

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА. ЗАЩИТА ОТ СМОГА И ЗАГРЯЗНЕНИЙ.

Галяк И.П. Манкевич Р.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Воробей А.В. – магистр технических наук, ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье проведен обзор современных технологий очистки воздуха, направленных на снижение уровня загрязнения в городах. Рассмотрены фотокаталитические очистители, использующие диоксид титана (TiO_2) для разложения органических загрязнителей, а также инновационные решения Smog Free Tower и CityTree, применяющие методы ионизации и биофильтрации соответственно. Оценены принципы работы, эффективность, преимущества и ограничения данных технологий. Отмечена важность их интеграции в городскую среду для улучшения качества воздуха и снижения негативного воздействия загрязняющих веществ на здоровье населения.

Ключевые слова: очистка воздуха, фотокаталитические очистители, диоксид титана (TiO_2), Smog Free Tower, CityTree, ионизация, биофильтрация, загрязнение воздуха, PM_{2.5}, PM₁₀, экология, урбанизированная среда, городская инфраструктура

Введение. Загрязнение воздуха в городах остается одной из наиболее актуальных экологических проблем современности. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), около 91% городского населения мира проживает в условиях, где уровень загрязнения воздуха превышает безопасный. Также каждый год по причине загрязнения воздуха умирает около 8 млн человек. Это объясняет важность разработки и внедрения современных технологий очистки воздуха, которые помогают городам бороться со смогом и загрязнениями.

Основная часть. Фотокаталитические очистители воздуха представляют собой устройства, в основе которых главным действующим веществом является диоксид титана (TiO_2). Под воздействием света этот материал разлагает органические загрязнители, обеспечивая эффективную очистку воздуха от токсичных соединений. Одним из главных преимуществ такой технологии является способность уничтожать бактерии, вирусы, споры грибов, летучие органические соединения (ЛОС) что делает фотокаталитические системы более действенными по сравнению с традиционными механическими фильтрами.

В отличие от угольных фильтров, которые поглощают вредные вещества, фотокатализ нейтрализует их на молекулярном уровне, обеспечивая очистку воздуха в 500 раз эффективнее. Они также отличаются высокой энергоэффективностью, поскольку не нуждаются в мощных насосах для прокачки воздуха через плотные фильтры.

Несмотря на многочисленные преимущества, у фотокаталитических очистителей есть и ряд недостатков. Они неэффективны против неорганических загрязнителей, таких как строительная пыль, песка. Кроме того, их действие распространяется не только на вредные, но и на полезные микроорганизмы, что может негативно сказаться на микрофлоре помещения, особенно в домах с детьми и людьми с ослабленным иммунитетом. Для достижения максимального эффекта очистки воздуха рекомендуется сочетать фотокаталитические фильтры с HEPA-фильтрами, способными задерживать твердые частицы, такие как PM_{2.5} и PM₁₀ [1].

Принцип работы фотокаталитических покрытий основан на способности TiO_2 поглощать ультрафиолетовое излучение с длиной волны менее 387 нм. При этом в материале происходят переходы электронов из валентной зоны в зону проводимости, что приводит к образованию электронно-дырочных пар. Эти свободные электроны и дырки взаимодействуют с молекулами воды и кислорода на поверхности TiO_2 , образуя

гидроксильные радикалы ($\text{OH}\cdot$) и супероксидные анионы (O_2^-), которые обладают высокой окислительной способностью. В результате активные радикалы разрушают органические молекулы, превращая их в безвредные соединения – углекислый газ (CO_2) и воду (H_2O). Принцип работы фотокаталитического покрытия на рисунке 1.

