

**УДК 628.52, 502.3**

**М.А.ЧУДАКОВА**, студент гр. ТБ-41 (НИУ МИЭТ)

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗООЧИСТНОЙ УСТАНОВКИ НА ПРЕДПРИЯТИИ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**

Аннотация. В данной работе проанализирована эффективность работы газоочистной установки — блока очистки из двух ионообменных фильтров РИФ-10. Изучены данные с 2013 по 2021 гг. Сделан прогноз об эффективности работы установки на 2022-2025 гг.

Предприятия, в том числе и предприятия микроэлектроники, осуществляющие выбросы в атмосферу, должны обеспечивать защиту и бережное отношение к последней. Как следствие, необходимо обеспечить рассеивание выбросов или использовать специальные установки для очистки. Чаще всего эти два метода должны использоваться комплексно. В данной работе рассматривается использование очистки выбросов в качестве метода снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Для очистки и обезвреживания выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферный воздух используются различные газоочистные установки (ГОУ), в которых применяются различные методы очистки и обезвреживания газов. При этом для оценки работы ГОУ используют такой показатель, как степень очистки газа (эффективность очистки газа, которая является предметом данной работы), представляющий собой отношение массы извлеченного из газа или прореагировавшего загрязняющего вещества к массе загрязняющего вещества, присутствующего в газе до очистки [1].

ГОУ должна действовать бесперебойно и обеспечивать очистку и обезвреживание выбросов от технологического оборудования в течение всего периода работы этого оборудования (с момента пуска (включения) до полной остановки) на уровне технических характеристик ГОУ, содержащихся в их паспорте. Одним из обязательных условий эксплуатации предприятием ГОУ является фактическая эффективность ГОУ, которая не должна быть меньше проектной [2]. В случае, если ГОУ отключены или не обеспечивают проектную очистку и обезвреживание выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, эксплуатация соответствующего технологического оборудования запрещена [3].

Целью работы является исследование эффективности и её изменений для ГОУ на предприятии микроэлектроники за 9 лет, а также прогнозирование показателей эффективности на следующие несколько дней.

Исследуемая ГОУ — блок очистки из двух ионообменных фильтров РИФ-10. Режим работы ГОУ — непрерывный, площадь фильтрации — 35 м<sup>2</sup>, количество фильтрующих элементов — 2, срок службы фильтрующих элементов — 2 года. Проектная эффективность установки составляет 90%.

Характеристики по концентрациям на входе и на выходе в ГОУ по годам (с 2013 по 2021) представлены в таблице 1.

Таблица 1. Концентрации веществ по годам

Вещество	2013 г	2014 г	2015 г	2016 г	2017 г	2018 г	2019 г	2020 г	2021 г
Аммиак (вх)	9,02	157,698	156,72	156,01	157,38	155,61	5	0,37	0,38
Аммиак (вых)	0,2	0,78996	0,73	0,74	0,767	0,773	0,54	0,1	0,1
Гидрохлорид (вх)	1,28	0,582412	0,54	0,55	0,577	0,564	2	2	2
Гидрохлорид (вых)	0,25	0,002932	0,002	0,002	0,0021	0,002	0	0,2	0,2
Серная кислота (вх)	4,8	0,025795	0,021	0,021	0,026	0,027	0	0,2	0,1934
Серная кислота (вых)	0,1	0,000129	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0	0,0001	0,0001
Фтористые газообразные соединения (вх)	5,2	0,944187	0,93	0,93	0,94	0,94	1,05	0,22	0,2204
Фтористые газообразные соединения (вых)	0,12	0,004718	0,0003	0,00066	0,0009	0,0009	0	0,003	0,003
Ортофосфорная кислота (вх)	1,17	0,097527	0,08	0,074	0,092	0,095	0,12	0,05	0,047
Ортофосфорная кислота (вых)	0,01	0,000487	0,0004	0,0004	0,00047	0,00046	0	0,003	0,003

Рассчитаем эффективность работы ГОУ по формуле (1) [4]:

$$\eta = \frac{C_{\text{вх}} - C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}} \quad (1),$$

где  $C_{\text{вх}}$  – концентрация, измеренная на входе в ГОУ, а  $C_{\text{вых}}$  – концентрация, измеренная на выходе из ГОУ. Формула (1) здесь представлена в упрощённой форме, т.к. для расчёта эффективности необходимо учитывать расход газа на входе и на выходе в ГОУ, но в данном случае значения расхода на входе и на выходе равны, поэтому при расчёте они сокращаются.

