

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПО СНИЖЕНИЮ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Г. И. Морзак¹, К. А. Сырникова², А. Н. Людчик³

¹ К. т. н., доцент кафедры инженерной экологии, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: gmorzak@bntu.by

² Аспирант кафедры инженерной экологии, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: ecology@bntu.by

³ Магистрант кафедры инженерной экологии, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: ecology@bntu.by

Реферат

Все виды хозяйственно-экономической деятельности, включая промышленное производство сопровождаются воздействиями на компоненты окружающей среды. В значительном объеме в атмосферу попадают различные загрязняющие вещества от производственной деятельности населения, которые влияют как на качество, так и на свойства воздуха. Приоритетное значение для природоохранной деятельности предприятий по минимизации воздействий на окружающую среду имеет совершенствование применяемых производственных природоохранных технологий.

Экологизация производственной сферы базируется на последовательном внедрении технических, технологических, организационных мероприятий, которые повышают эффективность потребления и использования природных ресурсов, снижая при этом загрязнение природной среды выбросами, стоками, отходами.

В статье приведены основные методики количественного и качественного определения загрязняющих веществ гальванического производства. Рассмотрено техническое решение по минимизации воздействия на компоненты окружающей среды для предприятий, применяющих технологии нанесения гальванического покрытия. Для минимизации выбросов Cr (VI) на участке нанесения гальванического покрытия предусмотрено укрытие зеркала ванн хромирования полыми химически стойкими полимерными шариками. Такое инженерное решение позволит снизить до 75 % теплоотдачу и уменьшить до 90 % испарения с поверхности жидкой среды.

В статье приведен сравнительный анализ альтернативных мероприятий по сокращению выбросов хрома (VI) на гальваническом участке. Наилучший результат достигается при комбинировании нескольких мероприятий. Такая многоступенчатая стратегия позволит достичь нормативного сокращения выбросов Cr (VI). Показано, что модернизация системы улавливания выбросов загрязняющих веществ от растворов гальванических ванн позволит снизить воздействия от производственной деятельности на атмосферный воздух, при этом будет способствовать улучшению процесса хромирования.

Ключевые слова: выбросы загрязняющих веществ, гальваническое производство, природоохранная деятельность, модернизация систем очистки.

DIRECTION FOR REDUCING THE IMPACT OF GALVANIC PRODUCTION ON ATMOSPHERIC AIR

G. I. Morzak, K. A. Syrnikova, A. N. Lyudchik

Abstract

All types of economic and business activities, including industrial production, have an impact on the environment. Various pollutants from the population's production activities enter the atmosphere, affecting both the quality and properties of the air. Improving the environmental protection technologies used in production is crucial for minimizing environmental impacts.

The environmentalization of the production sector is based on the consistent implementation of technical, technological, and organizational measures that increase the efficiency of consumption and use of natural resources, while reducing the pollution of the natural environment through emissions, runoff, and waste.

The article provides the main methods for quantifying and qualitatively determining the pollutants in the electroplating industry. It also discusses a technical solution for minimizing the impact on environmental components for enterprises that use electroplating technologies. To minimize Cr (VI) emissions in the galvanizing process, the chrome baths are covered with hollow, chemically resistant polymer balls. This engineering solution reduces heat transfer by up to 75 % and evaporation from the liquid medium by up to 90 %.

The article provides a comparative analysis of alternative measures to reduce chromium (VI) emissions at the galvanizing site. The best results are achieved by combining several measures. This multi-step strategy will allow for a regulatory reduction in Cr (VI) emissions. It is shown that upgrading the system for capturing pollutants from galvanizing bath solutions will reduce the impact of production activities on atmospheric air, while also improving the chromium plating process.

Keywords: pollutant emissions, electroplating production, environmental protection, modernization of purification systems.

Введение

В Республике Беларусь ведется учет выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) от стационарных и мобильных источников выбросов. Выбросы ЗВ от стационарных источников выбросов учитываются на основе отчетов, представляемых в территориальные структуры Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды по установленной форме отчетности [1–3]. Эти отчеты составляются на основании данных проектов нормативов допустимых выбросов

ЗВ в атмосферный воздух, разрешений, актов инвентаризации выбросов ЗВ в атмосферный воздух, учета в области охраны атмосферного воздуха.

Одним из основных направлений государственной политики является экологизация экономики. Для снижения нагрузки на компоненты окружающей среды предусмотрено требование для субъектов природопользования об получения комплексного природоохранного разрешения, а также внедрения наилучших доступных технических

методов [4, 5]. Это достигается путем модернизации используемых природоохранных технологий, внедрения инновационных технологий эффективного использования природных ресурсов.

Мероприятия по охране атмосферного воздуха включают комплекс правовых, организационных, экономических и технических мер и действий, направленных на предотвращение и снижение его загрязнения. Они направлены на нормирование и мониторинг состояния компонентов окружающей среды, нормативное регулирование воздействия, технические и организационные решения для минимизации воздействия.

Для снижения антропогенной нагрузки на атмосферный воздух предприятиям рекомендуется [6–8]:

- создание, поддержание и сохранение структуры озеленения территории производственной застройки, озеленение санитарно-защитных зон источников выбросов ЗВ в атмосферный воздух;
- проведение исследований по улучшению качества атмосферного воздуха с учетом фактических условий в местах повышенного воздействия на окружающую среду;
- замена устаревшего оборудования на более экологичное;
- внедрение новых и модернизация действующих систем очистки отходящих газов;
- контроль соблюдения проектной эффективности работы газоочистных установок.

Благодаря соблюдению предприятиями экологических норм и требований на территории Беларуси наблюдается тенденция к сокращению валовых выбросов ЗВ в атмосферный воздух от стационарных и мобильных источников выбросов [9–11].

