



## Фотокаталитическое окисление – опасное побочное действие

Исследования, проведенные Национальной лабораторией Лоренса Беркли, показали, что метод фотокаталитического окисления уменьшает количество летучих органических соединений в воздухе помещения, но производит формальдегид как побочный продукт.

**Ф**отокаталитическое окисление (ФКО) является новой многообещающей технологией для уменьшения летучих органических соединений (ЛОС) в воздухе помещения. Во время этого процесса происходит воздействие ультрафиолетовых лучей на катализатор, такой как двуокись титана, с тем, чтобы производить гидроксильные радикалы (ОН). Эти гидроксильные радикалы очень реактивны и могут окислять или расщеплять типичные для воздуха помещения ЛОС.

Исследование, проведенное американскими учеными Ходгсоном, Силиваном и Фиском (A.T. Hodgson, D.P. Sullivan and W.J. Fisk), называется «Оценка возможности применения метода фотокатализа в помещении: преобразование летучих органических соединений при низких концентрациях ppb (частич на миллиард частиц)» («Evaluation of ultra-violet photocatalytic oxidation (UVPCO) for indoor air applications: conversion of volatile organic compounds at low part-per-billion concentrations» (LBNL-58936)). Целью исследования было определить, можно ли применять этот процесс для уменьшения количества ЛОС в воздухе офисного помеще-

ния с тем, чтобы с наименьшими энергетическими затратами соединить метод фотокатализа с фильтрацией, не полагаясь только на вентиляцию.

Исследования выявили, что большинство проведенных ранее исследований этой технологии были сделаны в лабораторных условиях. Подавляющее большинство исследований использовали только несколько основных загрязняющих ЛОС воздуха помещения с тем, чтобы лучше понять этот процесс. Данные исследования проводились таким образом, чтобы смоделировать низкие концентрации ЛОС, которые могут встречаться в реальности в воздухе помещения.

Теоретически, все ЛОС должны быть разложены в конечном итоге на углекислый газ и воду. Тем не менее, во многих случаях до того, как подойти к своей конечной фазе, эта реакция может быть комплексной и проходит через несколько стадий, во время которых могут образовываться достаточно стабильные промежуточные побочные продукты. Вопрос в том, способен ли фотокаталитический процесс проходить достаточно быстро и полностью нейтрализовать эти ЛОС, а не производить вредные

ЛОС как непредвиденный побочный продукт.

Чтобы исследовать это, были созданы три группы смесей ЛОС. Первая была комбинацией из 27 ЛОС, которые обычно присутствуют в воздухе офисных помещений. Вторая была смесью наиболее часто применяемых чистящих средств (очистителя на основе масла сосны, очистителя с использованием 2-бутоксигэтанол и очистителя с применением d-лимонена (апельсиновое масло)). Третья группа была создана из ЛОС, образующихся от строительных материалов, таких как крашенные стены, композитное дерево, ковры и виниловые покрытия. Поток воздуха и концентрация ЛОС менялись для каждой смеси, с тем, чтобы получить всего девять экспериментов. Были проведены замеры ЛОС на входе и выходе воздушного потока. Были проведены также другие эксперименты только со смесью формальдегидов, ацетальдегидов и фотокаталитического устройства.

Обычно эффективность преобразования ЛОС варьирует в зависимости от типа ЛОС и скорости воздушного потока. Интересно, что концентрация ЛОС не сильно влияет на результат. Независимо от увеличения концентрации ЛОС в два и три раза, поток подаваемого воздуха (ППВ) оставался одинаковым. Для группы чистящих средств эффективность очистки составила от 20 до 80%. Для строительных материалов — от 18 до 49%. Смесь альдегидов — эффективность от 18 до 49%. Обычно эффективность распада падала в следующем порядке: более эффективными распадались спирты и гликоли, нежели альдегиды, кетоны и терпеноуглеводороды, затем шли ароматические и алифатические углеводороды. В принципе, уровень преобразования внушал оптимизм, и авторы отмечают, что метод фотокатализа (ФК) может привести к энергосбережению.

Тем не менее, во время эксперимента вскрылись факты, которые привели ученых в замешательство. Исследователи обнаружили, что в результате неполной декомпенсации ЛОС, находящихся в воздушном потоке, на входе была чистая продукция формальдегидов, ацетальдегидов, муравьиной и уксусной кислот. В частности, концентрация формальдегидов и ацетальдегидов на выходе была в 3,4 и 4,6 раз выше соответственно. И формальдегиды, и ацетальдегиды признаны очень опасными токсическими веществами в воздухе внутреннего помещения. Формальдегиды классифицированы как канцерогены для человека. Правительственными директивами предписано поддерживать количество формальдегидов и ацетальдегидов на очень низком уровне.

