

Рисунок 4 – Среднее значение показателя затратности ремедиации за 8 часов для мешалки типа IV (а) и мешалки типа III (б)

Результаты и выводы

Таким образом:

- обработка почвы с помощью мешалок и мешалок-аэраторов эффективна только в течение первых суток;
- постоянный режим динамического воздействия на загрязненную почву почти всегда менее выгоден, чем прерывистые режимы;
- максимально эффективны гребковые мешалки-аэраторы в прерывистых режимах;
- применение гребковой мешалки тип I со сменой положения штырей позволяет значительно снизить затраты энергии и повысить эффективность процесса биологического окисления углеводов в почве.

Литература

1. Бирюков В.В. Технология и установки для биоремедиации поверхностных и подземных загрязнений / Материалы Пятого Московского международного конгресса (Москва, 16-20 марта, 2009г.) М.: ЗАО «Экспо-биохим-технологии», РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2009 – часть 2, с. 164.
2. Заборская А.Ю., Крамм Э.А., Кустова Н.А. Изучение влияния структураторов на процесс биоремедиации нефтезагрязненных почв / Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, 2011/1, с. 10-13
3. Zaborskaya A., Kramm E., Kustova N. Influence of dynamic action on biodegradation of hydrocarbons in soil / Environmental engineering selected papers, Vilnius, Lithuania, May 19-20, 2011, VGTU Press «Technika», 2011 – с. 457-460.

Изучение рабочих характеристик комбинированной насадки для процессов очистки газов в биофильтрах

Митин А.К., к.б.н. Загустина Н.А.* , к.т.н. проф. Николайкина Н. Е., к.т.н. Пушнов А.С.

Университет машиностроения

89261092878, smith-debryansk@mail.ru

**Институт биохимии им. А.Н. Баха РАН*

8(499)952-02-43, 8(499)267-07-97, pushnovas@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрен процесс очистки газов от токсичных органических соединений в биофильтре. Предложен новый тип комбинированной насадки и приведены результаты экспериментальных исследований ее работы. Даны рекомендации по использованию комбинированной насадки в биофильтрах.

Ключевые слова: биофильтр, биокатализатор, комбинированная насадка, гидравлическое сопротивление, микроорганизмы, эффективность.

Очистка воздуха от токсичных органических соединений и одорантов на предприятиях по пищевой и легкой промышленности, дезодорация воздуха на мусоросортировочных станциях и т.п. является актуальной задачей. Одним из перспективных методов очистки таких выбросов является биофильтрация [1]. Биофильтрация – один из дешевых способов очистки воздуха от органических соединений [2]. Современные достижения микробиологии позволяют культивировать новые штаммы, способные использовать в качестве источника энергии весьма токсичные вещества, такие, как дихлорметан, ацетон и др. При использовании данного метода органические загрязняющие вещества, содержащиеся в выбросах, служат субстратом для микроорганизмов, как правило, аэробных, которые перерабатывают их до конечных продуктов – воды и двуокиси углерода [3].

Биологическая очистка газа – массообменный процесс. Интенсивность его зависит в большей степени от величины поверхности контакта фаз. Энергоемкость процесса зависит от гидравлического сопротивления аппарата. Главным рабочим звеном в биофильтрах (биореакторах) является контактное устройство – насадка, на которой находится пленка иммобилизованных микроорганизмов (биокатализатор). От свойств насадочного элемента зависит интенсивность и энергоемкость процесса биологической очистки газа. Насадка должна обладать большой удельной поверхностью и порозностью, помимо этого насадка должна быть удобной платформой для образования биопленки микроорганизмами, иметь невысокое гидравлическое сопротивление (не более 300-400 Па на погонный метр), материал насадки должен быть дешевым, а конструкция – позволять проводить регенерацию, а также быть удобной при загрузке-разгрузке в аппарат.

На основе проведенного информационного поиска и существующих требований, предъявляемых к насадкам, предназначенным для биологической очистки газа от органических соединений, нами была предложена новая комбинированная насадка «Спираль» (рисунок 1).

