

**УДК 338.14**

ХАРЛАМОВ Н.Р., аспирант (НИУ «МИЭТ»)  
НИКУЛИНА И.М., ст. преподаватель (НИУ «МИЭТ»)  
г. Москва

## **РАСЧЕТ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА АТМОСФЕРЕ ОТ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПРЕДПРИЯТИЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**

**Введение.** Расчет эколого-экономического ущерба атмосфере представляет особую актуальность для предприятий микроэлектроники по производству полупроводниковых материалов, деятельность которых напрямую связана с использованием различных ЗВ в технологических процессах, что формирует специфическую структуру выбросов и определяет их потенциальное воздействие на окружающую среду. Проведение такого расчета является основой для построения эффективной системы экологической безопасности, позволяя не только выполнить требования природоохранного законодательства, но и оптимизировать экологические издержки производства, а также разработать превентивные мероприятия по снижению негативного воздействия на атмосферу [1, 2].

Эколого-экономический ущерб от загрязнения атмосферы ( $Y_a$ ) рассчитывается в соответствии с [3] по установленной методике, учитывающей константы, территориальные коэффициенты и приведенную массу ЗВ. Данный подход позволяет количественно оценить масштабы негативного воздействия на окружающую среду. Для обеспечения сопоставимости расчетов во времени формула (1) включает дефлятор, который корректирует стоимость ущерба с учетом инфляционных процессов. Это обеспечивает актуальное отражение реальных экономических последствий загрязнения.

Эколого-экономический ущерб определяется по следующей формуле:

$$Y_a = \lambda \sigma \mu f * \text{Дефлятор}, \text{ руб./ усл. т,} \quad (1)$$

где  $\lambda$  – константа, численное значение которой равно 57,3 руб. (для Центрального района РФ) на условную тонну выбросов;  $\sigma$  – показатель относительной опасности загрязнения атмосферы различных территорий [3, 4];  $\mu$  – приведенная масса валового выброса ЗВ, усл. т/год;  $f$  – поправка, учитывающая характер рассеивания примесей в атмосфере; Дефлятор – показатель инфляции.

Показатель  $\sigma$  определяется на основе анализа зоны активного загрязнения с учетом особенностей территории. При расчете учитывается степень однородности или неоднородности типов местности, а также их площадное распределение в пределах исследуемой территории.

Зона активного загрязнения представляет собой территорию, где в результате рассеивания ЗВ от стационарных источников выбросов происходит

устойчивое негативное воздействие на окружающую среду. Пространственные характеристики этой зоны формируются под влиянием множества взаимосвязанных факторов, включая технологические параметры производственных процессов, конструктивные особенности оборудования, специфические метеорологические и климатические условия, а также объемы и состав поступающих в атмосферу ЗВ.

**Анализ стационарных источников выбросов и расчет эколого-экономического ущерба.** Анализ производственно-экологической документации предприятия микроэлектроники выявил преобладание в составе выбросов трех загрязняющих веществ: пропан-2-ола, гидрохлорида и аммиака. Данные вещества поступают в атмосферу от трех стационарных источников выбросов, характеристика которых приведена в таблице 1. Данные ЗВ широко применяются в различных технологических процессах: аммиак используется в процессах химико-механической полировки кремниевых пластин и травления тонких пленок, гидрохлорид применяется для очистки технологического оборудования и в процессах эпитаксиального роста, пропан-2-ол задействован на стадиях промывки и обезжиривания пластин, а также при подготовке поверхностей к фотолитографии.

Таблица 1. Характеристика стационарных источников выбросов ЗВ

| Номер стационарного источника выбросов | Загрязняющее вещество | Высота стационарного источника выбросов, м | Температура выброса, °C | Скорость выброса, м/с | Валовый выброс, т/год |
|--|-----------------------|--|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1                                      | Пропан-2-ол           | 40   | 30,5                    | 3,5                   | 0,87717               |
|  | Гидрохлорид           |  |                         |                       | 0,01296               |
|  | Аммиак                |  |                         |                       | 0,1132                |
| 2                                      | Аммиак                | 40   | 44,4                    | 4,1                   | 0,0668                |
|  | Гидрохлорид           |  |                         |                       | 0,03563               |
| 3                                      | Аммиак                | 40   | 37,6                    | 3,5                   | 0,02479               |

Анализ характеристик стационарных источников выбросов показывает их технологическую однородность, что подтверждается одинаковой высотой источников (40 м) для всех рассматриваемых ЗВ. При этом наблюдаются существенные различия в объеме валовых выбросов и температурно-скоростных параметрах, которые необходимо учитывать при расчете эколого-экономического ущерба.

Наибольший вклад в валовые выбросы вносит источник № 1, суммарные выбросы от которого составляют более 1 т/год, причем основная масса приходится на пропан-2-ол (0,87717 т/год). Стационарный источник выбросов № 2 характеризуется максимальной температурой и скоростью выброса – 44,4°C и

4,1 м/с соответственно. Для источника № 3 свойственны наименьшие значения как по валовым выбросам, так и по температурно-скоростным параметрам.

