

$$5 \times 10^{-3} < t_D < 4 \times 10^{-2} \text{ сек} \quad (30)$$

и по уравнению (29) принимая D равным 10^{-5} см²/сек (для растворенного газа в воде), получим:

$$0,015 < k_L^0 < 0,04 \text{ см/сек.} \quad (31)$$

Интервал, указанный в уравнении (31), подтверждается экспериментально.

Для биофильтров обычные значения высоты единицы переноса при лимитировании массопередачи сопротивлением в жидкой фазе составляют от 20 до 80 см:

$$20 < \frac{V_L}{k_L^0 a} < 80 \text{ см.} \quad (32)$$

Здесь V_L - объемная скорость жидкости на единицу поперечного сечения;

a - эффективная площадь поверхности раздела фаз на единицу объема.

Значение V_L составляет ~0,15 см/сек; значение a очень неопределенно, но может считаться приемлемой величина 0,1 см⁻¹. Отсюда k_L^0 ~0,03 см/сек, и интервалы, указанные в уравнениях (30) и (31), можно рассматривать как применимые и к биофильтрам.

В анализе химических реакций очень полезным является понятие «время реакции». Его можно определить как

$$t_p = \frac{(C - C')}{v}, \quad (33)$$

где v - скорость реакции;

C - действительная концентрация рассматриваемого реагента;

C' - равновесная концентрация реагента.

Для простой реакции первого порядка с константой скорости k

$$t_p = \frac{1}{k}. \quad (34)$$

Физический смысл времени реакции - время, необходимое для протекания реакции. За исключением только реакции первого порядка, время реакции зависит в общем случае от рассматриваемой концентрации; это обусловлено нелинейной зависимостью химических процессов от величины их движущей силы. Напомним, что время диффузии зависит от гидро-

динамических условий, так как оно является временем процесса нестационарной диффузии в пределах элементов поверхности жидкости; время же реакции зависит только от кинетики рассматриваемой реакции и не является фактически достижимым временем реакции, а только временем, необходимым для нее.

Как было показано выше, время диффузии практически изменяется в узком интервале. В отличие от этого времени реакции, рассчитанные для практических систем, могут различаться существенно.

Наконец, следует рассмотреть характеристическое время - время, действительно доступное для реакции. Последнее является, по-видимому, общим временем пребывания жидкой фазы t_{np} в рассматриваемом биосорбере, так как химическая реакция происходит в жидкой фазе. По-видимому, если рассматривать процесс биохимической сорбции в целом, то величина t_{np} должна иметь, по крайней мере, тот же порядок, что и t_p .

Действительно, если t_p будет намного больше, чем t_{np} , тогда никакой реакции в жидкой фазе вообще не будет и рассматриваемый процесс фактически будет процессом физической абсорбции.

Вывод.

Для исследования процессов массопереноса в биофильтрах могут быть использованы: а) гидродинамическая модель, основанная на пленочной теории; б) теория проникновения или модель Хигби.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кафаров В.В. Основы массопередачи.-Москва; Высшая школа, 1972, 296с.
2. Таварткиладзе И.М. Сорбционные процессы в биофильтрах.-Москва; Стройиздат, 1989, 126с.
3. Феофанов Ю.А. Характеристика гидродинамических процессов в орошаемых биофильтрах. В сб.: Совершенствование систем водоотведения и очистки сточных вод.-Ленинград, 1984, с.134-141.
4. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Биологические фильтры.-Москва; Стройиздат, 1982, 120с.

УДК 628.351

Ковальчук В.Л.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВОБОДНОПЛАВАЮЩЕЙ БИОПЛЁНКИ НА ПРОЦЕСС ОКИСЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ПОГРУЖНОМ ДИСКОВОМ БИОФИЛЬТРЕ

В работах многих авторов (Дмитриевского Н.Г., Валаха В.П., Таварткиладзе И.М.) по исследованиям очистки сточных вод с использованием погружных дисковых биофильтров, основное внимание при описании процесса окисления органических веществ было обращено к прикреплённой биоплёнке. Причиной получаемого интервала окислительной мощности для погружных биофильтров служил состав сточных вод, вид загрузочного материала и БПК (биохимическое потребление кислорода) сточной жидкости, подаваемой на очистку.

