененных деталей с кузовом; изолируют бумагой поверхности, не подлежащие окраске; устанавливают кузов в окрасочную камеру; обезжиривают все окрашиваемые поверхности; грунтуют участки, зачищенные до металла (ГФ-073, ВЛ-02, ВЛ-08) с использованием краскораспылителя (типа КРУ-1 или СО-71); выдерживают нанесенное покрытие в камере в течение 5-7 минут; наносят пневмораспылителем два слоя эпоксидной грунтовки ЭФ-083. Устанавливают кузов в сушильную камеру; сушат покрытие при температуре 90 °С в течение одного часа; охлаждают кузов в естественных условиях; снимают защиту с изолированных поверхностей кузова; устанавливают кузов на пост подготовки поверхности; производят мокрое шлифование загрунтованной поверхности вручную шлифовальной шкуркой или машинкой; моют кузов водой, обдувают сжатым воздухом и сушат в естественных условиях; шпаклюют выявленные после грунта дефектные участки, затем сушат в течение 0,5 часа

Производят мокрое шлифование; моют кузов и обдувают сжатым воздухом; изолируют поверхности, не подлежащие окраске; устанавливают кузов в окрасочную камеру; обезжиривают окрашиваемые поверхности; грунтуют участки, зачищенные после шпаклевания до металла; выдерживают в камере 5 – 7 минут.

Наносят пневмораспылением два слоя эмали с промежуточной выдержкой 7 – 10 минут на внутренние поверхности кузова (дверные проемы, торцы и внутренние поверхности дверей и т. д.), наносят три слоя эмали с промежуточной выдержкой 7 – 10 минут на внешние поверхности кузова; устанавливают кузов в сушильную камеру и сушат при температуре 90 °С в течение одного часа.

Охлаждают в естественных условиях; окрашивают кистью (типа КФ-25) в черный цвет смесью эмали и грунта в соотношении 40:60 следующие детали: щитки, стойки радиатора, рамки дверей и пр.; окрашивают пороги (при необходимости); сушат в естественных условиях.

Лакокрасочные материалы подразделяют на основные (краски, эмали, грунты и шпаклевки) и вспомогательные (растворители, разбавители, смывки, составы для подготовки к окрашиванию, средства для ухода за покрытиями и др.).

На подготовленную к окраске поверхность сначала наносят грунтовки, которые являются связующим покрытием между металлом и последующими слоями эмали, обла-

дают повышенной адгезией (сцепляемостью). Грунтовки можно наносить распылением или кистью, окунанием, электрораспылением (послеокунанием) и электроосаждением. Толщина слоя составляет 15...20 мкм.

Грунтовки бывают с инертными пигментами; пассивирующие, фосфатирующие и протекторные.

Для нанесения грунтов и эмалей на кузова применяют воздушное (пневматическое) и безвоздушное распыление в электрическом поле и окрашивание кистями.

Воздушное распыление происходит в результате превращения лакокрасочного материала с помощью сжатого воздуха в тонкую дисперсную массу, окрашивающую поверхность кузова в виде мельчайших капель, которые, сливаясь друг с другом, образуют покрытие.

Таблица 1

**Результаты химического анализа сточной воды после окраски кузовов завода**

№	Показатели	Исходная вода из гидрозавесы окраски кузовов	ПДК в ГК
1	Цвет	с зеленым оттенком	
2	Запах, баллы	гнилостный, 2 балла	0-2
3	Цветность	1:10	1:16
4	Прозрачность, см	8	>20
5	Мутность, мг/л	114	2,6
6	Взвешенные вещества, мг/л	342±6,84	1000
7	pH	8	6,5-8
8	Сумма тяжелых металлов, ммоль/л	$6,68 \times 10^{-5} \pm 0,14 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-5}$
9	Железо, мг/л	1,5±0,04	0,3
10	ХПК, мг/л	800±16	500-800
11	Нефтепродукты, мг/л	20±0,6	0,1-0,3
12	АПАВ, мг/л	1±0,02	0,5
13	Фенолы, мг/л	0,5±0,02	0,01
14	Хлориды	50±1,5	350
15	Сульфаты, мг/л	100±2,1	500
16	Никель, мг/л	$0,1 \pm 2,5 \times 10^{-3}$	0,2

После цеха окраски кузовов вода поступает на цеховую станцию очистки.