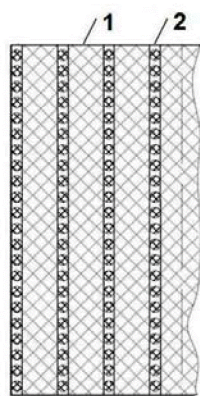


Рисунок 1 – Общий вид насадки «Спираль»: 1 – нерегулярный слой; 2 – регулярный слой

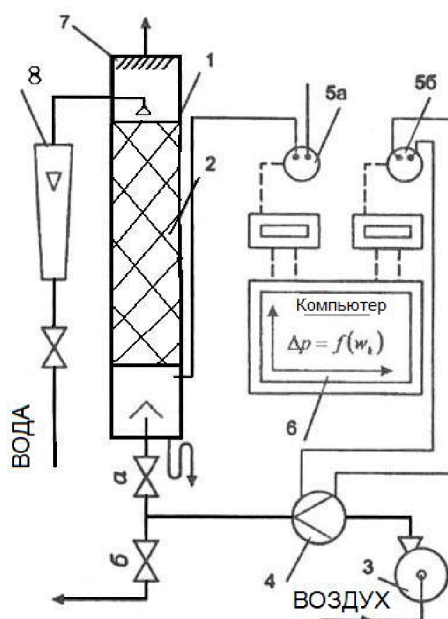


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки: 1 – колонна; 2 – насадка; 3 – воздуходувка; 4 – измеритель расхода воздуха; 8 – ротаметр; 5а, 5б – дифференциальные манометры (с электрическим выходом); 6 – ЭВМ; 7 – брызгоуловитель; а, б – система воздушных вентиляей

Насадка «Спираль» относится к типу комбинированных насадок. Она обладает свойствами как регулярных насадок, так и нерегулярных. В качестве регулярной части использует-

ся сетчатый материал из лавсановых мононитей, скрученный в спираль. Пустое пространство в полученной спирали заполняется нерегулярной частью – полиамидным волокном. Таким образом, получается двойной чередующийся слой из лавсана и полиамидного волокна. Лавсан служит каркасом насадки, “транспортёр” жидкости, а также распределяет газ. Данный материал обладает свойством двухстороннего течения жидкости, поэтому в насадке не остаются сухих зон. Полиамидное волокно служит удобной платформой для микроорганизмов, структура волокна способствует созданию биопленки, микроорганизмы не уносятся потоком воздуха. Благодаря каркасу насадки с ней удобно проводить ремонтные и профилактические работы, а также проще осуществлять загрузку.

Геометрические характеристики насадки: удельная поверхность $a=420 \text{ м}^2/\text{м}^3$; порозность $\epsilon=0,8 \text{ м}^3/\text{м}^3$; эквивалентный диаметр $d_e=0,008 \text{ м}$.

Для разработанной конструкции насадки экспериментально определены гидравлические характеристики. Исследования проводились в лаборатории кафедры «Процессы и аппараты химической технологии» (МГУИЭ).

Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 2.

Воздух воздуходувкой 3 через измеритель расхода 4 подается в колонну 1. Вентилем *a* регулируют подачу воздуха. При испытании неорошаемой колонны вода не поступает; при обследовании орошаемой колонны через ротаметр 8 подается определенный расход воды. Дифференциальные манометры 5а и 5б замеряют соответственно перепад давления в колонне и расход подаваемого воздуха. Диаметр колонны – 200 мм.

Во время испытаний высота слоя насадки составляла $H_1=100 \text{ мм}$ и $H_2=200 \text{ мм}$. Плотность орошения насадки $q_{ж} = 6 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Данная плотность орошения поддерживала 100% влажность насадочного слоя, что является необходимым условием для процесса биологической очистки газа.

На рисунке 3 представлен график зависимости потери напора, отнесенного к погонному метру высоты насадки P/H , от скорости потока W_0 .

Для комбинированной насадки «Спираль» с использованием данных эксперимента был проведен расчет коэффициента гидравлического сопротивления неорошаемого (сухого) слоя насадки по зависимостям, предложенным для низкоскоростных волокнистых фильтров.