На наш взгляд, одна из особенностей очистки сточных вод

на погружном дисковом биофильтре состоит в том, что при правильно выбранном гидродинамическом режиме (скорости движения сточных вод, оптимальных значениях гидравлической нагрузки и частоты вращения дисков), оторгнутая с поверхности загрузочного материала биопленка не осажается на дне биофильтра, а, находясь в сточной воде в свободноплавающем состоянии, так же как и прикрепленная биопленка принимает участие в окислении органических веществ.

Для подтверждения теоретических представлений о механизме изъятия органических загрязнений из сточной воды, в

Ковальчук Вячеслав Леонтьевич, старший преподаватель каф. водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

процессе очистки на погружном дисковом биофилтре и обосновании высокой окислительной мощности данного вида сооружений, в ходе экспериментальных исследований ставилась задача по определению количества свободноплавающего биоценоза в зависимости от БПК₅ поступающей исходной воды и частоты вращения дисков.

В состав экспериментальной установки входила: приемная камера, расходный бак, погружной дисковый биофилтр с перфорированными дисками из винипласта и вертикальный отстойник.

В начальный период работы погружного дискового биофилтра - период наращивания биопленки, на биофилтр подавался производственный сток молокоперерабатывающего предприятия с БПК₅=850 г/м³. В течение 5 суток на загрузочном материале формировалась биопленка. В последующие 3-4 дня производился визуальный осмотр прикрепленной биопленки, определялась ее толщина и равномерность нарастания на дисках, а также определялся объем прикрепленной и свободноплавающей биопленки при определенной БПК₅ сточной воды и частоте вращения дисков. Ввиду того, что при достижении биопленкой определенной толщины нарастания на поверхности загрузочного материала под действием собственной массы, происходит отрыв участка биопленки с диска и какой-то промежуток времени на части диска (дисков) толщина биопленки небольшая, в то время как на другом диске (дисках) толщина биопленки приближается к "критической", то в качестве опытных данных бралась осредненная толщина биопленки на дисках.

Изменяя частоту вращения дисков и БПК₅ поступающей на биофилтр сточной жидкости, определяли все вышеперечисленные показатели – для каждой серии опытов. Эксперимент проводился в непрерывном режиме в течение 30 суток.

Количество прикрепленной биопленки определялось по формуле (1):

$$V_{np.б.} = F \cdot S + (L \cdot S1 \cdot \Delta) n d, \text{ м}^3 \quad (1)$$

где F - площадь поверхности дисков, м²; S и $S1$ - соответственно толщина биопленки на боковой и торцевой поверхности дисков, м; L - длина окружности диска, м; Δ - толщина дисков, м; $n d$ - количество дисков; шт.

$$F = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 2 \cdot n d, \text{ м}^2 \quad (2)$$

$$L = 2\pi \cdot r, \text{ м} \quad (3)$$

где D - диаметр дисков, ($D=0.3$ м); r - радиус дисков, ($r=0.15$ м).

Во время проведения исследований отбирались пробы воды из лотка биофилтра и определялось:

- содержание в них свободноплавающей биопленки по формуле (4):

$$C = \frac{(a - \epsilon) \cdot 1000 \cdot 1000}{W}; \text{ мг/л} \quad (4)$$

где a - вес чашки с биопленкой после сушки, г; ϵ - вес пустой чашки, г; W - объем отбираемой пробы, мл;

- общее содержание свободноплавающей биопленки в биофилтре по формуле (5):

$$C1 = C \cdot V_{лотка}, \text{ мг} \quad (5)$$

где $V_{лотка}$ – объем лотка биофилтра, л.

Объем свободноплавающей биопленки определяем по формуле (6):

$$V_{св.б.} = \frac{C1}{1000 \cdot \rho}, \text{ м}^3 \quad (6)$$

где ρ - плотность биопленки, гр/ м³;

По полученным ранее экспериментальным данным плотность свободноплавающей биопленки составляет в среднем 1070 кг/м³ [1].