Линия состоит из 7 емкостей ванн, в каждой из которой находится раствор, состоящий из деминерализованной воды и раствора для обработки кузова.

Кузов погружают в каждую ванну последовательно, сначала происходит обезжиривание, затем наносят последующие растворы. Эти растворы загрязнены, поэтому их переправляют на локальную очистную станцию.

Стоки бывают разбавленные и концентрированные, поэтому их разделяют, и каждый по своему трубопроводу направляют в свой резервуар. Всего 6 емкостей объемом 15-130 м<sup>3</sup>. В этих резервуарах содержится вода для мойки кузовов, которую называют условно чистой водой «без содержания тяжелых металлов с нормальным pH».

В дальнейшем для приготовления оптимального потока для обработки всю воду повторно разбавляют. Объем разбавленных стоков в среднем 16-18 м<sup>3</sup>/ч. Объем концентрированных стоков 0,5 – 2 м<sup>3</sup>/ч.

**Результаты физико-химической очистки исследуемой сточной воды методом пробной электрокоагуляции и методом коагуляции (коагулянтом М, выщелоченным из отходов)**

№	Показатели	Вода с добавлением коагулянта М	Вода после доочистки в электрокоагуляторе	ПДК в ГК
1	Цвет	прозрач. желтов.	прозрач. желтов.	
2	Запах, баллы	запах металла, 2 балла	гнилостный, 1-2 балла	0-2
3	Цветность	1:13	Отс.	1:16
4	Прозрачность, см	6	Отс.	>20
5	Мутность, мг/л	155	Отс.	2
6	Взвешенные вещества, мг/л	542,5±27	–	1000
7	рН	5	8	6,5-8,5
8	Сумма тяжелых металлов, ммоль/л	$2 \times 10^{-5} \pm 0,5 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-5} \pm 0,2 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-5}$
9	Железо, мг/л	$0,05 \pm 2,5 \times 10^{-3}$	0,3±0,01	0,3
10	Нефтепродукты, мг/л	1,3±0,06	3±0,1	0,1-0,3
11	АПАВ, мг/л	0,3±0,01	1±0,02	0,5
12	Фенолы, мг/л	–	0,5±0,012	0,01
13	Хлориды	100±2,4	Отс.	350
14	Сульфаты, мг/л	500±3,2	Отс.	500
15	Никель, мг/л	Отс.	Отс.	0,2

Примечания:

1. В контур СВ от окраски кузовов на заводе добавлен первичный органический полимерный коагулянт РЗ-сroni 810.
2. Коагулянт М – коагулянт, выщелоченный из отходов завода.

**Рисунок 1. Результаты очистки СВ после окраски кузовов автомобильного завода**

В основном стоки на производстве цеха окраски состоят из стоков поломочных машин, стоков обезжиривания, стоков от станций водоподготовки.

В резервуарных емкостях происходит перемешивание погружной мешалкой.

Обработка сточных вод завода происходит в условиях завода в три этапа:

– первичная коагуляция хлорным железом концентрацией 40% (здесь же происходит дозирование либо кислоты, либо щелочи, т.к. для хлорного железа необходимо создать рН=2-2,5);

– подщелачивание стоков раствором известкового молока через пневмоклапан (рН=10 для осаждения тяжелых металлов);

– коагуляция полиэлектролитами (для окончательного осаждения) тяжелых металлов и взвешенных веществ.

Чистая вода переливается в перешеек, при этом хлопья, образованные в процессе флокуляции, под действием сил тяжести поступают в пластинчатый отстойник.