Результаты расчёта эффективности по очищаемым выбросам представлены на графиках на рисунке 1:

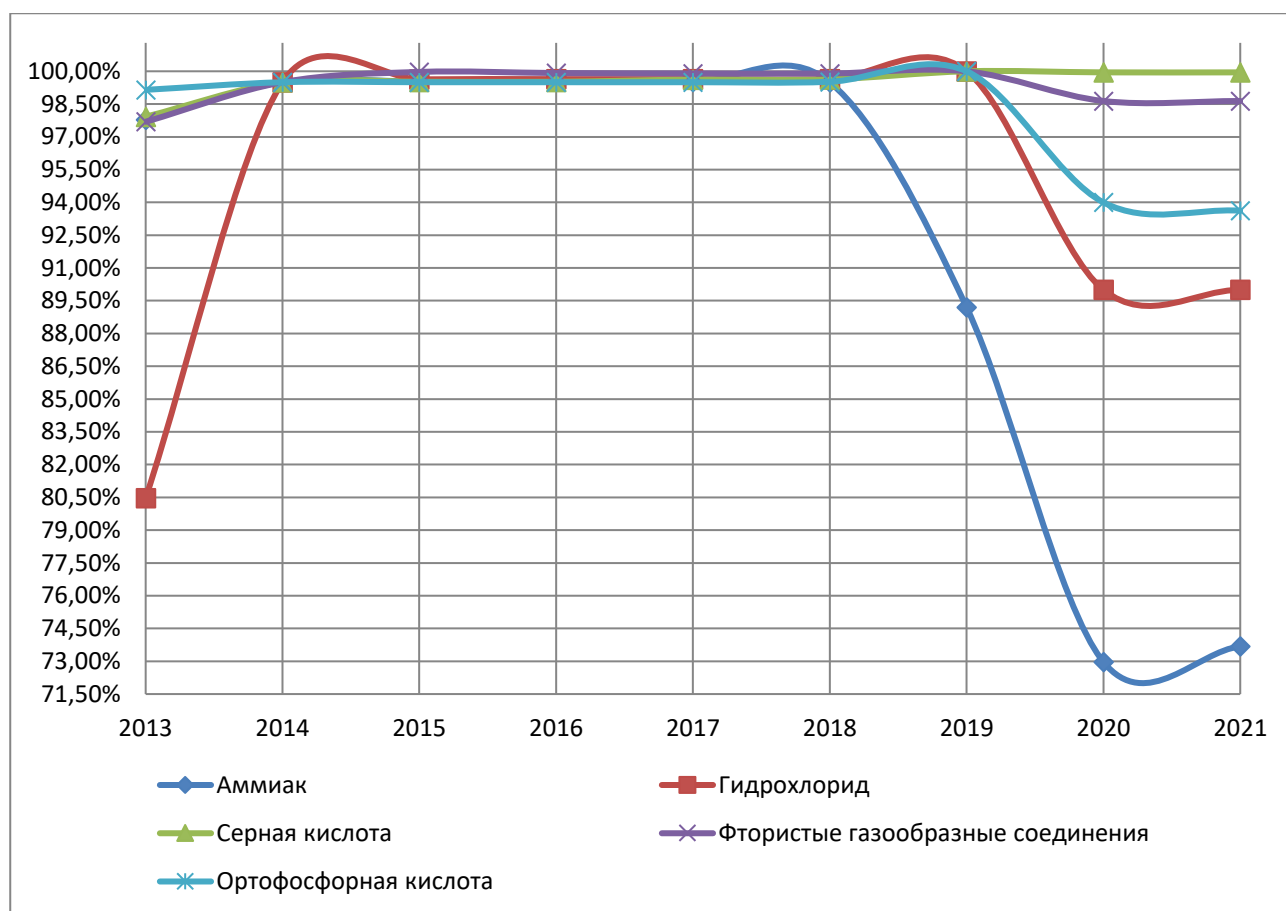


Рисунок 1. Динамика эффективности ГОУ по выбрасываемым ЗВ

С 2019 года наблюдается снижение эффективности по аммиаку и гидрохлориду; в меньшей степени — по фтористым газообразным соединениям и незначительно — по серной кислоте. Ниже проектного определены показатели эффективности по аммиаку.

Так как в 2021 году показатели степени очистки немного улучшились, появилась необходимость определить, как будет меняться степень очистки в последующие годы и будет ли необходима модернизация ГОУ. Для этого проэкстраполируем массив данных, полученный с 2013 по 2021 годы, и сделаем прогноз изменения эффективности ГОУ по пяти ЗВ на 2022-2025 годы.

Здесь учитывается, что объем выбросов и мощность производства будут оставаться на уровне 2021 года (согласно действующей документации, на предприятии расширение и увеличение объемов производства до 2025 года не планируется).