При проведении каждой серии опытов рассчитывалась величина окислительной мощности (ОМ; отнесенная к 1 м² площади дисков в гБПК₅/сут) по формуле (7):

$$OM = (Len - Lex) \cdot q_0; \text{ гБПК}_5 / \text{ м}^2 \cdot \text{сут} \quad (7)$$

где: Lex – БПК₅ очищенной сточной жидкости, г/м³; Len – БПК₅ неочищенной сточной жидкости, г/м³; q_0 - гидравлическая нагрузка, м³/сут·м²;

На основании экспериментальных данных по определению количества свободноплавающей и прикрепленной биопленки в зависимости от БПК₅ сточной воды, поступающей на очистку и частоты вращения дисков, были построены следующие зависимости:

- зависимость объема свободноплавающей биопленки от БПК₅ исходной сточной воды при разных значениях частоты вращения дисков (рис. 1);
- зависимость изменения объема свободноплавающей биопленки в % от объема прикрепленной при изменении частоты вращения дисков и постоянном значении БПК₅ исходной сточной воды (рис.2).

Представленные на рис. 1 и 2 экспериментальные данные являются осредненными данными ряда экспериментов.

Данные визуального наблюдения указывают на то, что при малой частоте вращения дисков прикрепленный биоценоз отрывается с поверхности диска большими участками, но на небольшой площади (поэтому объем свободноплавающего биоценоза составляет 7-11% от объема прикрепленного), в то время как при большой частоте вращения биопленка под действием скорости вращения практически равномерно смывается с поверхности загрузочного материала и имеет более однородную гидравлическую крупность.

С точки зрения теории осаднения, однородность взвешенных веществ является положительным фактором, однако для подтверждения либо опровержения этого предположения в дальнейшем необходимо изучить кинетику осаднения биопленки.

Анализируя полученные зависимости, можно отметить следующее:

- в исследуемом интервале, когда БПК₅ исходной воды изменяется от 850 до 4700 мг/л, с увеличением частоты вращения дисков от 2 до 8 об/мин наблюдается пропорциональная зависимость увеличения прикрепленной и свободноплавающей биопленки.(рис.1). Это можно объяснить тем, что с увеличением содержания органических веществ в сточной воде для улучшения процесса их окисления необходимо увеличивать скорость вращения дисков;
- процессу снижения количества биопленки соответствует увеличение частоты вращения дисков до 9-10 об/мин, это видно из рис.2. Причиной уменьшения объемов может служить то обстоятельство, что при большой частоте вращения дисков прикрепленной биопленке гораздо труднее удержаться на поверхности загрузочного материала и набрать «критическую» толщину. А так как количество свободноплавающей биопленки в целом зависит от количества прикрепленной, то соответственно уменьшается и объем свободноплавающей биопленки;
- эффект очистки сточных вод по органическим веществам и окислительная мощность достигают своего максимального значения в интервале частоты вращения 6 – 8 об/мин (при постоянной величине БПК₅ исходной воды). В таком – же интервале частоты вращения своего максимального значения достигает и объем свободноплавающей биопленки, составляющий в зависимости от БПК₅ исходной воды 10 – 25% от объема прикрепленной биопленки. Так как объем прикрепленной биопленки при любой частоте