Перед сбросом очищенной воды на центральные очистные сооружения проводится последний контрольный этап, включающий в себя отбор проб воды на анализ рН. Если рН щелочная, то производится добавление кислоты, чтобы обеспечить нормальную рН очищенной воды. Затем вода сбрасывается в канализацию.

Нами были проведены в лаборатории МГУИЭ физико-химические анализы сточной воды от окраски кузовов и ее локальная очистка перед сбросом на очистные сооружения.

Как видно из таблицы 1, превышение концентрации загрязняющих веществ по сравнению с ПДК наблюдается по следующим показателям: мутность, сумма тяжелых металлов, железо, нефтепродукты, АПАВ, фенолы [4, 5].

Таблица 3

**Результаты химического анализа сточных вод от окраски кузовов  
после очистки и доочистки**

№	Показатели	Вода после хлорирования + АГ-3	Вода после фильтрования на динамическом фильтре	Вода после фильтрования на динамическом фильтре	ПДК для ГК
		Состав фильтровальной загрузки			
		1	2	3	
1	рН	7	7,5	8	6,5-8,5
2	Сумма тяжелых металлов, мг/л	$6,68 \times 10^{-5} \pm 0,14$	$6,68 \times 10^{-5} \pm 0,14$	$0,5 \times 10^{-5} \pm 0,14$	$1 \times 10^{-5}$
3	Железо, мг/л	$0,3 \pm 0,012$	$0,05 \pm 0,001$	$0,1 \pm 0,002$	0,3
4	Медь (II), мг/л	следы	следы	следы	
5	Цинк, мг/л	следы	следы	следы	
6	Никель, мг/л	следы	$0,05 \pm 0,0015$	$0,05 \pm 0,0012$	0,2
7	Нефтепродукты, мг/л	$0,8 \pm 0,03$	$4 \pm 0,12$	$0,3 \pm 0,009$	0,1-0,3
в	АПАВ, мг/л	$1 \pm 0,03$	$1 \pm 0,02$	$0,5 \pm 0,008$	0,5
9	Фенолы, мг/л	$0,01 \pm 0,0002$	$0,5 \pm 0,006$	$0,1 \pm 0,004$	0,01

Примечания:

1. Состав фильтровальной загрузки:

1 – песок и активированный уголь АГ-3 (3 г/л);

2 – песок и сорбент «Филис» (3 г/л);

3 – песок, портландит и гидроантрацит А (3 г/л).

2. Гидроантрацит-А фракцией 0,8-2,0 мм.

Результаты очистки исследуемой сточной воды методом пробной электрокоагуляции и методом коагуляции коагулянтом М, выщелоченным нами из отходов, представлены в таблице 2.

В ходе эксперимента в лаборатории МГУИЭ получены следующие результаты: сточная вода из цеха окраски кузовов автомобилей завода загрязнена нефтепродуктами, фенолами, АПАВ, тяжелыми металлами, железом, что привело нас к решению применить глубокую очистку сточной воды методами коагуляции и электрокоагуляции [1].

Однако предложенные нами методы очистки коагулянтом, выщелоченным из отходов М, и методом пробной электрокоагуляции не дают по ряду показателей достаточного эффекта очистки для сброса воды после окрашивания кузовов автомобилей (с добавлением синтетического коагулянта) в городской коллектор или для использования очищенной воды на технические нужды завода [6, 7].

Требуется очистка сточной воды сорбционными методами на динамическом фильтре с различной загрузкой.

На рисунке 1 показаны результаты очистки исходной воды из гидрозавесы завода, воды с коагулянтом М и воды после доочистки электрокоагулятором.

