

УДК 504.064

ЧУДАКОВА М.А., аспирантка 2 года (НИУ МИЭТ)
Научный руководитель РЯБЫШЕНКОВ А.С., д.т.н., профессор (НИУ МИЭТ)
г. Зеленоград, г. Москва

ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЧИСТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Проблемы обеспечения экологической безопасности критичны для благополучия государства, бизнеса и общества. Для создания благоприятных условий жизни государство реализует национальные и федеральные проекты [1, 2], в рамках которых поставлены цели по сокращению выбросов, сохранению биоразнообразия и т.д. Бизнесу, в том числе такому технологичному, как предприятия микроэлектроники, необходимо вписываться в курс экологизации и реализовывать меры по обеспечению безопасности окружающей среды. Для реализации мер по снижению негативного воздействия необходимо правильно идентифицировать и оценить последнее.

Для предприятий микроэлектроники важным элементом производства являются чистые помещения. В них реализуются технологические процессы, сопровождающиеся значительными выбросами и сбросами токсичных веществ — например, от таких процессов, как травление, фотолитография, нанесение и снятие фоторезиста и т.д. Кроме того, для таких процессов необходим определённый класс чистоты воздуха, скорости потоков и освещения, для обеспечения которых требуется значительное количество электроэнергии. В данной статье предпринята попытка установить все виды экологического воздействия и представлен алгоритм по его оценке.

Чистые помещения являются основной структурной единицей предприятий микроэлектроники, воздействие которой возможно рассматривать отдельно. Ранее для оценки воздействия применялись подходы системного анализа и экспертной оценки [3,4], где авторы уже обращали внимание на оказание экологического ущерба окружающей среде и населению от воздействия функцией по удалению отработанного воздуха и называли ключевым негативным фактором выброс вредных веществ в атмосферу, что, несомненно, имеет место и что необходимо учитывать при оценке. Также и при строительстве, и при эксплуатации чистых помещений применяют методологию оценки жизненного цикла с учётом расхода энергии и материалов [5].

С точки зрения экологической устойчивости чистые помещения независимо от класса требуют значительного количества энергии. Это обусловлено необходимостью поддержания постоянной рабочей среды с контролируемыми температурой и влажностью, регулярными воздухообменом и перепадами давления, а также другими факторами. Чистые помещения могут потреблять в 30–50 раз больше энергии, чем коммерческие здания, и даже в 100 раз больше, чем офисные здания [6].

Оценка жизненного цикла в настоящее время является методом выбора для

оценки устойчивости продуктов и технологических систем, связанных с глобальной экономикой, таких как чистые помещения. Однако отсутствие стандартизации при проектировании чистых помещений представляет собой серьезную проблему для аналитиков, которые могут полагаться лишь на несколько датированных источников, ограниченные данные инвентаризации жизненного цикла (ОЖЦ) и ограниченные исследования с использованием реальных данных измерений. Такие проблемы не позволяют эффективно предвидеть, предупреждать или минимизировать воздействие на окружающую среду новых технологий, требующих чистых помещений [6].

Система кондиционирования воздуха является одним из основных источников потребления энергии в чистых помещениях: обычно на нее приходится 40–60% от общего потребления энергии в чистых помещениях. Этот феномен высокого потребления энергии в основном обусловлен необходимостью высокой скорости воздухообмена, сложных процессов обработки воздуха и непрерывной круглогодичной эксплуатации для обеспечения экологической стабильности и чистоты. Кроме того, многоступенчатая конфигурация систем фильтрации воздуха приводит к повышенному сопротивлению воздушного потока, что еще больше увеличивает потребление энергии вентиляторами. Потребление энергии системами кондиционирования воздуха в чистых помещениях даже превышает потребление энергии производственными процессами. Это явление подчеркивает критическую роль систем кондиционирования воздуха в общей стратегии управления энергией чистых помещений, выделяя насущную необходимость в эффективных стратегиях энергосберегающей эксплуатации и алгоритмах управления [7]. Высокое энергопотребление характеризует довольно высокий углеродный след чистых помещений.