Экологические проблемы всегда относятся к наиболее актуальным, особенно проблемы экологии производства, потребление природных ресурсов.

Совершенствование экологизации производственной сферы

В современном мире существует множество путей решения экологических проблем, связанных с производством. Для улучшения экологической обстановки в регионах экономическая деятельность должна базироваться на экологизации производственной сферы. Некоторые пути экологизации приведены на рисунке 1.

Основные показатели, определяющие уровень экологизации природопользования, представлена на рисунке 2.

Внедрение инновационных технологий является неотъемлемой частью совершенствования экологизации производственной сферы, способствует улучшению экологической ситуации за счет минимизации выбросов, сбросов, отходов, так и вторичного их использования.

Реализация способов снижения нагрузки на окружающую среду от производственной деятельности предусматривает разработку и внедрение мероприятий (рисунок 3).

Снижение выброса ЗВ в атмосферу является обязательным условием для каждого предприятия. Законодательство Республики Беларусь в области охраны окружающей среды регламентируют показатели ПДВ и ПДК для каждого вредного вещества или химического соединения, которые предприятие обязано соблюдать. Для каждого промышленного предприятия комплекс мер по снижению выбросов ЗВ в атмосферу подбирается индивидуально, в зависимости от следующих факторов:

- вид и особенности технологического процесса;
- концентрация, физические и химические свойства вредных веществ в выбросах;
- технические характеристики применяемого природоохранного оборудования;
- финансовые возможности предприятия.