### Выводы

В ходе физико-химического анализа сточной воды от окраски кузовов одного из автомобильных заводов Москвы, доочищенной методом динамической сорбции с разной загрузкой, получили следующие результаты. Сточная вода после доочистки хлорированием и АГ-3 имеет превышения по показателям суммы тяжелых металлов в 7 раз, нефтепродуктов в 2,6 раза и АПАВ в 2 раза по сравнению с ПДК, что свидетельствует о невозможности сброса такой воды в городской коллектор.

Сточная вода после доочистки на динамическом фильтре с загрузкой песком и сорбентом «Филис» свидетельствует о неоднозначных результатах. В данном эксперименте были получены превышения ПДК по показателям суммы тяжелых металлов в 7 раз. Был сделан вывод о нецелесообразности использования фильтра с данным типом загрузки для доочистки воды.

Анализ сточной воды после доочистки на динамическом фильтре с загрузкой песком и гидроантрацитом А показал превышение ПДК по фенолам в 10 раз для сброса в городской коллектор, но доочистка данным методом позволяет отправить воду на технические нужды завода.

На рисунке 2 показаны результаты доочистки сточных вод после окраски кузовов автозавода от нефтепродуктов.



Рисунок 2. Результаты доочистки СВ после окраски кузовов автозавода

Предлагается следующий технологический процесс доочистки сточной воды после окраски кузовов.

Сточные воды с автомобильного завода (стоки от покраски кузовов, бытовые, от мойки готовой продукции, гальванических цехов) расходом 5 м<sup>3</sup>/ч поступают в усреднитель-смеситель периодического действия, объемом 5 м<sup>3</sup>, который обеспечивает предварительную очистку стоков от основной массы взвешенных веществ с гидравлической крупностью осаждения 0,3-2,0 мм/с, а также происходит усреднение концентрации в сточной воде (вследствие циклических колебаний состава вод) с помощью мешалки. Продолжительность пребывания воды в усреднителе составляет 30 минут. Далее стоки самотеком поступают в камеру хлопьеобразования.

Вода с реагентами поступает из емкости для приготовления коагулянта в камеру хлопьеобразования периодического действия. Камера хлопьеобразования предназначена для создания благоприятных условий, чему способствует плавное перемешивание потока. Вода медленно перемешивается тихоходной мешалкой в течение 30 минут. Далее вода с хлопьями осадка самотеком поступает в вертикальный отстойник, где осуществляется отстаивание в течение одного часа. Затем осветленная вода насосом подается на динамический фильтр периодического действия с загрузкой гидроантрацитом А и порландитом на стадию доочистки. Фильтр с гидроантрацитной и известковой загрузкой хорошо очищает воду от взвешенных веществ, нефтепродуктов, фенолов. Очищенная вода после доочистки поступает самотеком в накопительную емкость для осветленной воды, откуда идет на технические нужды предприятия [8].

Осадок из камеры хлопьеобразования, усреднителя, отстойника и динамического фильтра с гидроантрацитовой и известковой загрузкой подается в емкость для сбора осадка, далее надосадочная жидкость подается в усреднитель, а осадок – в блок обработки осадка.

После засыпки фильтрующей загрузки в фильтр необходимо провести послонную взрыхляющую промывку с целью удаления из фильтрующего слоя мелких фракций (нижний просев) и пылевидных частиц.

Особенно важна эта операция при формировании двухслойной загрузки, т.к. между верхним и нижним слоями может образоваться блокирующий слой мелких фракций, ухудшающих гидравлические характеристики фильтрования.

Взрыхление водой в течение 5 минут.

Снижение уровня воды на 50 – 100 мм ниже верхней поверхности загрузки.

Взрыхление воздухом в течение 3 – 5 мин.

Взрыхление водой в течение 3 – 5 мин.

Сброс первых порций фильтрата.

Используются следующие методы регенерации сорбентов: термическая (высокотемпературная) регенерация – при температуре более 500 °С; тепловая (низкотемпературная) регенерация – при температуре 100-140 °С, электротермическая регенерация гранулированных активных углей; химическая регенерация – активных углей, минеральных сорбентов; электрохимических активных углей.