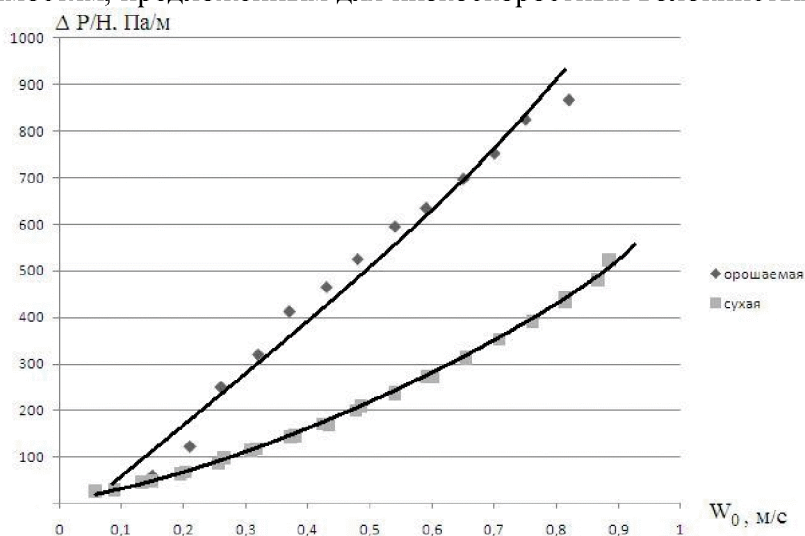


Рисунок 3– Зависимость потери напора от скорости в сечении аппарата в расчете на 1 погонный метр сухой и орошаемой насадки «Спираль» при $q_{ж}=6 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$

Коэффициент гидравлического сопротивления находился из формулы:

$$\Delta P = \zeta \cdot \frac{V_r^2 \cdot \rho \cdot H \cdot \alpha}{\epsilon^2 \cdot \pi \cdot d_e}, \quad (1)$$

где: ΔP – гидравлическое сопротивление сухого насадочного слоя, Па;

ζ – коэффициент гидравлического сопротивления сухой насадки;

V_T – скорость газового потока в свободном сечении аппарата, м/с;

ρ – плотность газового потока, кг/м³; H – толщина насадочного слоя, м; α – плотность упаковки насадочного слоя, м³/м³; ε – порозность насадочного слоя, м³/м³; d_e – эквивалентный диаметр, м.

Величина α связана с порозностью ε соотношением $\alpha = 1 - \varepsilon$. Эквивалентный диаметр d_e вычисляется по формуле:

$$d_e = 4 \cdot \varepsilon / a, \quad (2)$$

где: a – удельная поверхность насадочного тела, м²/м³ [4].

Полученные значения коэффициента гидравлического сопротивления сухой насадки «Спираль» были использованы для подбора технологического режима процесса биофильтрации.

Испытания по определению эффективности биокатализатора (микроорганизмы, иммобилизованные на искусственном носителе – насадке «Спираль») по биологической очистке воздуха от дихлорметана (ДХМ) проводились на лабораторном реакторе, разработанном в Институте биохимии им. А.Н. Баха РАН [5]. На рисунке 4 представлена схема экспериментальной установки по деструкции ДХМ.

В емкость с ДХМ подавался воздух после фильтра, обогащенный дихлорметаном, затем воздушная смесь поступала на биокатализатор, представляющий собой насадку «Спираль» с иммобилизованными микроорганизмами. Прямотоком перистальтическим насосом подавалась орошающая жидкость из сборной емкости. В этой же емкости собирался дебрес и продукты жизнедеятельности микроорганизмов – CO₂ и H₂O, а также побочный продукт – хлор. В емкость для подщелачивания добавлялся NaOH, в результате реакции нейтрализации образовывался NaCl.