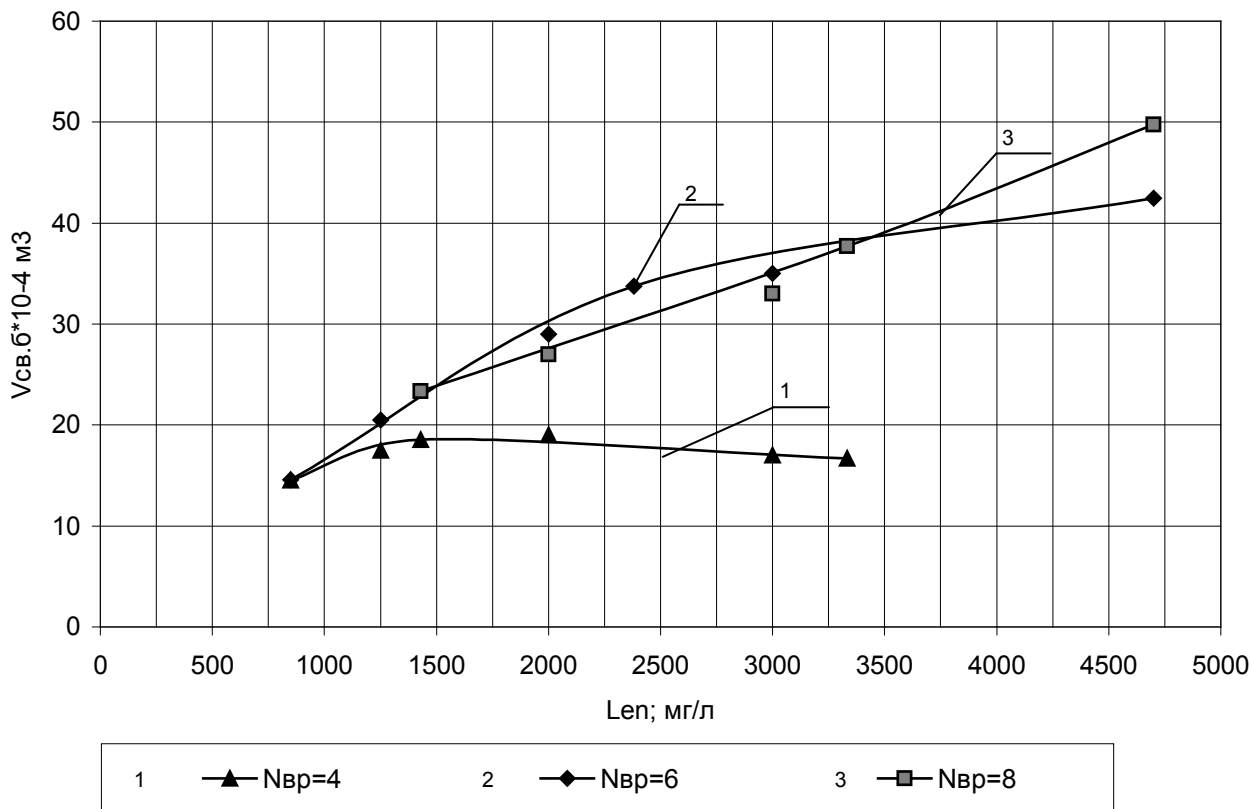


Рис. 1. Зависимость объёма свободноплавающей биоплёнки ($V_{св.б}$, м^3) от BPK_5 исходной сточной воды (Len , мг/л) при различных значениях частоты вращения дисков ($N_{вр}$, об/мин).