Характер изменения эффективности очистки по всем ЗВ на графиках близок к линейному, поэтому воспользуемся линейной экстраполяцией и получим следующие результаты, представленные на рисунке 2:

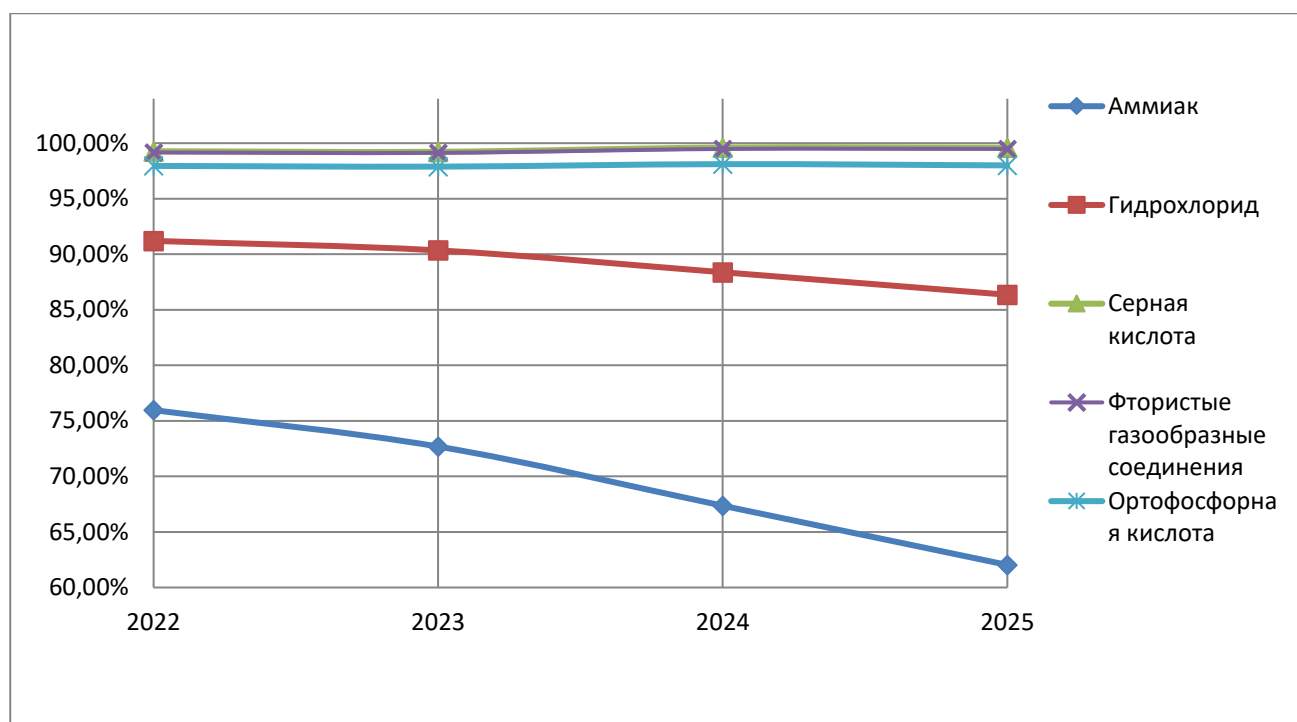


Рисунок 2. Прогноз эффективности ГОУ

На графике видно сильное снижение эффективности по аммиаку до 62% к 2025 году, что значительно ниже заявленной проектной эффективности в 90%. Также наблюдается тенденция к снижению эффективности по гидрохлориду до 86%. По серной кислоте, фтористым газообразным соединениям и ортофосфорной кислоте снижения эффективности не наблюдается: она остаётся на уровне выше 95%.

В целом, исследуемая ГОУ отвечает требованиям действующего природоохранного законодательства. Есть тенденция быстрого снижения эффективности по аммиаку, но при этом обеспечивается очистка до уровней, не превышающих предельно допустимых концентраций.

На рассматриваемом источнике загрязнения атмосферы ГОУ должны быть модернизированы. Для этого, например, могут использоваться фильтрующие элементы более высокого качества; также можно добавить дополнительную установку по очистке от аммиака. Для очистки и обезвреживания аммиака также можно использовать каталитические методы.

#### Список литературы:

1. 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. М.: Бюро НДТ, 2016.
2. ПРИКАЗ от 15 сентября 2017 года N 498 «Об утверждении Правил эксплуатации установок очистки газа».
3. Федеральный закон "Об охране атмосферного воздуха" от 04.05.1999 N 96-ФЗ (последняя редакция).

---

4. Кольцов, В. Б. Процессы и аппараты защиты окружающей среды в 2 Ч. Часть 1 : Учебник и практикум / В. Б. Кольцов, О. В. Кондратьева. – 2-е изд., пер. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2019. – 277 с. – ISBN 978-5-534-06055-3.