

Использование новых типов полимерных насадок в биофильтрах

Долгов Антон Анатольевич, Аспирант
 Загустина Наталья Алексеевна, к.б.н., старший научный сотрудник
 Институт биохимии им. А. Н. Баха РАН
 Беренгартен Михаил Георгиевич, к.х.н. проф.
 Московский политехнический университет

Аннотация. Изложены основные аспекты работы биофильтров. Приведены результаты исследований насадки из полимерных монолитов для использования их в качестве основы для биофильтров.

Ключевые слова: биофильтры, биопенка, полимерные насадки, массообмен.

Введение

Очистка газов от летучих органических соединений (ЛОС) — одна из актуальных проблем для химических и нефтехимических производств, смежных отраслей промышленности, сбрасывающих в воздушный бассейн значительные количества газообразных органических загрязнений, в том числе галогенпроизводных и ароматических углеводородов (дихлорметан, дихлорэтан, толуол, стирол, бензол и др.). Необходимость контроля и очистки газов от ЛОС, являющихся по данным ВОЗ опасными для здоровья, закреплены на законодательном уровне РФ и других стран.

Метод биологической очистки газа (биофильтрация) может быть применен при очистке выбросов химических, нефтеперерабатывающих предприятий, в том числе полимерных и лакокрасочных производств. В процессе биофильтрации не продуцируются вторичные загрязнения, поэтому процесс является экологически безопасным. Важным преимуществом биофильтрации являются малые капитальные и эксплуатационные затраты. Также биологические методы очистки газа являются наименее энергоемкими и устойчиво работают при очистке выбросов от многокомпонентных смесей, в том числе при низких концентрациях загрязняющих веществ (ЗВ) (0,001 до 1 г/м³) [1].

В последние годы возникла и приобретает всё большее значение проблема так называемого «обонятельного дискомфорта», связанная с попаданием в воздух веществ, преимущественно ЛОС, обладающих стойким и специфическим запахом. С этой проблемой столкнулись, в первую очередь, предприятия пищевой промышленности, муниципальные предприятия по очистке сточных вод и переработке, утилизации ТБО [2].

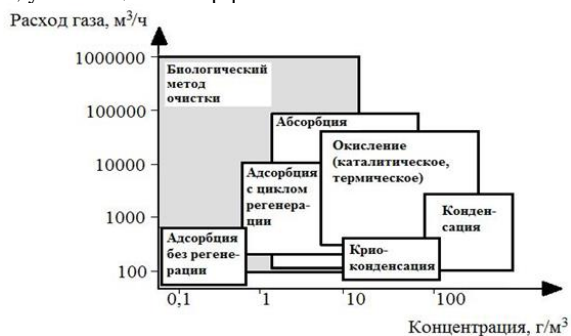


Рис. 1. Границы применимости газоочистных методов.

Абсорбция, адсорбция, термическое и каталитическое окисление, озонирование являются относительно эффективными методами с высокой производительностью при улавливании и/или удалении загрязняющих воздух ЛОС. Данные методы очистки не могут рассматриваться, как

полностью экологически безопасные, так как генерируют вторичные отходы: абсорбция — жидкие, адсорбция — твердые, окислительные методы — газообразные. Кроме того, при очистке больших объемов выбросов с низкими концентрациями ЗВ данные методы очистки выбросов следует признать невыгодными. Отмеченных недостатков лишены биофильтрационные методы очистки газов.

Многими исследователями биологическая очистка газа признается одной из самых дешевых, во многом это связано с саморегулированием процесса и относительной неприхотливостью микроорганизмов, что в целом приводит к простой в обслуживании системы [4].

Таким образом, проведенный сравнительный анализ методов очистки выбросов от ЛОС показывает актуальность выбора биофильтрации. Биофильтрация пригодна в области концентраций 50–1000 мг/м³, когда альтернативные методы, становятся экономически неэффективными, при этом биофильтрация отличается экологической безопасностью [5].