Рисунок 1 – Направления совершенствования экологизации производственной сферы

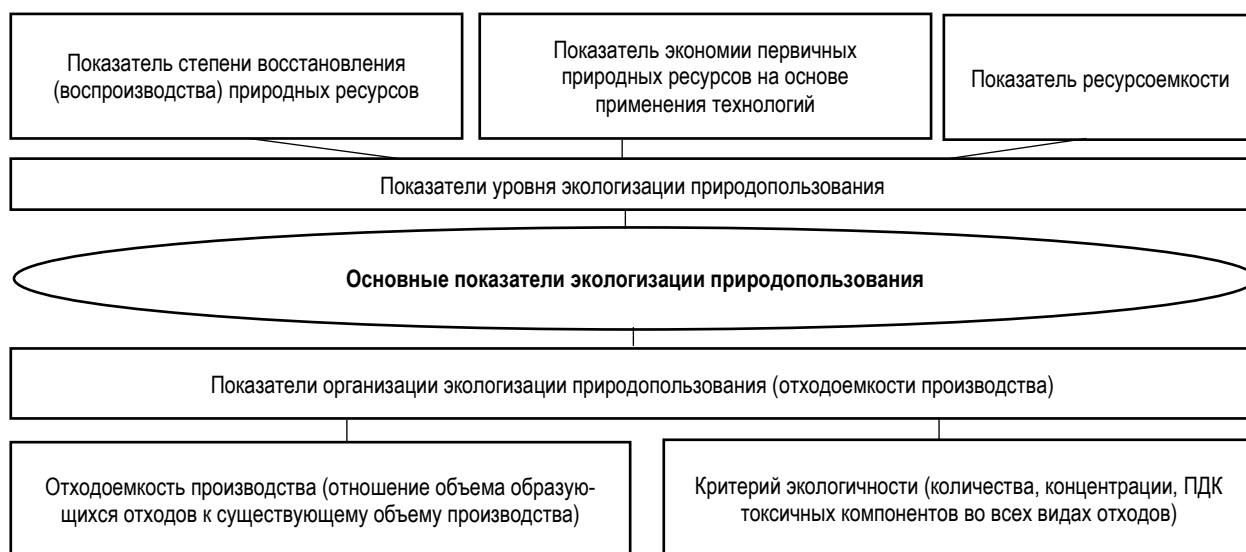


Рисунок 2 – Основные показатели экологизации природопользования

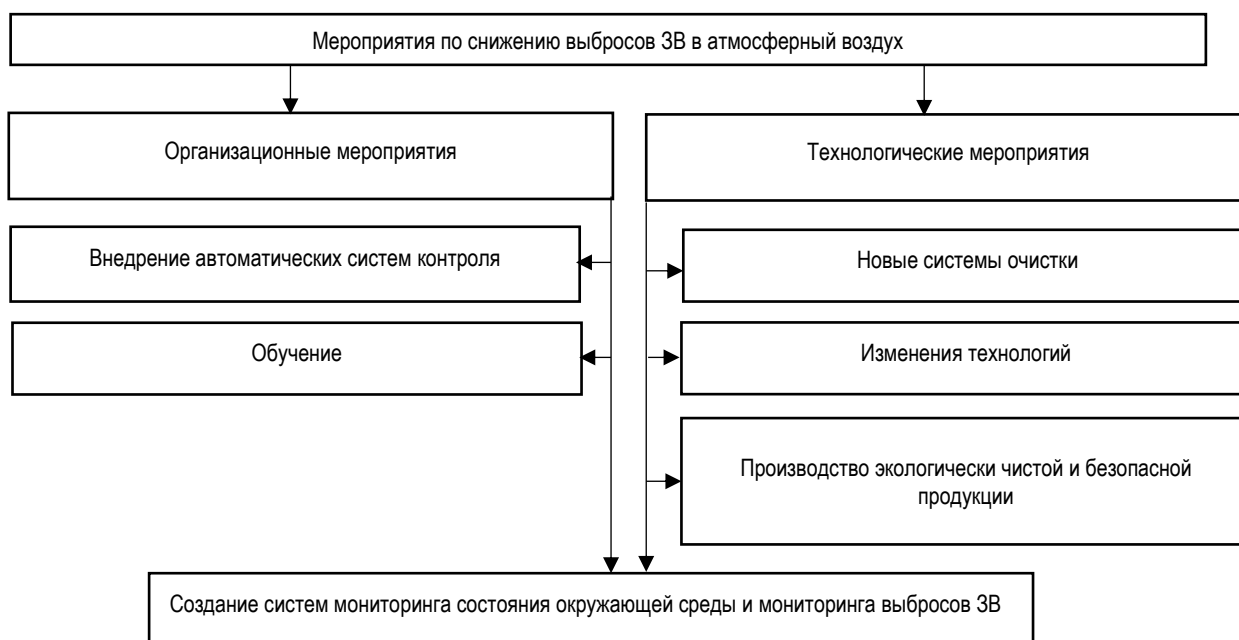


Рисунок 3 – Основные мероприятия по снижению воздействий производственной деятельности предприятий

Основные методики определения объема и состава выбросов ЗВ от гальванического производства

Гальваническое производство позволяет наносить на металлические и неметаллические детали различные защитные, защитно-декоративные и функциональные покрытия:

- цинкование (с радужной, бесцветной и черной пассивацией);
- никелирование (полублестящее и матовое);
- электрополирование нержавеющей стали;
- анодирование алюминиевых сплавов с наполнением в воде, в бихромате калия, окрашиванием в красителях;
- химическое оксидирование стали и алюминиевых сплавов;
- обработка металлических поверхностей стеклянными шариками (сатинирование поверхности деталей до нанесения гальванохимических покрытий);
- нанесение лакокрасочных покрытий;
- нанесение порошковых полимерных покрытий.

Основным направлением по контролю и снижению воздействия на окружающую среду на предприятии является программа аналитического (лабораторного) контроля ЗВ в атмосферном воздухе на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ).

К основным ЗВ, подлежащих лабораторному контролю на границе СЗЗ относятся:

- 1) ЗВ, выбросы которых составляют более 15 % от валового выброса предприятия;
- 2) ЗВ и группы суммаций, расчетные максимальные концентрации которых, определенные на основании расчета их рассеивания в атмосферном воздухе (без учета фоновых концентраций ЗВ), на границе СЗЗ и/или в жилой зоне составляют 0,5 и более долей ПДК м. р./ОБУВ;
- 3) Физические факторы воздействия, подлежащие лабораторному контролю.

Характеристика основных выбросов ЗВ в атмосферный воздух от гальванического производства представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика выбросов ЗВ в атмосферный воздух от гальванического производства

Наименование производства, цеха	Источники выделения загрязняющих веществ	Загрязняющее вещество
Участок гальваники (линия никель-хром)	Ванна хромирования	Хром (VI)
Гальванический цех, участок крупногабаритной окраски	Окрасочная камера	Ацетон
Гальванический цех, участок окраски	Сушильные шкафы	Ксилол
Участок гальваники (линия никель-хром)	Ванна никель-хром	Хром (VI)
Гальванический цех, участок шпатлевки	Сушильный шкаф	Спирт бутиловый
Гальванический цех, участок анодного оксидирования	Ванна оксидирования	Натрий гидроксид
Гальванический цех, участок тампопечати	Окрасочная	Спирт бутиловый

Определение объемов выбросов ЗВ в атмосферу осуществляется в соответствии с методиками, утвержденными в Республике Беларусь. Некоторые из этих методов основываются на удельных показателях, связывающих количество выбросов с единицей сырья или продукции. Другие отличаются более сложными алгоритмами расчетов и требуют использования обширной нормативно-справочной базы. Так, для установления хрома (VI) используется методика выполнения измерений фотометрическим методом МВИ.МН 5830-2017, для гидроксида натрия методика выполнения измерений визуальнометрическим и фотометрическим методом МВИ.МН 5866-2017 разработанными в соответствии с требованиями ГОСТ 8.010-2013 Государственная система обеспечения единства измерений, ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002, СТБ ISO 5725-3-2025, СТБ ISO 5725-4-2022, ГОСТ Р 2.105-2019 [12].

Метод измерения концентрации гидроксида натрия основан на реакции гидроксид-иона со смешанным кислотнo-основным индикатором с последующим визуальным колориметрированием или фотометрированием окрашенного раствора. Процедура определения концентрации едких щелочей в атмосферном воздухе представлена в виде схемы на рисунке 4.

Измерение массовой концентрации хрома (VI) в атмосферном воздухе осуществляется фотометрическим методом. В его основе лежит реакция взаимодействия Cr (VI) с дифенилкарбазидом в кислой среде, приводящая к образованию красно-фиолетового окрашенного комплекса, интенсивность окраски которого измеряется. Процедура определения массовой концентрации оксидов хрома шестивалентного приведена на рисунке 5.

