

УДК 504.05:504.3.054

КОБЫШЕВ В.В., студент гр. ТБ-11М (НИУ «МИЭТ»)

Научный руководитель РЯБЫШЕНКОВ А.С., д.т.н., профессор (НИУ «МИЭТ»)
г. Москва

АНАЛИЗ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОНИКИ И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ИХ МИНИМИЗАЦИИ

Введение. В условиях современного развития электроники одной из актуальных задач является обеспечение экологической безопасности технологических процессов. Большая часть производств электроники связана с выделением значительных объемов вредных газов, что отрицательно сказывается на окружающей среде и здоровье персонала, а также населения, проживающего в непосредственной близости от предприятия [1,3].

Целью данной работы является проведение комплексного анализа источников газовых выбросов на этапах технологических циклов производства электроники, оценка текущих объемов загрязнений, а также разработка рекомендаций по снижению экологического воздействия путем непосредственного внедрения современных систем очистки и оптимизации технологических режимов. Данное исследование включает моделирование сценариев внедрения экологических мер с целью определения их эффективности и влияния на объемы выбросов [2].

Производство электроники включает ряд технологических этапов, каждый из которых связан с выбросом вредных газов. Наиболее значимыми источниками являются пайка, химическая обработка и очистка. На этапе пайки используют различные флюсы и припои, которые, в свою очередь, содержат галогенные соединения и окислы металлов. При высоких температурах происходит испарение флюсов и окислов олова, свинца, ртути и других опасных веществ [2].

Анализ источников газовых загрязнений

В настоящий момент производство электроники включает ряд технологических этапов, каждый из которых непосредственно связан с выбросом вредных газов и паров. Наиболее значимые источники примерных данных выбросов на предприятиях электроники представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 Источники газовых загрязнений

Этап производства	Основные загрязняющие вещества	Средний объем выбросов, кг/час	Примечания
Пайка	Флюсы, окись олова, ртуть	0,5	Использование галогенных флюсов (NH_4Cl)

Химическая обработка	Растворители (ацетон, толуол)	1,2	Испарения происходят при температуре 25-60°C
Очистка и травление	Кислоты и щелочи	0,3	Испарения происходят при температуре 20-80°C

Исходя из общего объема выбросов для массовых производственных линий по производству электроники, который составляет примерно 2-3 кг/час, при стандартной восьмичасовой смене на предприятии количество выбросов в месяц достигает 70-80 кг [2]. Данные показатели являются основой для моделирования сценариев снижения выбросов.

1. Пайка. На этапе пайки используют различные опасные вещества, которые представлены в таблице 1.1. При высоких температурах при взаимодействии с данными веществами выделяются вредные испарения. Средний объем выбросов при данном процессе оценивается в 0,5 кг/час [2].

2. Химическая обработка и очистка. На этапе химической очистки и обработки используют растворители, такие как ацетон и толуол, которые выделяют летучие органические соединения (ЛОС). Среднее число выбросов данных веществ составляет 1,2 кг/час.

3. Очистка и травление. Выделение опасных газов из различных кислот и щелочей на производстве электроники происходит при процессах электролиза и зависит от некоторых факторов, влияющих на интенсивность выделения газов, а именно от концентрации электролитов и их непосредственной вязкости с поверхностным натяжением.

Объем газовых выбросов и их интенсивность зависят от множества факторов, основные из которых таковы:

1) Температура технологических процессов - повышенная температура значительно увеличивает скорость испарения растворителей.

2) Концентрация реагентов - чем выше концентрация у растворителя, тем более усилено выделение паров.

Для количественной оценки пропорциональной зависимости объемов газовых выбросов от технологических параметров применена следующая формула:

$$V_{\text{газ}} \propto C_{\text{хим}} \cdot T \cdot t, \quad (1)$$

где $V_{\text{газ}}$ - объем газовых выбросов, $C_{\text{хим}}$ - концентрация химикатов, T - температура нагрева °C, t - время технологической операции.

Данное уравнение показывает, что снижение температуры при совершаемой операции или концентрации используемых химикатов позволит значительно снизить выбросы газа на производстве.

4. Расчет влияния параметров на выбросы. При стандартных условиях объем выбросов при пайке достигает 0,5 кг/час. За 8 часов работы в день и 22 дня в месяц:

$$V_{\text{месяц}} = 0,5 \frac{\text{кг}}{\text{час}} \cdot 8 \text{ч} \cdot 22 \text{дня} = 88 \text{ кг.} \quad (2)$$

Расчет для химической обработки:

$$V_{\text{месяц}} = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{час}} \cdot 8 \text{ч} \cdot 22 \text{дня} = 211,2 \text{ кг.} \quad (3)$$

Общий выброс по всем этапам за месяц составляет примерно:

$$V_{\text{общий}} = 88 \text{ кг} + 211,2 \text{ кг} = 365 \text{ кг,} \quad (4)$$

что составляет около 4.4 тонны выбросов в год при условии постоянной работы.