Функции насадок и основные требования, предъявляемые к насадкам для газоочистных биофильтров

Авторами работ по биофильтрации выделяются следующие основные функции насадок для биофильтров:

- обеспечение иммобилизации клеток активных микроорганизмов в виде биопенки;
- равномерное распределение газовой воздушного потока в пределах площади поперечного сечения слоя насадки с минимальным перепадом давления;
- равномерное распределение растворенных питательных веществ, подаваемых на поверхность слоя насадки;
- поддержание влажности посредством удерживающей способности насадки по жидкости;
- предотвращение накопления избыточной биомассы, приводящего к зарастанию насадки;
- обеспечение контакта между загрязнителями, содержащимися в газовой воздушном потоке, и биопенкой [6].

Для выполнения данных функций к насадкам для биофильтров предъявляются следующие требования:

- высокая удельная поверхность;
- большая доля свободного объема;
- низкое гидравлическое сопротивление;
- отсутствие застойных зон;
- низкая стоимость на единицу объема насадки.
- высокая пористость и размер пор;
- материал насадки не должен уплотняться и терять свою форму с увеличением количества биомассы на его поверхности.

Для повышения эффективности процесса иммобилизации бактериальных клеток материал поверхности насадки должен [7].

- быть шероховатым;
- иметь поверхностный заряд, противоположный заряду клеточной стенки микроорганизмов;
- быть химически инертным, биологически безопасным (без выделения каких-либо токсичных соединений, мономеров, сополимеров и т.п.);
- быть стойким к воздействию микроорганизмов[8].

Гидродинамические характеристики насадок

От гидродинамических характеристик насадки зависит энергоёмкость процесса, а также равномерность распределения жидкой и газовой фаз. Сопротивление насадки, создаваемое газовому потоку, сказывается на затратах элек-

троэнергии при работе воздуходувок. От равномерности распределения жидкой и газовой фаз зависит равномерность обрастания насадки биопленкой, что исключает пропуск неочищенного газового потока. Проведенный литературный анализ не выявил представленных подходов к изучению и широкому описанию гидродинамических характеристик биофильтрационных насадок.

Проведя изучение теоретического материала по процессу биофильтрации, нами было принято решение произвести исследования степени очистки стирола в биофильтрах на основе полимерных мононитей

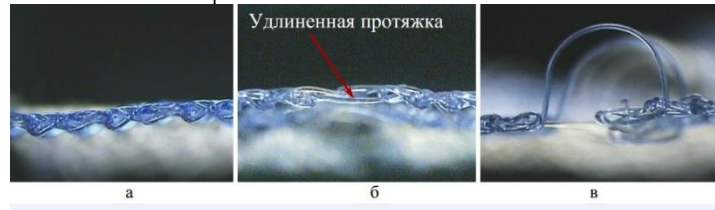


Рис. 2. Структура спроектированного переплетения из полимерных мононитей $d=0,07$ мм после термофиксации в разрезе: исходное (а), с удлиненными протяжками при сдвиге ушковой гребенки на один (б) и три игольных шага (в).

Пример материала для изготовления насадки представлен на рис.2, он имеет следующие характеристики: диаметр мононити 0,1 мм; линейная плотность мононити 10,4; петельный шаг 2,1 мм; высота петельного ряда 0,7 мм; плотность вязания: по вертикали 152 пет/100мм, по горизонтали 48 пет/100мм; размер ячеек 0,1-0,7 мм²; поверхностная плотность 62,3 г/м²; толщина 0,31 мм; объёмная пористость полотен 87,5%.

На первом этапе исследования производился анализ исследуемой насадки на гидравлическое сопротивление. Минимальное изменение перепада давления в колонне при различных условиях опыта, говорит о низком гидравлическом сопротивлении материала, что является ещё одним плюсом в вопросе использования материала в биофильтрах. На рисунке 3 представлен график зависимости перепада давления от количества подаваемого воздуха при различных условиях орошения.