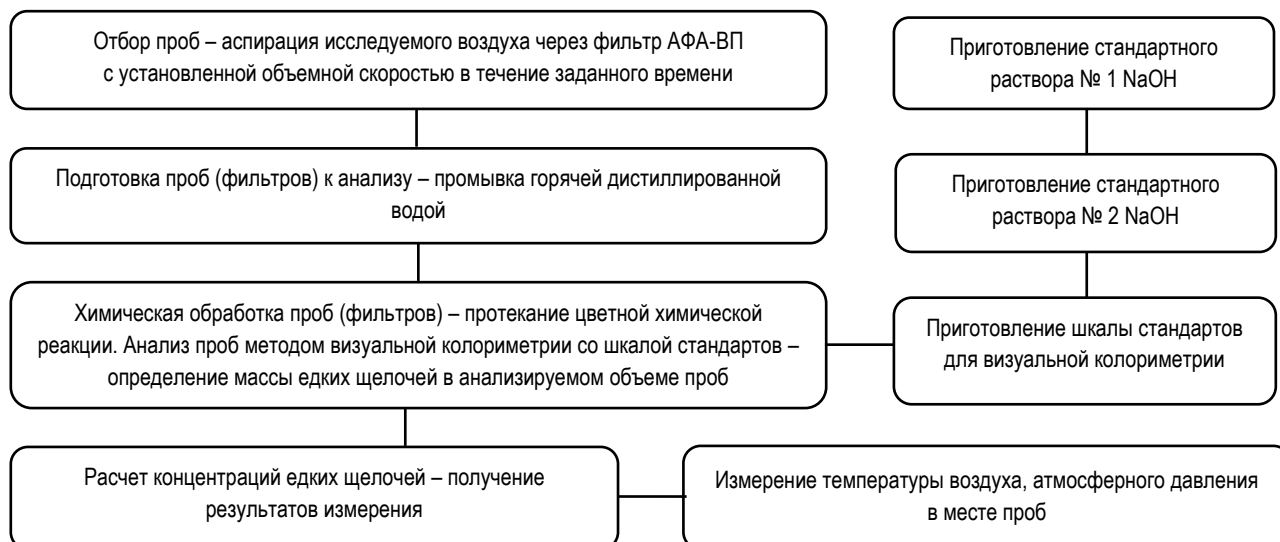


Рисунок 4 – Блок-схема определения массовой концентрации едких щелочей

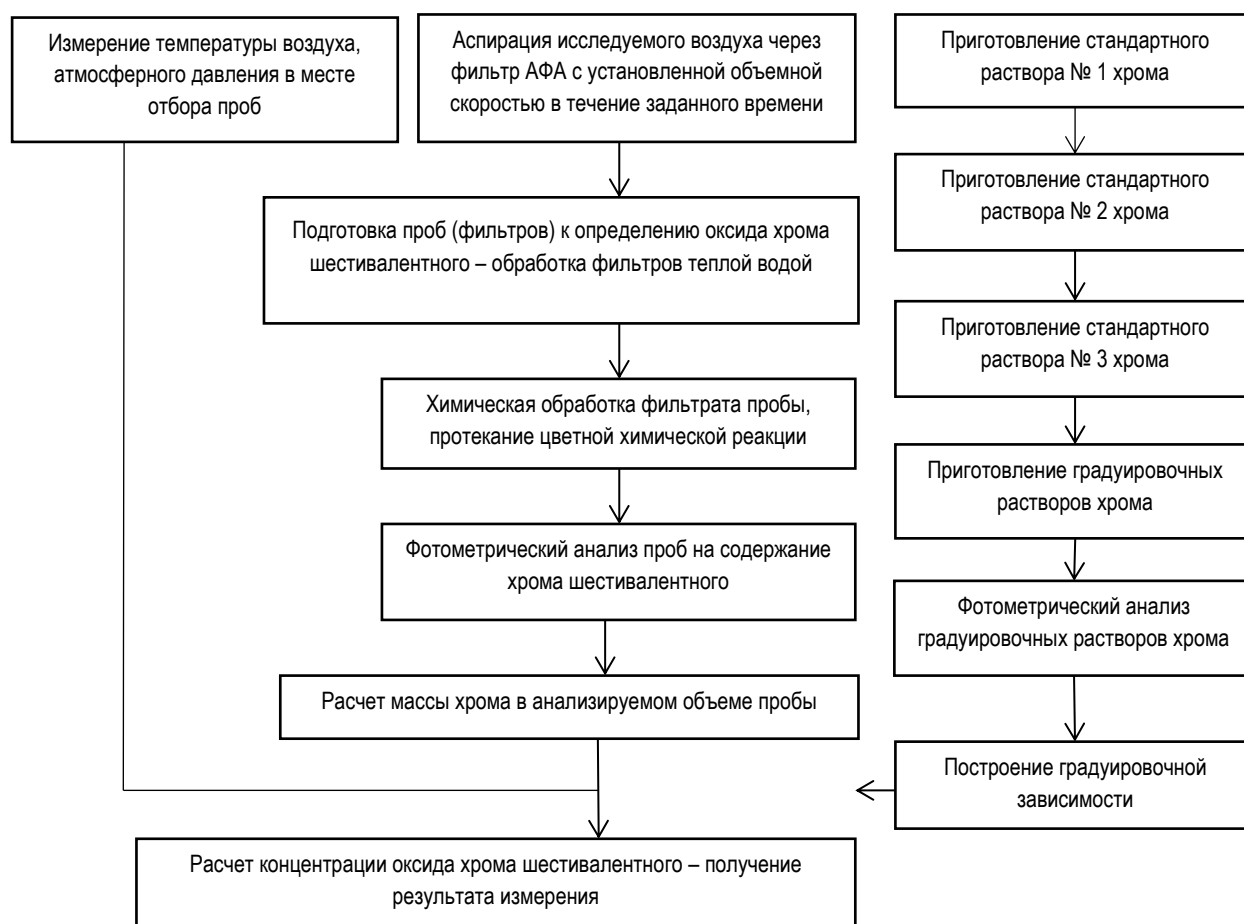


Рисунок 5 – Блок-схема определения концентрации оксида хрома (VI)

Для установления ксилола, ацетона, бутилового спирта используется метод измерения концентрации вредных веществ индикаторными трубками ГОСТ 12.1.014–84. Суть метода основана на изменении цвета индикаторного порошка при его взаимодействии с целевым вредным веществом, содержащимся в пробе воздуха, прокачиваемой через трубку. Концентрация загрязнителя определяется либо по длине окрашенного слоя, либо по интенсивности его окраски [13].