Помимо потребления электроэнергии самими помещениями, важно уделить внимание специфичным технологическим процессам микроэлектроники, а именно выбросам и сбросам: хотя они и проходят очистку, часть загрязняющих веществ всё равно поступает в окружающую среду.

На основе вышеизложенного предложен алгоритм по оценке экологического воздействия, включающий оценку жизненного цикла, оценку углеродного следа и учёт выбросов и сбросов. Алгоритм оценки представлен на рисунке 1.

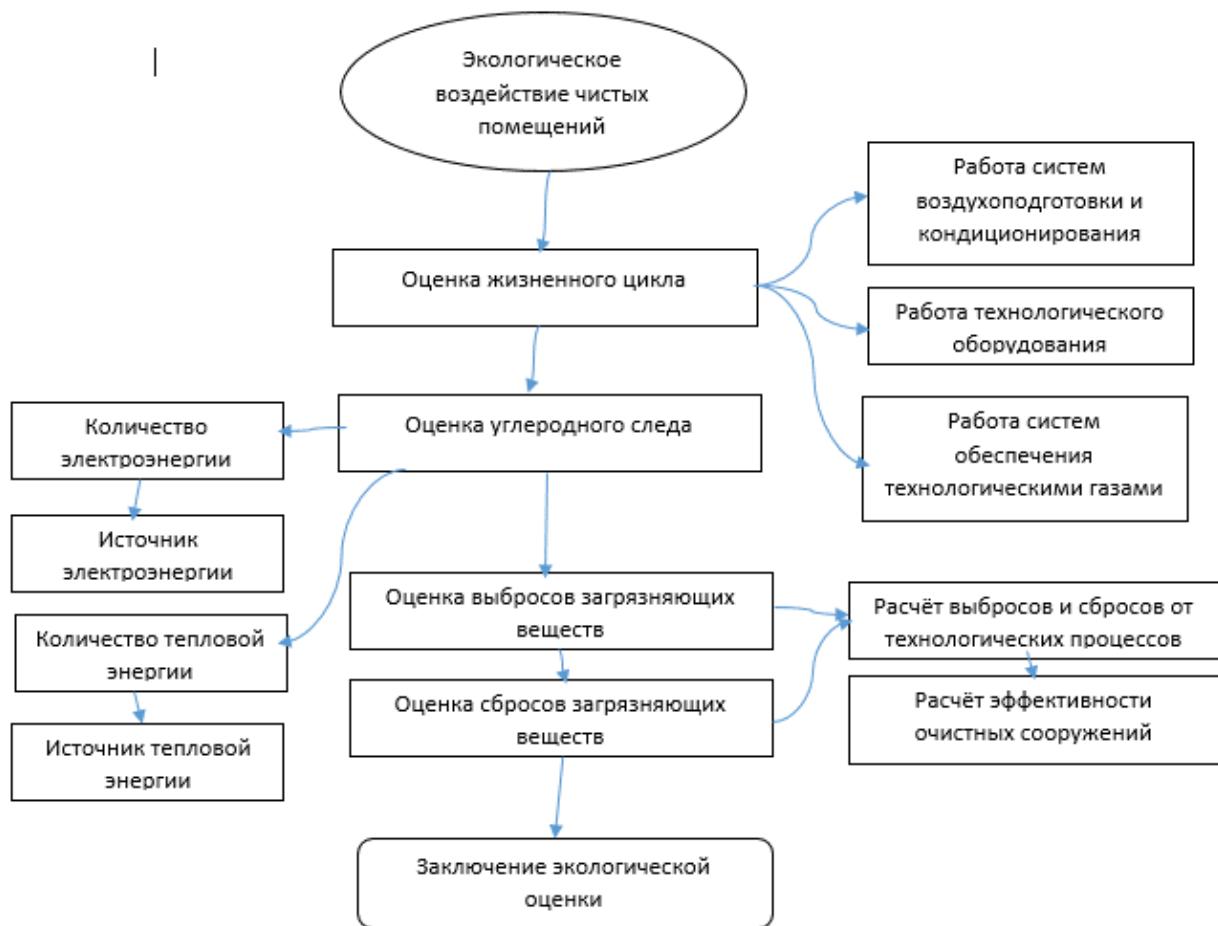


Рисунок 1. Оценка экологического воздействия чистых помещений

Представленный алгоритм можно использовать при модернизации чистых помещений и технологических процессов для оценки экологической составляющей, а также в целях оптимизации и выявления критических точек в управлении углеродным следом и уровнем экологической безопасности предприятия.

Итак, чистые помещения предприятий микроэлектроники являются значительным источником экологического воздействия. Это воздействие носит комплексный характер и складывается из двух основных составляющих: прямых выбросов и сбросов от технологических процессов и косвенного воздействия, связанного с высоким энергопотреблением инженерной инфраструктуры.

Существующие методы оценки, такие как ОЖЦ, сталкиваются с проблемой недостатка данных. Отсутствие стандартизации в проектировании и ограниченность репрезентативных данных измерений затрудняют точную и прогнозную оценку экологического следа, что, в свою очередь, мешает эффективному планированию мер по его снижению.

Для решения выявленных проблем в работе предложен комплексный алгоритм оценки экологического воздействия. Данный алгоритм интегрирует оценку жизненного цикла, расчет углеродного следа и учет специфических выбросов/сбросов загрязняющих веществ, что позволяет получить

всестороннюю количественную оценку и идентифицировать наиболее значимые «точки» для применения природоохранных технологий.