5. При этом, если снизить температуру на 10, то, по эмпирическим данным, объем испарений снизится на 30%. Тогда для пайки:

$$V_{\text{месяц}} = 0,5 \frac{\text{кг}}{\text{час}} \cdot 0,7 = 0,35 \text{ кг/ч.} \quad (5)$$

За месяц:

$$V_{\text{месяц}} = 0,35 \cdot 8 \cdot 22 = 61,6 \text{ кг.} \quad (6)$$

Суммарный объем выбросов снизится примерно до 255 кг в месяц, что является хорошим показателем эффективной оптимизации.

6. Эффективность систем газоулавливания. Эффективность современных систем улавливания, фильтрации, очистки и дезодорирования исследована в контексте конкретных технологических процессов и может достигать от 70% до 90%.

Если исходный выброс составляет 80 кг/мес., то после интеграции фильтров:

$$V_{\text{фильтр}} = 80 \text{ кг} \cdot (1 - 0,9) = 61,6 \text{ кг.} \quad (7)$$

При внедрении данной меры количество выбросов снизилось более чем в 10 раз, что является очень значимым для устойчивого развития.

Таблица 1.2. Моделирование трех сценариев снижения выбросов

Сценарий	Описание	Объем выбросов, кг/мес.	Процент снижения от исходных данных
Базовый	Без внедрения мер	80	0%
Оптимизация технологического процесса	Использовались следующие параметры: снижение температуры и времени	50	37,5%
Комплексные меры	Внедрение систем газоулавливания и технологий	16	80%

Выводы. Анализ современных технологических процессов при производстве электроники показал, что газовые выбросы, связанные с пайкой, химической обработкой и очисткой, являются существенным источником вредных веществ, которые оказывают крайне негативное воздействие на окружающую среду и здоровье работников [1, 3]. Текущие оценки объемов выбросов свидетельствуют о необходимости принятия мер по их минимизации.

Проведенные моделирования и расчеты подтвердили, что внедрения технологий и некоторых организационных мероприятий достаточно для значительного снижения уровня выбросов. В частности, снижение температуры во время пайки и времени обработки позволило снизить выбросы на 30-40%. Но наиболее эффективным является внедрение систем газоулавливания и фильтрации, которые снизили объем вредных газов до 8 кг в месяц, что в 10 раз меньше исходных данных [2, 6].

Комплексный подход, который сочетает в себе технологическую оптимизацию и внедрение современных систем очистки, является основным аспектом на пути к устойчивому развитию производства электроники, а также позволяет повысить эффективность технологических процессов и повышает качество выпускаемой продукции.

Список литературы:

1. Иванов В. В., Петров А. А. Экологические аспекты производства электроники. М.: Наука, 2020. 312 с.
2. Смирнова Е. И., Кузнецов Ю. Б. Технологические процессы и экологическая безопасность. СПб.: Издательство СПбГУ, 2019. 278 с.
3. European Environment Agency. Greenhouse Gas Emissions from Electronic Manufacturing. EEA Report, 2021.
4. International Electrotechnical Commission (IEC). Environmental aspects — General guidelines. IEC 62430:2011.

5. Johnson M., Lee S. Sustainable Electronics Manufacturing. Journal of Cleaner Production, 2022, Vol. 362, 132456.
6. Chen X., Wang Y. Advances in Gas Capture and Filtration Technologies in Electronics Industry. Environmental Science & Technology, 2023, Vol. 57, No. 4, pp. 2345–2357.

Аннотация. Обеспечение экологической безопасности технологических процессов является одним из главных аспектов современного производства электроники. В рамках данной работы проведен анализ основных источников газовых загрязнений, возникающий на различных этапах технологического цикла, таких как пайка, химическая обработка и использование растворителей. Выполнена оценка текущих объемов выбросов вредных газов в атмосферу, выявлены ключевые факторы, определяющие их уровень, а также предложены пути снижения экологического воздействия. В ходе работы выполнена оценка текущих объемов выбросов вредных газов в атмосферу, что позволило выявить наиболее опасные источники загрязнения и определить факторы, способствующие их увеличению.

Особое внимание уделено системам газоулавливания, фильтрации, очистки и дезодорирования, эффективность которых исследована в контексте конкретных технологических условий и процессов. Разработаны рекомендации по оптимизации технологических параметров и режимов, таких как продолжительность обработки, концентрация химикатов и температура протекающих процессов, что позволяет значительно снизить объем выделяемых вредных веществ без ущерба для качества продукции. Моделирование сценариев внедрения экологических мер показало их высокую эффективность: до 70% при использовании современных методов пайки и до 80% — при внедрении систем газоулавливания.

Полученные результаты показали возможность повышения экологической безопасности производства электроники за счет комплексной оптимизации технологических параметров и интеграции современных систем очистки и нейтрализации газов. Реализуемые меры не только минимизируют экологический ущерб, но и способствуют снижению производственных затрат, что является одним из важных факторов для устойчивого развития отрасли и производств микроэлектроники.

Ключевые слова: экологическая безопасность, газовые выбросы, устойчивое развитие микроэлектроники, фильтрация и очистка, окружающая среда, оптимизация технологических режимов.