При отсутствии метрологически аттестованных методик измерений или если выполнение требований нормативных правовых актов

по отбору проб невозможно на практике, допускается определение величины выбросов загрязняющих веществ расчетным или инструментально-расчетным способом. Последний основан на использовании хотя бы одного измеренного параметра выброса.

Для определения характеристик выбросов ЗВ применяется комбинация методов:

– инструментальные методы – с помощью аналитических приборов и пробоотборного оборудования проводят прямые измерения концентрации ЗВ и параметров газопылевого потока (скорость,

расход, температура) на источнике. Эти методы являются приоритетными для организованных источников выбросов. Для некоторых объектов (относящихся к I и II категориям) с 2024 года требуется установка автоматизированных систем контроля (АСК), которые передают данные в государственную информационную систему (РИСАМОС);

– расчетные методы – используются для неорганизованных источников, при проектировании новых объектов, когда инструментальные измерения невозможны или не требуются. Расчеты выполняются по утвержденным методикам. При их отсутствии используются технологические нормативы, руководящие документы в рамках международных конвенций или утвержденных методик в других государствах;

– лабораторные методы анализа – исследование отобранных проб воздуха в аккредитованных лабораториях с помощью физико-химических методов (газовая хроматография, спектрометрия, гравиметрия и др.). Эти методы являются частью инструментальных замеров и применяются для уточнения состава ЗВ, ведения производственных экологических наблюдений, подтверждения расчетных данных.

Техническое решение по минимизации воздействия на атмосферный воздух гальванического производства

Наиболее проблемной зоной в гальваническом производстве по выделению ЗВ относятся зеркала ванн. Для снижения выбросов ЗВ необходимо предусмотреть техническое мероприятие, которое позволит снизить выбросы хрома (VI). Такое техническое мероприятие по сокращению выбросов ЗВ на гальваническом участке заключается в укрытии зеркала ванн хромирования полыми химически стойкими шариками. Полые химически стойкие шарiki представляют собой специальные микросферы, изготавливаемые из термо- и химически стойких полимеров, таких как полиэтилен (PE), полипропилен (PP), армированный полипропилен (RPP), поливинилхлорид (PVC), хлорированный ПВХ (CPVC) и поливинилиденфторид (PVDF). Благодаря уникальным свойствам – высокому свободному объему, низкому перепаду давления, минимальной высоте единицы переноса массы, высокой точке захлебывания, равномерному контакту фаз, малому удельному весу и высокой эффективности массопередачи – они нашли широкое применение. Эти элементы используются в насадочных колоннах в температурном диапазоне от 60 до 150 °C в различных отраслях: нефтепереработке, химической, хлор щелочной, углекислотной промышленности и в системах охраны окружающей среды [14, 15].

Основная роль полых химически стойких шариков в ваннах хромирования – поддержание химического равновесия электролита и достижение однородности металлического слоя. Эти шарiki размещаются непосредственно в рабочем растворе, состоящем из реагентов и электролита для хромирования [16, 17]. Технические характеристики полых химически стойких шариков представлены в таблице 2.

Общая задача шариков – обеспечение равномерности и качества хромирования изделий, создание и поддержание оптимальные и стабильные условия, необходимые для получения качественного хромированного покрытия [18, 19]. Эти шарiki могут служить препятствием для выбрасываемых частиц хрома, задерживая их на поверхности или поглощая их. Это позволяет снизить скорость выброса хрома (VI) в окружающую среду и уменьшить его негативное воздействие.

Исследования проводились для гальванических ванн с внутренними размерами 0,6×0,5×0,6 (Д, Ш, В). Расчеты проводились в соответствии с требованиями ТКП 17.08-05-2007 (02120) [20]. Экспериментальные исследования показали, что среднее значение выброса хрома (VI) до укрытия полыми химически стойкими шариками составлял 0,0057 г/с, после – 0,0006 г/с. Фактическая степень очистки – 89,5 %, что практически позволяет достичь проектного показателя (таблица 2).

Технология хромирования с применением полых химически стойких шариков включает несколько последовательных этапов.

1. Подготовка поверхности – для обеспечения высокого качества покрытия изделие тщательно очищается от загрязнений, жира и окислов.

2. Нанесение активирующего слоя – для улучшения адгезии хрома поверхность предварительно обрабатывают специальным химическим раствором.

3. Введение функциональных шариков – в гальванической ванне полые шарiki, выполняют роль фильтра или абсорбента для ЗВ (например, хроматов).

4. Электролитическое осаждение – процесс хромирования осуществляется методом электролиза – под действием электрического тока ионы хрома из раствора осаждаются на катоде (изделии).

5. Финишная обработка – для удаления остатков химикатов и выравнивания слоя хрома после нанесения покрытия изделие промывают и подвергают травлению.

Укрытие зеркала ванн хромирования полыми химически стойкими шариками позволяет снизить до 75 % теплоотдачу и уменьшить до 90 % испарения с поверхности жидкой среды, не требует затрат на сырье и материалы, также электроэнергию не потребляют.

Использование полых химически стойких шариков в гальванических ваннах комплексно улучшает процесс хромирования.

1. Поддержание химического равновесия ванны (регулировка pH и концентрации) для равномерного осаждения хрома.

2. Устранение пузырьков газа, возникающих при электролизе.

3. Защита поверхности изделий от повреждений за счет амортизации.

4. Повышение производительности за счет лучшего распределения электролита.