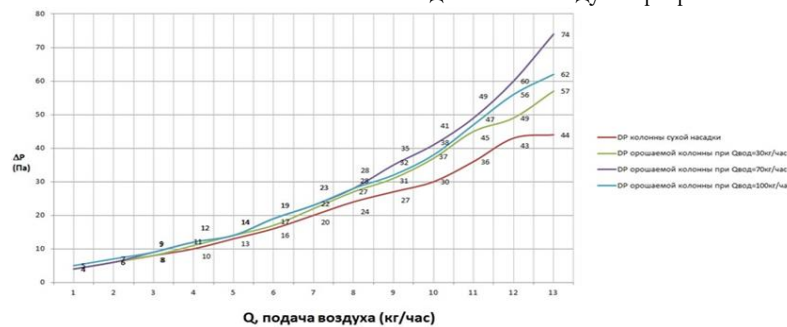


Рис. 3. Представлен график зависимости перепада давления от количества подаваемого воздуха при различных условиях орошения.

На втором этапе исследования был создан лабораторный биофильтр представленный на рис. 4.

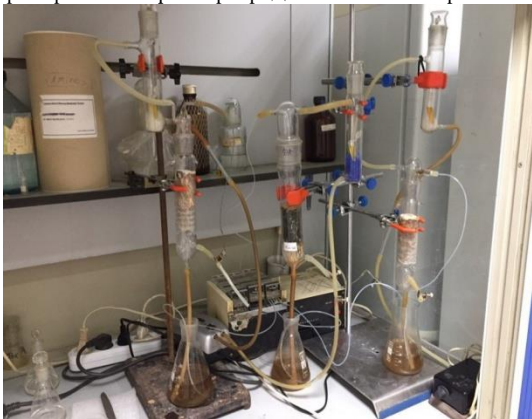


Рис. 4. Лабораторный биофильтр.

Параллельно проводилось исследование в трех биофильтрах. Насадки в фильтрах состояли из

исследуемого материала(полимерные моно нити) в разных формах усадки и пенополиуретана. Данные так же сравнивались с уже изученными материалами по очистки загрязнителей в биофильтрах на основе угля.

Основные зависимости, полученные в результате исследования, представлены в работах [8,9].

На рис.5 представлены зависимости объёмных коэффициентов массопередачи для исследуемых насадок от скорости газового потока.

На стадии абсорбции увеличение скорости газового потока приводит к интенсификации массообмена. Для стадии биодegradации увеличение скорости газового потока приводит к уменьшению времени контакта ЗВ с клетками микроорганизмов, которого может быть недостаточно для полного окисления ЗВ в процессе ферментативной реакции. Таким образом в процессе биофильтрации нет возможности увеличивать скорость очищаемого потока, а значит и производительность биофильтра, без уменьшения эффективности очистки (без проскока неочищенного газа).

Таблица 1. Геометрические характеристики исследуемых насадок

Насадка	Удельная Поверхность, $a, \text{м}^2/\text{м}^3$	Порозность, $\epsilon, \text{м}^3/\text{м}^3$	Эквивалентный диаметр, $d_e, \text{м}$
ПМН _{пл} (плотная укладка)	1320	0,89	0,0027
ПМН _р (разреженная укладка)	510	0,98	0,0077
ППУ (регулярной укладки)	863	0,9	0,0045
Зерна угля	1260	0,40	0,0013

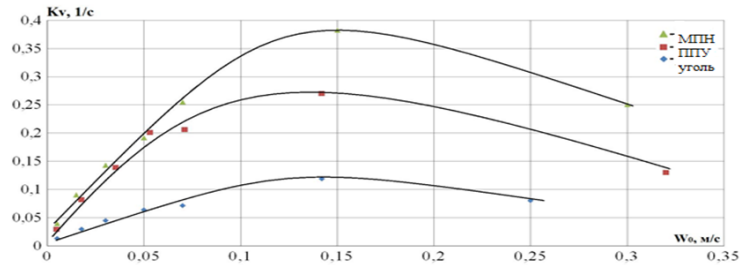


Рис. 5. Зависимость объемного коэффициента массопередачи от скорости газового потока

Зависимость коэффициента массопередачи от концентрационной нагрузки

Влияние ингибирования реакции ферментации на коэффициент массопередачи можно установить в результате анализа зависимости коэффициента массопередачи от концентрационной нагрузки. На рис. 10 представлена зависимость объемного коэффициента массопередачи от концентрационной нагрузки. В качестве загрязнителя газозоудушной смеси использовали стирола концентрацией от 50 до 1000 мг/м³, $W_0 = 0,005 \text{ м/с}$.