Расчет эколого-экономического ущерба атмосфере от трех стационарных источников выбросов ЗВ выполнялся с использованием разработанной авторской программы для ЭВМ [5], позволяющей учитывать особенности однородных и неоднородных типов местности, что существенно повышает достоверность получаемых результатов. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты расчетов

| Номер стационарного источника выбросов | Загрязняющее вещество | Площадь зоны активного загрязнения, м <sup>2</sup> | Эколого-экономический ущерб, руб./ усл. т |
|--|-----------------------|--|---|
| 1                                      | Пропан-2-ол           | 182624   | 910,1                                     |
|  | Гидрохлорид           | 182505   | 1036,6                                    |
|  | Аммиак                | 182002   | 2402,8                                    |
| 2                                      | Аммиак                | 190054   | 2595,8                                    |
|  | Гидрохлорид           | 180503   | 405,31                                    |
| 3                                      | Аммиак                | 180422   | 2350,1                                    |
| Итого:                                 |                       |  | 9700,71                                   |

Анализ данных, представленных в таблице 2, показывает, что совокупный эколого-экономический ущерб атмосфере от трех стационарных источников выбросов ЗВ составляет 9700,71 руб./ усл. т. Определяющий вклад в общую величину ущерба вносят выбросы аммиака, достигая максимального значения 2595,8 руб./ усл. т от стационарного источника № 2. Значительную долю в структуре ущерба также составляют выбросы гидрохлорида, демонстрирующие заметные различия в показателях по разным источникам – от 405,31 до 1036,6 руб./ усл. т. При этом площади зон активного загрязнения этим ЗВ остаются сравнимыми и находятся в диапазоне 180-182 тыс. м<sup>2</sup>. Наименьший показатель ущерба приходится на пропан-2-ол и составляет 910,1 руб./ усл. т.

**Заключение.** Проведенный расчет эколого-экономического ущерба атмосфере для предприятия микроэлектроники показал, что совокупный ущерб от трех стационарных источников выбросов ЗВ достигает 9700,71 руб./ усл. т. Анализ структуры ущерба выявил определяющую роль выбросов аммиака, которые формируют максимальное воздействие в размере 2595,8 руб./ усл. т от источника № 2. При этом значительную долю в формировании ущерба составляют выбросы гидрохлорида, демонстрирующие заметные различия по разным источникам.

Полученные результаты могут выступить в качестве основы для разработки целевых природоохранных мероприятий. Особое внимание следует уделить стационарному источнику № 2, вносящему наибольший вклад в общий ущерб. Для данного источника целесообразно рассмотреть возможность модернизации газоочистного оборудования и оптимизации технологических процессов с целью снижения выбросов аммиака.

## Список литературы:

1. Симонова, И. Н. Экономический ущерб от выбросов в атмосферу на территории предприятия ПАО «ПЕНЗМАШ» / И. Н. Симонова, А. С. Качурин // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2021. – № 6(37). – С. 134-138.
2. Гундарцев, М. А. Применение методологии энергоэкологического анализа для исследования системы удаления воздуха чистых помещений в микроэлектронике / М. А. Гундарцев, В. И. Каракеян, А. С. Рябышенков, В. П. Шараева // Известия высших учебных заведений. Электроника. – 2021. – Т. 26, № 3-4. – С. 328-332. – DOI 10.24151/1561-5405-2021-26-3-4-328-332.
3. Харламов, Н. Р. Оценка ожидаемого экологического риска при увеличении масштаба производства изделий микроэлектроники / Н. Р. Харламов, А. С. Рябышенков, В. И. Каракеян // Приборы. – 2023. – № 2(272). – С. 47-54.
4. Щепетова, В. А. Расчет эколого-экономического ущерба от выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на предприятии / В. А. Щепетова, Д. А. Тюрина // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2022. – № 1(38). – С. 216-220.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025667456 Российская Федерация. Программа расчета эколого-экономического ущерба атмосферному воздуху от выбросов загрязняющих веществ стационарным источником : заявл. 19.06.2025 : опубл. 04.07.2025 / М. В. Белоногов, Н. Р. Харламов, А. С. Рябышенков ; заявитель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники».

**Аннотация.** Предприятия микроэлектроники, специализирующиеся на производстве полупроводниковых материалов, характеризуются специфической структурой выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) и оказывают значительное воздействие на атмосферу. Расчет эколого-экономического ущерба для них является критически важным инструментом не только для выполнения законодательных требований, но и для формирования эффективной системы экологической безопасности и оптимизации производственных издержек.

На примере конкретного предприятия микроэлектроники был проведен анализ выбросов ЗВ и расчет эколого-экономического ущерба по установленной методике. Анализ производственно-экологической документации выявил три ключевых ЗВ: пропан-2-ол, гидрохлорид и аммиак, поступающих в атмосферу от трех стационарных источников выбросов. Расчеты показали, что совокупный эколого-экономический ущерб составляет 9700,71 руб./ усл. т. Наибольший вклад в этот ущерб вносят выбросы аммиака, достигая максимального значения 2595,8 руб./ усл. т от источника № 2. Модернизация газоочистного оборудования и оптимизация технологических режимов для данного источника являются первоочередными мерами, позволяющими добиться максимального снижения негативного воздействия и повышения уровня экологической безопасности.

---

**Ключевые слова:** эколого-экономический ущерб, загрязняющие вещества, выбросы загрязняющих веществ, окружающая среда.