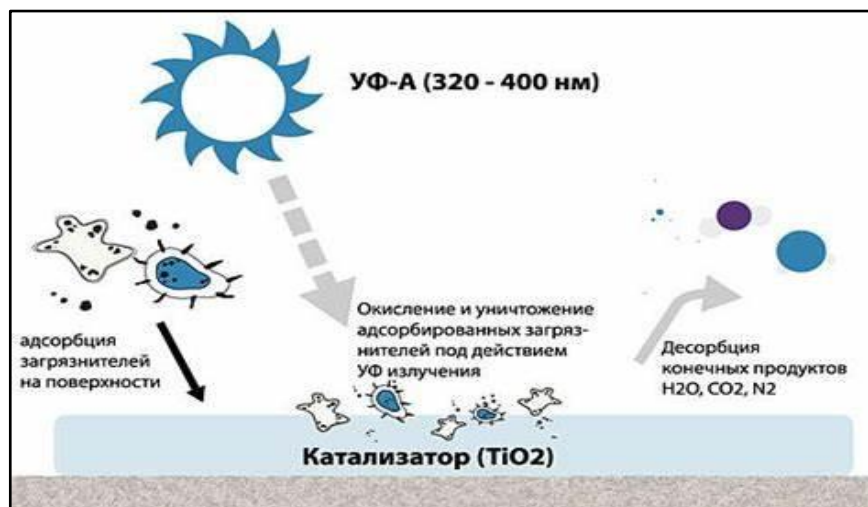


Рисунок 1 – Принцип работы фотокаталитических покрытий

Фотокаталитические технологии активно применяются в современных воздухоочистителях, которые сочетают несколько типов фильтрации. Например, NeoClima NCC-968 – multifunctional station, объединяющая фотокаталитический, HEPA и угольный фильтры, а также выполняющая функции увлажнителя, озонатора и ионизатора. Это устройство рассчитано на помещения до 45 м^2 , а его стоимость составляет 396-429 белорусских рублей.

Другой пример – Foxcleaner Ion, который использует четырехступенчатую систему фильтрации, включая фотокаталитический, HEPA, электростатический и угольный фильтры. Он дополнительно оснащен функциями ионизации и увлажнения воздуха, что делает его эффективным для помещений до 20 м^2 при стоимости около 215 рублей.

Для более крупных помещений, включая образовательные и медицинские учреждения, подойдет Daikin MCK75JVM-K, обладающий высокой производительностью ($450 \text{ м}^3/\text{ч}$) и оснащенный функцией автоматического определения уровня загрязнения воздуха. Эта модель включает ионизацию, увлажнение и защиту от детей, а ее стоимость составляет около 1 617 рублей. Среди компактных решений можно выделить Timberk TAP FL150 SF, предназначенный для помещений до 25 м^2 . Он оснащен фотокаталитическим и HEPA-фильтром, имеет электронное управление и таймер, а его стоимость варьируется в пределах 215–248 рублей [2].

Фотокаталитические покрытия на основе TiO_2 представляют собой перспективное решение для очистки воздуха от органических загрязнителей, бактерий и вирусов. Однако их ограниченная способность к удалению твердых частиц требует сочетания с HEPA-фильтрами, особенно в условиях городского смога.

Smog Free Tower. Smog Free Tower, разработанная голландским дизайнером Дааном Розегаарде, представляет собой инновационную установку для очистки воздуха, использующую технологию ионизации. Её изображение представлено на рисунке 2.

Башня применяет принцип положительной ионизации, при котором загрязняющие вещества, включая частицы $\text{PM}_{2.5}$ и PM_{10} , захватываются с помощью ионов, созданных в установке. В процессе работы положительные ионы притягивают отрицательно заряженные частицы загрязненного воздуха, которые оседают на электродах внутри башни, в то время как очищенный воздух выбрасывается обратно в атмосферу. Этот процесс

позволяет снизить концентрацию твердых частиц в воздухе на 75%, что значительно улучшает качество воздуха в городах с высоким уровнем загрязнения.



Рисунок 2 – Smog Free Tower

Smog Free Tower очищает до 30 000 м³ воздуха в час. Установка требует относительно низкого энергопотребления – около 1400 Вт·ч, что меньше, чем потребление обычного масляного обогревателя [3]. Финансирование проекта частично осуществляется за счет продажи ювелирных изделий, изготовленных из углерода, извлеченного из загрязненного воздуха. Собранная пыль уплотняется до состояния твердого вещества, после чего упаковывается в герметичную оболочку из прозрачного пластика [4]. В условиях современных мегаполисов с высокой концентрацией загрязняющих веществ, Smog Free Tower представляет собой решение, способное существенно снизить уровень загрязнения, не требуя при этом больших затрат на эксплуатацию и обслуживание [5].

Основной механизм работы CityTree заключается в том, что растения поглощают углекислый газ и другие загрязняющие вещества через фотосинтез, а активная фильтрация удаляет частицы PM2.5 и PM10. Структура башни представлена в разрезе на рисунке 5. Для фильтрации используется система активных фильтров, которая работает совместно с растениями, что позволяет значительно повысить эффективность очистки.