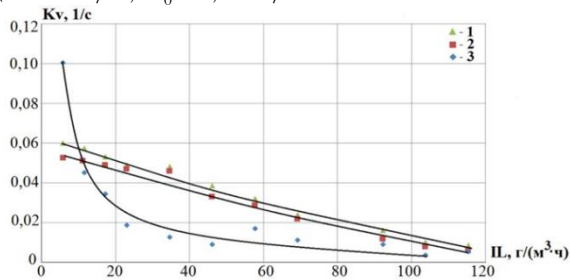


Рис. 6. Зависимость коэффициента массопередачи от концентрационной нагрузки по стирулу: 1 – ПМН; 2 – ППУ; 3 – уголь

Для чистоты проведения эксперимента по определению допустимой концентрации ЗВ было исключено влияние времени пребывания на процесс биофильтрации по-

Литература:

1. Жуков В.Г. Микробиологические методы очистки промышленных вентиляционных выбросов от летучих примесей. Возможности и перспективы практического использования технологии «БИОРЕАКТОР» для борьбы с промышленными загрязнениями атмосферы. Наука Москвы и регионов, научно-технический журнал (инновации, разработки, производство). 2003. № 3.–68 С.
2. Ottengraf, S.P.P. Kinetics of organic compound removal from waste gases with a biological filter / S.P.P. Ottengraf, A.H.C. van der Oever // Biotechnology and Bioengineering. – 1983. – Vol. 25(6). – P. 3089–3102.
3. Govind, R. Selection of Bioreactor Media for Odour Control. Berlin: Springer-Verlag. – 2005. – P. 65–100.
4. Кафаров, В.В. Основы массопередачи: системы газ-жидкость, пар-жидкость, жидкость-жидкость. Учебное пособие для вузов. Издание 3-е, переработанное. Москва: Высшая школа, 1985. – 496 с.
5. Devigny, J.S. Biofiltration for air pollution control. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 1999. – 318 p.
6. Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической технологии 3-е изд., стерео-тип. М: Химия, 1987. – 496 с.
7. Бирюков, В.В. Основы промышленной биотехнологии. Москва «Колос» «Химия», 2004. – 296 с.
8. Беренгартен М.Г. Долгов А.А., Основы процесса массообмена в биофильтрах для очистки газовой среды. Актуальные вопросы в науке и практике. Научное издательство «Вестник науки» Том №1 2017г – 47-55 с .
9. Совершенствование процесса очистки газов от летучих органических соединений в фильтрах с орошаемой насадкой. Диссертация Митин А.К. Москва 2016.

средством уменьшения скорости газового потока до минимальных значений – 0,005–0,01 м/с.

Концентрация стиrolа в ГВС составляла в наших опытах от 50 до 1000 мг/м³. Эффективность очистки на исследуемых насадках от стиrolа находилась в пределах 70–96 % при концентрации до 150 мг/м³. При этом предельно допустимая концентрация стиrolа в рабочей зоне составляет 100 мг/м³.

На рис. 8 представлена зависимость эффективности очистки ГВС от стиrolа при различной концентрационной нагрузке, соответствующей концентрации стиrolа от 50 до 1000 мг/м³.

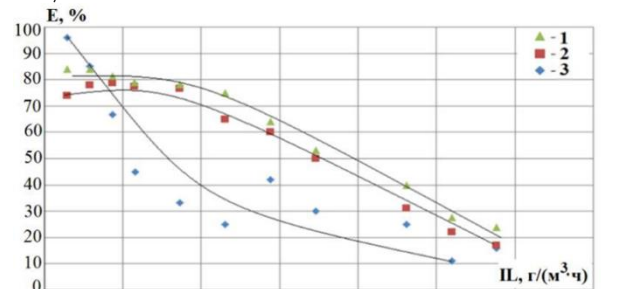


Рис.7. Зависимость эффективности удаления стиrolа на испытанных типах насадок от концентрационной нагрузки: 1 – ПМН; 2 – ППУ; 3 – уголь