5. Снижение теплотер, испарения, экономия энергии, уменьшение выбросов ЗВ.

Таблица 2 – Техническая характеристика полых химически стойких шариков

Характеристика	Значение
Температура применения в средах	от 60 до 150 °C
Состав	термостойкая и химически коррозионностойкая пластмасса: полиэтилен (PE), полипропилен (PP), армированный полипропилен (RPP), поливинилхлорид (PVC), хлорированный поливинилхлорид (CPVC) и поливинилиденфторид (PVDF)
Степень очистки, %	90
Габаритные размеры, мм	Ø40
Объем, м³	44

В таблице 3 представлен сравнительный обзор основных мероприятий по сокращению выбросов хрома на гальваническом участке [21–23].

Заключение

Наилучший результат достигается комбинированием нескольких подходов. Например, плавающие шарiki могут в 5–6 раз снизить концентрацию Cr (VI) над ванной, а оставшиеся 10–25 % тумана будут улавливаться вентиляцией и фильтрами до уровней, безопасных для выпуска. Химические добавки способны практически полностью подавить туман на источнике, но из-за экологических ограничений их приходится сочетать с другими мерами. В целом многоступенчатая стратегия – снижение генерации тумана (поплавки, добавки, режимы процесса) плюс эффективное сбор и очистка остатка (вентиляция, фильтры) – позволяет достичь нормативного сокращения выбросов Cr (VI).

Таким образом, интеграция полых шариков в технологический цикл позволяет повысить качество покрытия, снизить вредное воздействие на окружающую среду и увеличить общую эффективность производства. Для сокращения выбросов от ванн хромирования на гальваническом участке, помимо укрытия зеркала ванн шариками, существует комплекс технологических и организационных мероприятий. Эти подходы можно систематизировать по принципу действия: локализация, улавливание, очистка, замена технологии и оптимизация процесса.

Таблица 3 – Альтернативные мероприятия по сокращению выбросов хрома (VI)

Направление	Мероприятия	Принцип действия	Преимущества	Недостатки
Локализация выбросов	Специальные бортовые отсосы (щелевые, зонтичные) с регулируемыми заслонками	Создание воздушного потока, улавливающего испарения / брызги непосредственно над поверхностью ванны	Высокая эффективность (до 95–98 %). Обязательное требование по ТНПА. Экономия энергии	Требуется точного расчета и монтажа. Заслонки могут мешать погружению деталей
	Подвижные укрытия, крышки-слайдеры	Механическое закрытие ванны	Резко снижает выбросы в нерабочие периоды	Требуется автоматизации
Улавливание и очистка	Установка локальных фильтров-скрубберов	Промывка загрязненного воздуха из бортовых отсосов раствором-поглотителем	Позволяет утилизировать хром. Прямое снижение нагрузки на атмосферу	Требуется места, химвеществ, утилизации шлама. Капитальные и эксплуатационные затраты
	Установка высокоэффективных фильтров (туманоуловителей, фильтров с сетками)	Физическая конденсация и улавливание капельной фазы (брызг, аэрозолей)	Защита вентилятора и воздухопроводов. Дополнительное снижение выбросов	Эффективны против аэрозолей, менее – против испарений
Изменение технологии	Переход на хром (III) вместо хрома (VI)	Использование менее токсичного и летучего электролита	Снижение опасности. Хром (III) менее токсичен и не канцерогенен. Проще очистка стоков	Другой цвет покрытия, может потребовать изменения технологии подготовки
	Использование триоксида хрома с ингибиторами испарения	Добавка специальных ПАВ в электролит для снижения поверхностного натяжения и летучести	Простое внедрение, снижение выбросов на 30–50 %	Зависит от состава ванны, требует подбора и контроля
Организационные и прочие	Автоматизация контроля параметров (температуры, плотности, тока, pH)	Оптимизация режима для минимизации побочных процессов	Снижение выбросов в источнике. Стабильность качества.	Инвестиции в систему автоматики и датчики
	Регулярное техобслуживание (очистка контактов, анодов, фильтрация электролита)	Поддержание оптимального режима работы, снижение необходимости в повышенных напряжениях / температурах	Снижение энергопотребления и связанных с ними выбросов. Профилактика аварийных выбросов	Требуется регламента работ и контроля