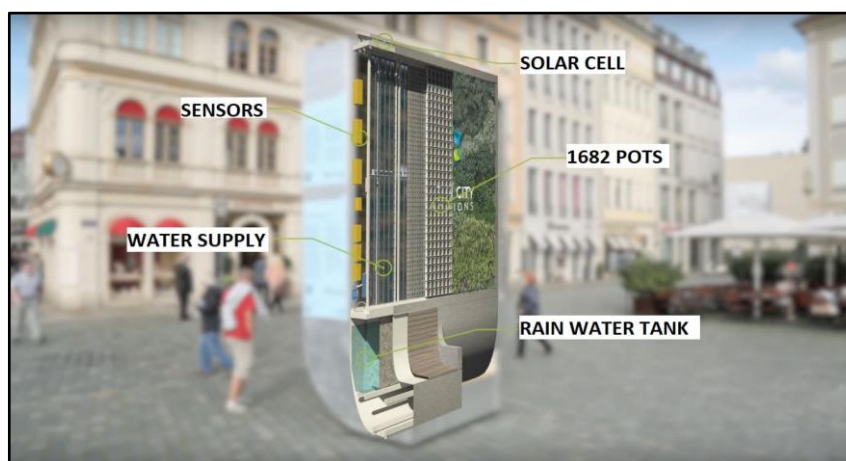


Рисунок 3 – Структурная составляющая CityTree

Один такой модуль эквивалентен по эффективности 275 деревьям, что позволяет существенно улучшить качество воздуха в условиях урбанизированной среды. Стоимость одного модуля составляет около \$25 000, что делает его доступным решением для городских властей, а эксплуатационные расходы – примерно \$1 000 в год. Срок службы

установки составляет 8-10 лет, что делает её долгосрочным решением для устойчивого улучшения качества воздуха [6].

Модуль способен очищать воздух от загрязняющих веществ в наиболее загрязнённых районах города. Множество таких установок уже работает в крупных европейских городах, включая Лондон, Париж и Осло. CityTree является важным инструментом для борьбы с городской загрязнённостью и может быть использован в качестве временного или постоянного решения для очистки воздуха в специфических районах, где традиционные методы очистки не всегда эффективны или экономически оправданы.

Заключение. Очистка воздуха в городах становится приоритетной задачей, учитывая рост загрязнения и его влияние на здоровье людей. Фотокаталитические очистители, Smog Free Tower и CityTree демонстрируют инновационные подходы к решению этой проблемы, снижая уровень вредных частиц и улучшая качество воздуха.

Список литературы

1. Как фотокаталитический фильтр чистит воздух [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://xn--90aifdm6al.xn--p1ai/blog/fotokataliticheskij-filtr>. Дата доступа: 20.03.2025
2. Как правильно выбрать фотокаталитические очистители воздуха [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://myprofstail.ru/blog/2021/12/14/kak-pravilno-vybrat-fotokataliticheskie-ochistiteli-vozduha>. Дата доступа: 20.03.2025
3. Smog Free Tower – самая большая в мире установка по очистке воздуха от смога [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://econet.ru/articles/104457-smog-free-tower-samaya-bolshaya-v-mire-ustanovka-po-ochistke-vozduha-ot-smoga>. Дата доступа: 20.03.2025
4. Проект Smog Free Tower превратит пекинский смог в ювелирные украшения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/dronk/articles/395857/>. Дата доступа: 20.03.2025
5. Установка из мха CityTree для очистки воздуха [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sad.ukr.bio/ru/news/18510>. Дата доступа: 20.03.2025
6. CityTree: the air pollution startup with the purifying power of 275 trees [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://docs.google.com/document/d/1mGRZorcE1_8GsAOBHaHj-GoFyjsRA3sIX9CSKS6IJ-Y/edit?tab=t.nvys69thc7qe. Дата доступа: 20.03.2025.

UDC 48.6340.4

MODERN AIR PURIFICATION TECHNOLOGIES. PROTECTION FROM SMOG AND POLLUTION.

Haliak I.P. Mankevich R.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Vorobey A.V. – Master of Sci., assistant of the Department of EPE

Annotation. The article provides an overview of modern air purification technologies aimed at reducing urban pollution. Photocatalytic cleaners using titanium dioxide (TiO₂) to decompose organic pollutants, as well as innovative solutions from Smog Free Tower and CityTree using ionization and biofiltration methods, respectively, are considered. The principles of operation, efficiency, advantages and limitations of these technologies are evaluated. The importance of their integration into the urban environment to improve air quality and reduce the negative impact of pollutants on public health was noted.

Keywords: air purification, photocatalytic purifiers, titanium dioxide (TiO₂), Smog Free Tower, CityTree, ionization, biofiltration, air pollution, PM_{2.5}, PM₁₀, ecology, urban environment, urban infrastructure