Во время, как при попадании ЛСО на ФК-устройство образует формальдегиды и ацетальдегиды, ФК также раскладывает эти компоненты. Вопрос в том, увеличивается или нет в воздухе помещения количество этих веществ. Использо-

вывая моделирование, основанное на результатах экспериментов, авторы пришли к выводу, что при использовании метода ФК в офисном здании произойдет трехкратное увеличение содержания формальдегидов и ацетальдегидов в воздухе (в зависимости от концентрации и типа ЛОС).

В заключении исследователи пишут, что во время, как применение ФК-устройства может являться полезным для улучшения широкомасштабного улучшения качества воздуха в помещениях, где находятся люди, увеличение количества формальдегидов и ацетальдегидов в воздухе требует лучшего и дальнейшего изучения. Принимая во внимание эксперименты и расчеты, исследователи считают, что получение альдегидов является очень серьезной причиной для того, чтобы не рекомендовать этот метод для использования в настоящее время. Необходимо провести дальнейшее изучение, с тем, чтобы либо уменьшить количество формальдегидов и ацетальдегидов, либо соединить эту технологию с применением газоочистителей, для улавливания токсичных побочных продуктов до того, как они будут возвращены обратно в помещение.

Во время исследования были применены несколько скоростей подачи воздуха на ФК-устройство. Значительное уменьшение в проценте расщепленных ЛОС было замечено при увеличении скорости подачи воздуха. Причина в том, что ЛОС будут присутствовать в устройстве ФК меньшее количество времени. Еще большая проблема видится в том, что высокой скоростью для эксперимента считалось всего 570 м<sup>3</sup>/ч. Большинство систем в жилых зданиях производят по крайней мере 1680 м<sup>3</sup>/ч, во время как в коммерческих — обычно 3360 м<sup>3</sup>/ч. На таких еще более высоких скоростях подачи воздуха, чем в эксперименте, можно предположить, что процент разложения веществ будет еще ниже, а количество побочного продукта еще больше, но эти выводы требуют дополнительного экспериментального подтверждения.

Данное исследование поставило ряд вопросов о применении ФК для очистки воздуха в помещениях, где находятся люди. Ряд компаний производят и продают эти устройства для применения в жилых домах, офисах и других коммерческих зданиях. Они делают это, предполагая, что их устройства работа-

ют эффективно и безопасно. По поводу того, производят эти устройства или нет нежелательные вещества, как побочный продукт, не было проведено ни одного эксперимента. Список производителей ФК-установок растет день ото дня. Данное исследование подняло много вопросов по поводу эффективности и безопасности ФК-метода.

Еще один вопрос, над которым стоит задуматься, — это применение фотокатализа в помещениях, где курят. Уменьшение неприятных запахов в таких помещениях, как бары, рестораны и дома, где есть курящие, звучит заманчиво. Тем не менее, сигаретный дым включает в себя более 1000 различных химических веществ. Отсутствуют хорошие научные исследования по поводу того, что происходит после реакции в ФК-устройстве с этими 1000 с лишним химическими веществами, а также с гидроксильными радикалами и другими реактивными кислородными видами (РКВ) после их выхода из ФКУ. Уже есть исследование по поводу того, как влияет озон (еще один РКВ) на сигаретный дым, и результаты вышеупомянутого исследования, так что самое меньшее, что можно предположить — это то, что как побочный продукт сигаретного дыма мы будем иметь формальдегиды. Какие еще побочные продукты, их количество, а также возможные другие мельчайшие частицы могут образовываться, — все это требует дальнейшего изучения.

Из исследования можно сделать вывод, что воздух помещения — это сложная субстанция, поэтому производить химические реакции с ним достаточно опасно. То, что вы хотите получить, не всегда совпадает с тем, что вы получаете. Продукты химической реакции могут быть еще опаснее, и намного опаснее, чем вступающие в реакцию вещества. Несмотря на то, что ФК является многообещающим изобретением, он еще до конца не изучен, нельзя говорить о возможности его широкого применения в помещениях, где находятся люди. □

1. Evaluation of Ultra-Violet Photocatalytic Oxidation (UVPKO) for Indoor Air Applications: Conversion of Volatile Organic Compounds at Low Part-per-Billion Concentrations.
2. Alfred T. Hodgson, Douglas P. Sullivan, and William J. Fisk.
3. Indoor Environment Department, Environmental Energy Technologies Division, E.O. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, USA. September 30, 2005.