Список цитированных источников

- Об охране атмосферного воздуха : Закон Республики Беларусь от 16 дек. 2008 г. № 2–3 (с изм. и доп. от 17.07.2023 № 295-3) // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=H10800002> (дата обращения: 12.06.2026).
- О ведомственной отчетности на 2025 год : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 29 нояб. 2024 г. № 14-Т // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22442635p> (дата обращения: 12.06.2026).
- О деятельности, связанной с выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 27 дек. 2023 г., № 33 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22441147> (дата обращения: 12.06.2026).
- Об охране окружающей среды : Закон Респ. Беларусь от 29 нояб. 1992 г. № 272-3 // Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=V19201982> (дата обращения: 12.06.2026).
- О комплексных природоохранных разрешениях : Указ Президента Респ. Беларусь от 17 нояб. 2011 г. № 528 (с изм. и доп. от 22 января 2024 г. № 23) // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P31100528> (дата обращения: 12.06.2026).
- О Национальной стратегии развития экономики замкнутого цикла (циркулярной экономики) Республики Беларусь на период до 2035 года : постан. Совета Министров Респ. Беларусь от 29 мая 2024 г. № 393 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22400393> (дата обращения: 12.06.2026).
- Стратегия в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2035 года : приказ Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 24 дек. 2021 г. № 370-ОД // Минприроды : [сайт]. – URL: <https://minpriroda.gov.by/uploads/files/strategija-okr.sredy-do-2035g.pdf> (дата обращения: 12.06.2026).
- Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь до 2040 года : Министерство экономики Респ. Беларусь // Цели устойчивого развития Беларуси : [сайт]. – URL: <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR/natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-razvitiyarespubliki-belarus-na-period-do-2040-goda.pdf> (дата обращения: 12.06.2026).
- Республика Беларусь: Статистический ежегодник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь ; И. В. Медведева (отв. ред.). – Минск, 2025. – 305 с.
- Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень / Е. И. Громадская, Д. В. Цубленок, М. В. Водейко [и др.] ; под общ. ред. Д. В. Цубленок. – Минск : ЦНИИКИВР, 2025. – 198 с.
- Охрана окружающей среды : статистический буклет / Национальный статистический комитет Республики Беларусь ; И. В. Медведева (отв. ред.). – Минск, 2025. – 36 с.
- Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения : ГОСТ 8.010–2013. – Введ. 01.04.2015. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2015. – 11 с.
- Система стандартов безопасности труда. Воздух рабочей зоны. Метод измерения концентраций вредных веществ индикаторными трубками : ГОСТ 12.1.014–84 – Введ. 01.01.1986. – Постановление Государственного комитета СССР по стандартам от 14 дек. 1984 г. № 4362, 1986. – 6 с.
- Термоизоляционные шарики (поплавки). – URL: <https://uralactiv.ru/ventilyatsiya-polipropilenovaya/nasadki-kislotosoykie/shary-poplavki-iz-polipropilena> (дата обращения: 08.02.2026).
- Термоизоляционные шарики (поплавки). – URL: https://impgold.ru/electroplating/insulating_floats (дата обращения: 08.06.2026).