Нагрев сорбентов паром целесообразнее, вследствие более дешевой переработки элюатов. Химическая и тепловая регенерация применяется в основном на локальных очистных сооружениях промышленных предприятий производительностью 1 – 5 тыс. куб. м/сут., химическая регенерация применяется также при очистке сточных вод гальванических производств, предприятий химической промышленности и обработки цветных металлов и их руд.

Очищенная вода после доочистки поступает самотеком в накопительную емкость, откуда сбрасывается в городской коллектор.

Осадок из камеры хлопьеобразования, отстойника и динамического фильтра с гидроантрацитовой и известковой загрузкой подается в емкость для сбора осадка, далее в блок обработки осадка.

### Литература

1. Систер В.Г., Миташова Н.И., Каверина М.Г., Башкатова И.А. Очистка сточных вод автомобильного завода // Известия Московского государственного технического университета «МАМИ». 2014. Т. 2. № 3 (17). С. 13-16.
2. Кац А.М. Окраска автомобилей на АТП. – М.: Транспорт, 1986.
3. <http://www.wikipedia.org>
4. Муравьев А.Г. Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами. – СПб.: Крисмас +, 2004.
5. Кожин В.Ф. Очистка питьевой и технической воды, примеры и расчеты. – М., 1971.
6. СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения.
7. Алферова Л.А., Нечаев А.П. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов. – М., 1984.
8. Аюкаев Р.И., Мельцер В.З. Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды. – Л., 1985.

### Компьютерный анализ неустановившейся ползучести стержневых элементов конструкций

Д.т.н. проф. Луганцев Л.Д.  
Университет машиностроения  
8(499)267-16-33, [cadsystems@mail.ru](mailto:cadsystems@mail.ru)

*Аннотация.* Изложены метод и алгоритм компьютерного анализа вязкоупругого деформирования бруса в нестационарном температурном поле. Представлены сведения о программной реализации предложенного метода расчета. Приведен пример расчета процесса неустановившейся ползучести бруса при термомеханическом воздействии.

*Ключевые слова:* стержневая система, термомеханическое воздействие, вязкоупругое деформирование, ползучесть, компьютерный анализ.

Рассматривается вязкоупругое деформирование стержневого элемента в форме бруса с переменным поперечным сечением  $F = F(z)$  при нестационарном температурном воздействии. Координатная ось  $z$  проходит через центр тяжести бруса, ось  $y$  лежит в плоскости изгиба. Брус нагружен распределенной по оси  $z$  поперечной нагрузкой  $q_z(z)$ , осевой нагрузкой  $q_y(z)$ , осевым усилием  $P_z$ , поперечным усилием  $P_y$  и нагрет до температуры  $T(z, y)$ . Примерная расчетная схема рассматриваемой конструкции показана на рисунке 1.

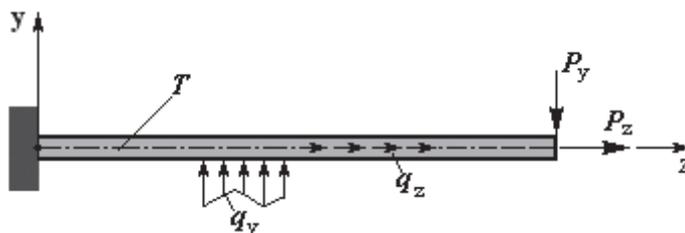


Рисунок 1. Расчетная схема стержневого элемента

Силовые нагрузки достигают заданных значений в начальный момент времени  $\tau_0 = 0$  и в дальнейшем при развитии процесса ползучести не изменяются. Температура  $T(z, y)$  в общем случае изменяется во времени по ступенчатому закону. Полагаем, что рассматриваемая конструкция является статически определимой и граничные условия на торцах бруса заданы. Влиянием касательных напряжений на изгиб бруса пренебрегаем, – при изгибе попе-