

**УДК 66.074.5, 502.3**

М.А. ЧУДАКОВА, студент гр. ТБ-11М  
 Научный руководитель: А.С. РЯБЫШЕНКОВ, д.т.н., профессор  
 НИУ МИЭТ, г. Москва

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАИЛУЧШИХ  
 ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СФЕРЕ ОХРАНЫ  
 АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ПРЕДПРИЯТИИ  
 МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**

Наилучшие доступные технологии применяются в целях обеспечения экологической безопасности. В настоящий момент последнее актуально для предприятий, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, в целях снижения оного, а также уменьшения воздействия на человека в настоящем и будущем. В данной работе исследуется негативное воздействие предприятия на атмосферный воздух и применяется ИТС 22–2016 «Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях». [1] Целью работы является оценка применения наилучших доступных технологий в области очистки выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух на предприятии микроэлектроники.

Правовые инструменты для реализации принципов наилучших доступных технологий в данной сфере включают:

- установление нормативов качества атмосферного воздуха, а также нормативов выбросов и вредных физических воздействий;
- государственную регистрацию новых загрязняющих и потенциально опасных веществ;
- получение разрешения на выброс и оказание вредного физического воздействия. [1]

На исследуемом предприятии установлены нормативы выбросов, приведённые в таблице 1.

Таблица 1. Нормативы годовых выбросов

| <b>Наименование вещества</b>        | <b>Норматив, т/год</b> |
|-------------------------------------|------------------------|
| Углерод оксид (CO)                  | 0,488877               |
| Фториды газообразные (F)            | 0,096502               |
| Ортофосфорная кислота ( $H_3PO_4$ ) | 0,036619               |
| Диоксид азота ( $NO_2$ )            | 0,033107               |
| Кислота азотная ( $HNO_3$ )         | 0,737386               |
| Аммиак ( $NH_3$ )                   | 5,006655               |
| Бор трифтормид ( $BF_3$ )           | 0,003932               |
| Хлор (Cl)                           | 0,150425               |

|  |          |
|--|----------|
| Силан (моносилан) ( $\text{SiH}_4$ )                         | 0,000796 |
| Сера гексафторид ( $\text{SF}_6$ )                           | 9,861351 |
| Трихлорэтилен ( $\text{C}_2\text{HCl}_3$ )                   | 0,000312 |
| Тетрахлорметан ( $\text{CCl}_4$ )                            | 0,523566 |
| Тетрафторметан ( $\text{CF}_4$ )                             | 3,814607 |
| Бутан-1-ол ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{OH}$ )         | 0,003697 |
| Пропан-2-ол ( $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ ) | 0,017313 |
| Этанол ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ )                 | 0,012841 |
| Соляная кислота (HCL)  | 1,667388 |
| Серная кислота ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )                   | 1,685008 |
| Натрия гидроксид (NaOH)                                      | 0,022810 |
| Кремния диоксид ( $\text{SiO}_2$ )                           | 1,095153 |

В соответствии с Федеральным законом [2], в целях регулирования со стороны государства выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух для стационарных источников устанавливаются следующие нормативы:

- а) предельно допустимые выбросы (ПДВ) и нормативы допустимых выбросов (НДВ) (для предприятий специально разрабатываются документы-проекты ПДВ и НДВ для выполнения природоохранного законодательства);
- б) технологические нормативы выбросов;
- в) предельно допустимые нормативы вредных физических воздействий на атмосферный воздух [3].

Кроме правовых инструментов, также используются и различные методы очистки выбросов. На исследуемом предприятии используются следующие методы очистки:

- газоразрядно-кatalитическая очистка (газоконвекторы «Ятаган»);
- адсорбция (фильтры поглотители ФП-300);
- ионный обмен и адсорбция (рамочный ионообменный фильтр РИФ-10);
- тонкая фильтрация (фильтры НЕРА).

Газоочистные установки имеются на 10 источниках выбросов в атмосферный воздух в цехе изготовления интегральных схем.

В таблице 2 представлены очищаемые загрязняющие вещества, а также их концентрации на входе и на выходе из газоочистной установки.

Таблица 2. Концентрации на входе и выходе газоочистных установок

| ИЗА                | ЗВ                                   | $C_{вх}$<br>( $\text{МГ}/\text{М}^3$ ) | $C_{вых}$<br>( $\text{МГ}/\text{М}^3$ ) | ПДК/<br>ОБУВ<br>$\text{МГ}/\text{М}^3$ | Проектная<br>эффективн<br>ость, % |
|--------------------|--------------------------------------|--|---|--|-----------------------------------|
| Газоконвертор      | Этанол                               | 0,682                                  | 0,05                                    | 5,0                                    | 90                                |
| Фильтр-поглотитель | Гидрохлорид<br>Хлор<br>Углерод оксид | 2<br>0,10<br>67,64                     | 0,20<br>0,01<br>4,87                    | 0,2<br>0,1<br>5,0                      | 90<br>90<br>90                    |