16. Вспененные пластмассовые изделия. – URL: <https://vallkiria.spb.ru/vспененные-пластмассовые-изделия> (дата обращения: 08.06.2026).
 17. Hard Chrome Fume Suppressants and Control Technologies : Capsule Report / B. J. Riordan, R. T. Karamchandani, L. J. Zitko, G. C. Cushnie Jr ; U.S. Environmental Protection Agency. – Описание образования хромового тумана при электролизе и меры его подавления, включая эффективность плавающих пластиковых сфер. – Washington : U.S. EPA, 1998. – 43 p. – (EPA/625/R-98/002).
 18. Capsule report hard chrome fume suppressants and control technologies // U.S. Environmental Protection Agency. – URL: <https://www.buscalibre.ec/libro-capsule-report-hard-chrome-fume-suppressants-and-control-technologies/9781249394389/p/22356989> (дата обращения: 08.02.2026).
 19. DTIC ADA631324 : Использование смачивающих агентов / подавляющих пар для минимизации атмосферных выбросов из ванн с твёрдым хромом // ESTCP. – URL: https://archive.org/details/DTIC_ADA631324/mode/2up (дата обращения: 08.02.2026).
 20. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Правила расчета выбросов при производстве металлопокрытий гальваническим способом = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Атмасфера. Выкіды забруджвальных рэчываў у атмасфернае паветра. Правілы разліку выкідаў пры вырабе металапакрыццяў гальванічным спосабам : ТКП 17.08-05-2007(02120). – Введ. 21.09.2007. – Минск : Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – 52 с.
 21. Виноградов, С. С. Экологически безопасное гальваническое производство / С. С. Виноградов. – М. : Глобус, 2002. – 352 с.
 22. Виноградов, С. С. Разработка принципов создания экологически безопасного гальванического производства: автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.17.03, 03.00.16 / Виноградов Сергей Станиславович ; Рос. хим.-технол. ун-т им. Д. И. Менделеева. – М., 2004. – 352 с.
 23. Васильева, И. А. Снижение негативного воздействия на окружающую среду от гальванического производства / И. А. Васильева // Молодой ученый. – 2024. – № 46 (545). – С. 467–469.
- References**
1. Ob ohrane atmosfernogo vozduha : Zakon Respubliki Belarus' ot 16 dek. 2008 g. № 2–Z (s izm. i dop. ot 17.07.2023 № 295-Z) // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=H10800002> (data obrashcheniya: 12.06.2026).
 2. O vedomstvennoj otchetnosti na 2025 god : postanovlenie Ministerstva prirodnih resursov i ohrany okruzhayushchej sredy Resp. Belarus', 29 noyab. 2024 g. № 14-T // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22442635p> (data obrashcheniya: 12.06.2026).
 3. O deyatel'nosti, svyazannoj s vybrosami zagryaznyayushchih veshchestv v atmosfernyj vozduh : postanovlenie Ministerstva prirodnih resursov i ohrany okruzhayushchej sredy Resp. Belarus' ot 27 dek. 2023 g., № 33 // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22441147> (data obrashcheniya: 12.06.2026).
 4. Ob ohrane okruzhayushchej sredy : Zakon Resp. Belarus' ot 29 noyab. 1992 g. № 272-Z // Nacional'nyj centr pravovoj informacii Respubliki Belarus'. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=V19201982> (data obrashcheniya: 12.06.2026).
 5. O kompleksnyh prirodohrannyh razresheniyah : Ukaz Prezidenta Resp. Belarus' ot 17 noyab. 2011 g. № 528 (s izm. i dop. ot 22 yanvarya 2024 g. № 23) // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P31100528> (data obrashcheniya: 12.06.2026).
 6. O Nacional'noj strategii razvitiya ekonomiki zamknutogo cikla (cirkulyarnoj ekonomiki) Respubliki Belarus' na period do 2035 goda : postan. Soveta Ministrov Resp. Belarus' ot 29 maya 2024 g. № 393 // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22400393> (data obrashcheniya: 12.06.2026).
 7. Strategiya v oblasti ohrany okruzhayushchej sredy Respubliki Belarus' na period do 2035 goda : prikaz Ministerstva prirodnih resursov i ohrany okruzhayushchej sredy Resp. Belarus' ot 24 dek. 2021 g. № 370-OD // Minprirody : [sait]. – URL: <https://minpriroda.gov.by/uploads/files/strategiya-oxr.okr.sredy-do-2035g.pdf> (data obrashcheniya: 12.06.2026).
 8. Nacional'naya strategiya ustojchivogo razvitiya Respubliki Belarus' do 2040 goda : Ministerstvo ekonomiki Resp. Belarus' // Celi ustojchivogo razvitiya Belarusi : [sait]. – URL: <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR/natsionalnaya-strategiya-ustojchivogo-razvitiyarespubliki-belarus-na-period-do-2040-goda.pdf> (data obrashcheniya: 12.06.2026).
 9. Respublika Belarus': Statisticheskij ezhegodnik / Nacional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus' ; I. V. Medvedeva (otv. red.). – Minsk, 2025. – 305 s.
 10. Sostoyanie prirodnoj sredy Belarusi: ekologicheskij byulleten' / E. I. Gromadskaya, D. V. Cublenok, M. V. Vodejko [i dr.] ; pod obshch. red. D. V. Cublenok. – Minsk : CNIIKIVR, 2025. – 198 s.
 11. Ohrana okruzhayushchej sredy : statisticheskij buklet / Nacional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus' ; I. V. Medvedeva (otv. red.). – Minsk, 2025. – 36 s.
 12. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmerenij. Metodiki vypolneniya izmerenij. Osnovnye polozheniya : GOST 8.010–2013. – Vved. 01.04.2015. – Minsk : Mezghos. sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii: Belorus. gos. in-t standartizacii i sertifikacii, 2015. – 11 s.
 13. Sistema standartov bezopasnosti truda. Vozduh rabochej zony. Metod izmereniya koncentracij vrednyh veshchestv indikatornymi trubkami : GOST 12.1.014–84 – Vved. 01.01.1986. – Postanovlenie Gosudarstvennogo komiteta SSSR po standartam ot 14 dek. 1984 g. № 4362, 1986. – 6 s.
 14. Termoizolyacionnye shariki (poplavki). – URL: <https://uralactiv.ru/ventilyatsiya-polipropilenovaya/nasadki-kislotosoykie/shary-poplavki-iz-polipropilena> (data obrashcheniya: 08.02.2026).
 15. Termoizolyacionnye shariki (poplavki). – URL: https://impgold.ru/electroplating/insulating_floats (data obrashcheniya: 08.06.2026).
 16. Vспененные пластмассовые изделия. – URL: <https://vallkiria.spb.ru/vспененные-пластмассовые-изделия> (data obrashcheniya: 08.06.2026).
 17. Hard Chrome Fume Suppressants and Control Technologies : Capsule Report / B. J. Riordan, R. T. Karamchandani, L. J. Zitko, G. C. Cushnie Jr ; U.S. Environmental Protection Agency. – Opisaniye obrazovaniya hromovogo tumana pri elektrolize i mery ego podavleniya, vkluchaya effektivnost' plavayushchih plastikovyh sfer. – Washington : U.S. EPA, 1998. – 43 p. – (EPA/625/R-98/002).
 18. Capsule report hard chrome fume suppressants and control technologies // U.S. Environmental Protection Agency. – URL: <https://www.buscalibre.ec/libro-capsule-report-hard-chrome-fume-suppressants-and-control-technologies/9781249394389/p/22356989> (data obrashcheniya: 08.02.2026).
 19. DTIC ADA631324 : Ispol'zovanie smachivayushchih agentov / podavlyayushchih par dlya minimizacii atmosferynyh vybrosov iz vann s tvorydym hromom // ESTCP. – URL: https://archive.org/details/DTIC_ADA631324/mode/2up (data obrashcheniya: 08.02.2026).
 20. Ohrana okruzhayushchej sredy i prirodoopol'zovanie. Atmosfera. Vybrosy zagryaznyayushchih veshchestv v atmosfernyj vozduh. Pravila rascheta vybrosov pri proizvodstve metallopokrytij gal'vanicheskim sposobom = Ahova navakol'naga asyaroddzya i pryrodakarystanne. Atmasfera. Vykydy zabrudzhval'nyh rechyvaŭ u atmasfernae pavetra. Pravily razliuku vykidaŭ pry vyrabe metalapakryccyaŭ gal'vanichnym spsabam : ТКП 17.08-05-2007(02120). – Введ. 21.09.2007. – Минск : Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – 52 с.
 21. Vinogradov, S. S. Ekologicheski bezopasnoe gal'vanicheskoe proizvodstvo / S. S. Vinogradov. – M. : Globus, 2002. – 352 s.
 22. Vinogradov, S. S. Razrabotka principov sozdaniya ekologicheskogo bezopasnogo gal'vanicheskogo proizvodstva: avtoreferat dis. ... doktora tekhnicheskikh nauk : 05.17.03, 03.00.16 / Vinogradov Sergej Stanislavovich ; Ros. him.-tekhnol. un-t im. D. I. Mendeleeva. – M., 2004. – 352 s.
 23. Vasil'eva, I. A. Snizhenie negativnogo vozdejstviya na okruzhayushchuyu sredu ot gal'vanicheskogo proizvodstva / I. A. Vasil'eva // Molodoj uchenyj. – 2024. – № 46 (545). – S. 467–469.

Материал поступил 09.07.2026, одобрен 14.07.2026, принят к публикации 14.07.2026