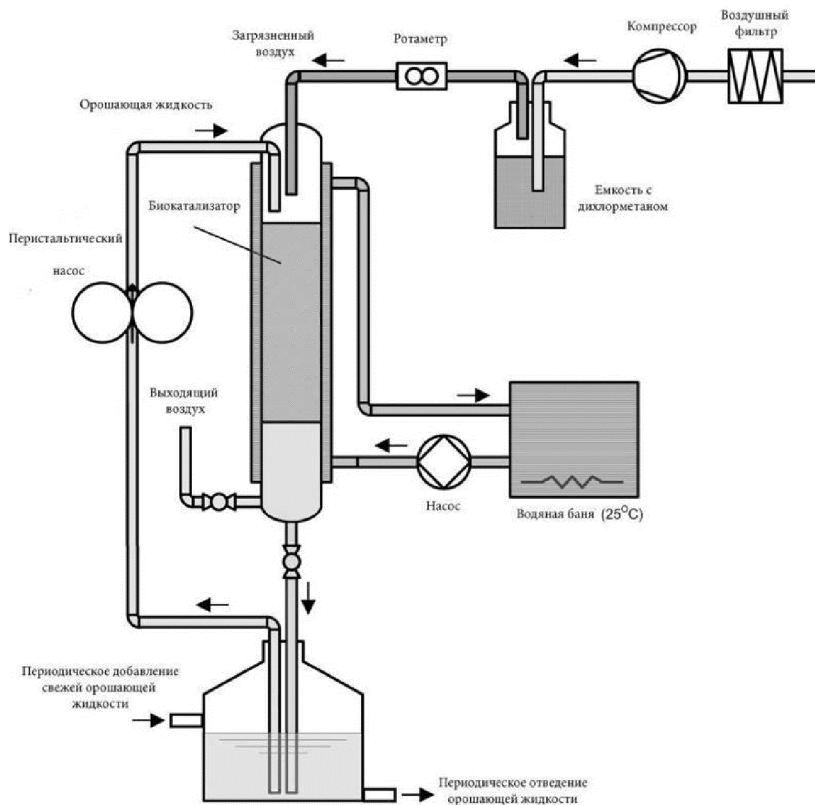


Рисунок 4 – Установка в сборе по определению деструкции дихлорметана

Для очистки воздуха от ДХМ в лабораторном биореакторе были использованы следующие культуры в сообществах: *Methylobacterium dichloromethanicum*, *Albibactermethylovorans*, *Methylophil Helvetica*. Данные штаммы микроорганизмов были предоставлены институтом биохимии им. А.Н. Баха РАН, в стенах которого проводились исследования по сравнению эффективности биокатализаторов с комбинированной насадкой «Спираль» и нерегулярной насадкой.

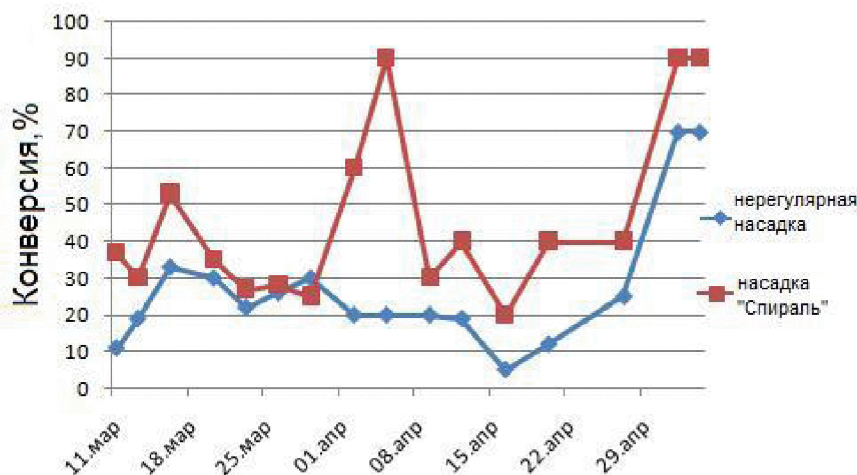


Рисунок 5 – Сравнение степени превращения ДХМ в биореакторах с нерегулярно насадкой и насадкой типа «Спираль»

На рисунке 5 в виде графической зависимости представлены результаты по степени конверсии дихлорметана в биореакторах с нерегулярной насадкой и насадкой «Спираль». Эффективность биокатализатора (насадка с иммобилизованными микроорганизмами) определялась замерами концентраций загрязнителя методом газовой хроматографии. Степень конверсии определялась по зависимости:

$$C = [(X_1 - X_2) / X_1] * 100\% , \quad (3)$$

где: X_1 – концентрация ДХМ на входе в биореактор, X_2 – концентрация ДХМ на выходе из биореактора.

Исследованная насадка «Спираль» обладает не только приемлемыми для проведения процесса биологической очистки газа гидравлическими характеристиками, но и более высокой эффективностью по сравнению с используемыми в настоящее время нерегулярными насадочными элементами.

Литература

1. Zagustina N.A., Krikunova N.I., Kulikova A.K., Misharina T.A., Romanov M.E., Ruzhitsky A.O., Terenina M.V., Veprizky A.A., Zukov V.G., and Popov V.O. Composition of air emission from tobacco factories and development of the biocatalyst for odor control // J. of Chemical Technology & Biotechnology, 2010, V.85, № 3. - p. 320-327.
2. Schwartz, C.E.; Devinsky, J.S.; Tsotsis, T.T. A biofilter network model – importance of the pore structure and other large-scale heterogeneities, Chemical Engineering, Science 56, 2001. – p. 475-483.
3. Пушнов А.С., Балтренас П., Каган А., Загорскис А. Аэродинамика воздухоочистных устройств с зернистым слоем – Вильнюс.: изд. Техника, 2010. - 346с.
4. Вальдберг А.Ю., Полиенова Е.В., Пушнов А.С. Очистка и охлаждение газов в насадочных скрубберах – М.: МГУИЭ, 2011. – 80с.
5. Жуков В.Г. Разработка технологии микробиологической дезодорации воздуха в лабораторно-производственных условиях с использованием пилотной установки // Прикладная биохимия и микробиология. – 1998. - Т. 34. № 6. – с. 370-376.