|                               |   |  |  |  |                                  |
|-------------------------------|---|--|--|--|----------------------------------|
| Фильтр тонкой очистки НЕРА    | Ортофосфорная кислота   | 0,10   | 0,03   | 0,02   | 95                               |
| Газоконвертор                 | Аммиак  | 0,10   | 0,02   | 0,20   | 90                               |
| Фильтр-поглотитель            | Фтористые газообразные соединения   | 0,048  | 0,02   | 0,02   | 90                               |
| Рамочный ионнообменный фильтр | Аммиак<br>Гидрохлорид<br>Серная кислота<br>Фтористые газообразные соединения<br>Ортофосфорная кислота                     | 0,380<br>2<br>0,180<br>0,224<br>0,053          | 0,10<br>0,20<br>0,05<br>0,02<br>0,02         | 0,20<br>0,20<br>0,30<br>0,02<br>0,02         | 90<br>90<br>90<br>90<br>90       |
| Фильтр-поглотитель            | Азота оксид<br>Гидрохлорид<br>Хлор  | 1,72<br>2,00<br>0,87                           | 0,30<br>0,20<br>0,09                         | 0,40<br>0,20<br>0,10                         | 90<br>90<br>90                   |
| Газоконвертор                 | Аммиак  | 3,02   | 0,26   | 0,20   | 99                               |
| Рамочный ионнообменный фильтр | Натрий гидроксид<br>Гидрохлорид<br>Серная кислота<br>Фтористые газообразные соединения<br>Ортофосфорная кислота<br>Аммиак | 0,050<br>2<br>0,193<br>0,030<br>0,033<br>0,240 | 0,01<br>0,20<br>0,05<br>0,01<br>0,01<br>0,10 | 0,01<br>0,20<br>0,30<br>0,02<br>0,02<br>0,20 | 90<br>90<br>90<br>90<br>90<br>90 |
| Газоконвертор                 | Этанол<br>Пропан  | 4<br>20  | 1<br>2                                       | 5<br>50                                      | 90<br>90                         |

Использование наилучших доступных технологий на предприятии обеспечивает высокий уровень экологической безопасности, предотвращая негативное воздействие на окружающую среду. Также для оценки эффективности внедрения наилучших доступных технологий нами был рассчитан предотвращенный экологический ущерб по формуле:

$$y_{\text{пр}_{nct}}^a = y_{\text{уд}_r}^a \times \sum_{K=1}^K M_{nk_{ct}}^a \times K_{\mathcal{E}_r}^a \quad (1),$$

где:  $y_{\text{пр}_{nct}}^a$  — предотвращенный экологический ущерб от загрязнения атмосферного воздуха выбросами от стационарных источников, тыс. руб.;  $y_{\text{уд}_r}^a$  — показатель удельного ущерба атмосферному воздуху, наносимого выбросом единицы приведенной массы загрязняющих веществ;  $M_{nk_{ct}}^a$  — приведенная масса выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников выбросов, не поступивших в атмосферный воздух с n-го объекта, усл. тонн; К — количество объектов (предприятий, производств, имеющих ГОУ);  $K_{\mathcal{E}_r}^a$  — коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха.

Приведенная масса загрязняющих веществ рассчитывается по формуле:

$$M_{nk}^a = \sum_{i=1}^N m_i^a K_{ei}^a, \quad (2),$$

где  $m_i^a$  — фактическая масса n-го загрязняющего вещества или группы веществ с одинаковым коэффициентом относительной эколого-экономической опасности, не поступивших в атмосферный воздух, тонн;  $K_{ei}^a$  — коэффициент относительной эколого-экономической опасности n-го загрязняющего вещества или группы веществ. [4]

В таблице 3 приведены результаты расчёта вычисленной массы по формуле (2).

Таблица 3. Результаты расчёта приведённой массы

| Вещество              | Коэффициент относительной эколого-экономической опасности n-го загрязняющего вещества или группы веществ | Фактическая масса ЗВ, т | Приведенная масса выброса, усл. т |
|-----------------------|--|-------------------------|-----------------------------------|
| Этанол                | 0,7  | 0,000046                | 0,000032                          |
| Гидрохлорид           | 20   | 0,002323                | 0,046                             |
| Оксид углерода        | 0,4  | 0,4889                  | 0,196                             |
| Хлор                  | 110  | 0,000267                | 0,0294                            |
| Ортофосфорная кислота | 20   | 0,000156                | 0,00312                           |
| Аммиак                | 28,5   | 0,72595                 | 20,7                              |
| Фториды газообразные  | 110  | 0,000248                | 0,02728                           |
| Серная кислота        | 20   | 0,00076                 | 0,0152                            |
| Диоксид азота         | 16,5   | 0,0000048               | 0,00008                           |
| Гидроксид натрия      | 20   | 0,0000002               | 0,000004                          |
| Изопропанол           | 0,7  | 0,000141                | 0,0000987                         |

Таким образом, предотвращённый экологический ущерб, рассчитанный по формуле (1), составляет:

$$y_{pr_{nct}}^a = 74 * 21,017 * 1,9 * 10 = 29550 \text{ руб.}$$

В ходе расчётов следует также учесть инфляцию. Например, на 2021 год коэффициент инфляции составил 1,08; следовательно, умножив предотвращённый экологический ущерб на коэффициент инфляции, получим уточненный предотвращённый экологический ущерб:

$$y_{pr_{nct}}^{a'} = 29550 * 1,08 = 32\ 346 \text{ руб}$$

Применение лучших доступных технологий не только эффективно, но и приносит экономическую выгоду предприятию микроэлектроники. Установленные предельно-допустимые выбросы и газоочистные установки обеспечивают уровень концентраций

загрязняющих веществ, выбрасываемых источниками загрязнения атмосферы предприятием, ниже предельно-допустимых концентраций. Кроме этого, в результате расчёта предотвращённого экологического ущерба вследствие эксплуатации газоочистных установок нами была выявлена экономическая выгода от применения наилучших доступных технологий.

#### Список литературы:

1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 22–2016 «Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях» (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2016 г. № 1880) – 212 с. Дата введения 2017-07-01.
2. Федеральный закон "Об охране атмосферного воздуха" от 04.05.1999 N 96-ФЗ (последняя редакция).
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 9 декабря 2020 года N 2055 О предельно допустимых выбросах, временно разрешенных выбросах, предельно допустимых нормативах вредных физических воздействий на атмосферный воздух и разрешениях на выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух.
4. Методика определения предотвращенного экологического ущерба. г. Москва 1999