Таким образом, переход к экологически устойчивому производству в микроэлектронике требует обязательного учета и оптимизации воздействия чистых помещений, а предложенный алгоритм может служить инструментом для принятия обоснованных управленческих решений в этой области.

Список литературы:

1. Национальный проект «Экологическое благополучие» [Электронный ресурс]: URL: <https://национальныепроекты.рф/new-projects/ekologicheskoe-blagopoluchie/> (Дата обращения: 1.11.2025).
2. Федеральный проект «Чистый воздух» [Электронный ресурс]: URL: <https://mnr-air.ru/home> (Дата обращения: 1.11.2025).
3. Дисветова Наталия Максимовна ФУНКЦИОНАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЧИСТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ // Известия вузов. Электроника. 2017. №1.
4. Рябышенков Андрей Сергеевич СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЧИСТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ // Известия вузов. Электроника. 2016. №3.
5. Partonia P. et al. Evaluation of environmental impacts of cleanroom construction with a life cycle analysis approach based on energy and material consumption //Scientific Reports. – 2024. – Т. 14. – №. 1. – Р. 31929.
6. Lian J. Z. et al. Quantifying the present and future environmental sustainability of cleanrooms //Cell Reports Sustainability. – 2024. – Т. 1. – №. 9.
7. Zeng X. et al. Energy Efficiency Optimization of Air Conditioning Systems Towards Low-Carbon Cleanrooms: Review and Future Perspectives //Energies. – 2025. – Т. 18. – №. 13. – Р. 3538.

Аннотация

Статья посвящена анализу проблемы экологического воздействия на окружающую среду чистых помещений предприятий микроэлектроники. Выявлено две составляющие негативного воздействия – потребление электроэнергии, а также выбросы и сбросы технологических процессов, реализуемых только в чистых помещениях и связанных с их работой. Предложен алгоритм в дополнение к оценке жизненного цикла для оценки экологического воздействия, а именно оценка углеродного следа и расчёт выбросов и сбросов загрязняющих веществ от технологических процессов в чистых помещениях.