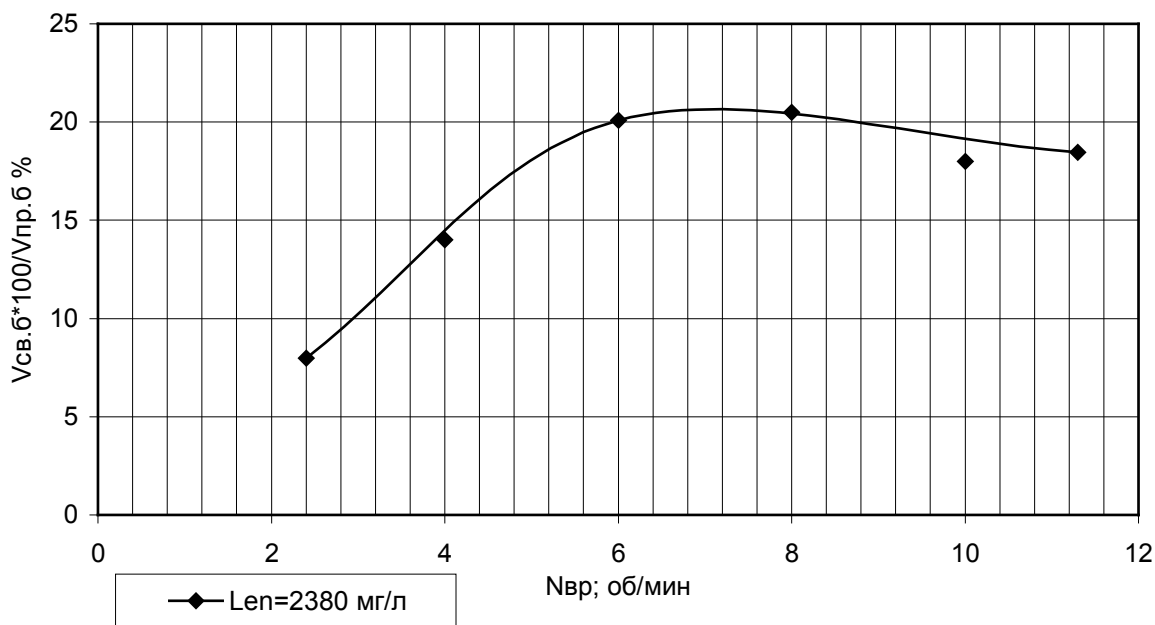


Рис. 2. Зависимость изменения отношения объёма свободноплавающей биоплёнки в % от объёма прикреплённой ($V_{св.б} \cdot 100 / V_{пр.б}$), при изменении частоты вращения дисков ($N_{вр}$; об/мин) и постоянном значении BPK_5 исходной сточной воды (Len , мг/л).

вращения, кроме 11.3 об/мин, остаётся практически неизменным и находится в интервале от 0.0146 – до 0.0196 м^3 , в то время как объём свободноплавающей биоплёнки изменяется от 0.001451 – до 0.004973 м^3 , то есть практически в 2.5 – 3 раза, следовательно, можно утверждать о

том, что свободноплавающая биоплёнка также принимает участие в окислении органических веществ.

При одном и том же значении BPK_5 сточной жидкости, поступающей на очистку, с увеличением частоты вращения до 9 – 10 об/мин увеличивается объём свободноплавающей

био пленки. Это говорит о том, что часть окислительной мощности погружных дисковых биофильтров приходится именно на свободноплавающую био пленку, в чем и заключается главное отличие дискового биофильтра от других сооружений биологической очистки.

УДК 628.351

Яромский В.Н., Ковальчук В.Л.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛЁНКИ В СТОЧНЫХ ВОДАХ МОЛОКОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В результате биологической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности на комбинированных биологических окислителях образуется биологическая плёнка. Для отделения этой пленки применяют различные типы вторичных отстойников. В соответствии с требованиями нормативной литературы [1], основной расчетной величиной при проектировании вторичных отстойников после биоокислителей всех типов является гидравлическая крупность.

Цель настоящих исследований состояла в определении гидравлической крупности био пленки, её фракционного состава и эффективности осаждения в вертикальном отстойнике.

Исследования проводились по методике [2]. Объектом исследования являлась био пленка, полученная в результате биологической очистки на дисковом био фильтре-отстойнике (ДБФО) на локальных очистных сооружениях ОАО "Пружанский молочный комбинат" [3].

По результатам экспериментальных исследований был построен ряд графических зависимостей эффекта осветления сточных вод от начальной концентрации био пленки в исходной воде и различной продолжительности отстаивания. Одна из таких зависимостей представлена на рис. 1.

Анализ полученных графических зависимостей позволил установить, что эффект осветления сточных вод зависит от начальной концентрации био пленки в исходной воде, и увеличивается с повышением начальной концентрации био пленки. Оптимальным временем отстаивания био пленки можно

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ковальчук В.Л. Некоторые вопросы обработки осадков сточных вод молокоперерабатывающих предприятий // Рациональное использование природных ресурсов: Труды Международной конференции «Научные аспекты рационального использования природных ресурсов». / Брестский политехнический инст-т. – Брест. 1998. – с.133-136.

считать время, равное 1.5-2.0 часам.

Так как сточная вода, содержащая биомассу, является полидисперсной средой, величину гидравлической крупности определяли экспериментально, путем построения кривых осаждения взвеси – кривых зависимости относительного количества выпавшей био пленки ($p=mi/mo$) от времени отстаивания (t_{om}):

где mo - количество био пленки в исследуемой воде до начала осаждения, мг;

mi - количество био пленки, выпавшей за время (t_{om}), мг;

$$mi=(Co-Ci)\cdot V, \text{ мг} \quad (1)$$

$$mo=Co\cdot V, \text{ мг} \quad (2)$$

где Co - концентрация био пленки в исходной воде, мг/л;

Ci - концентрация био пленки в осветленной воде, мг/л;

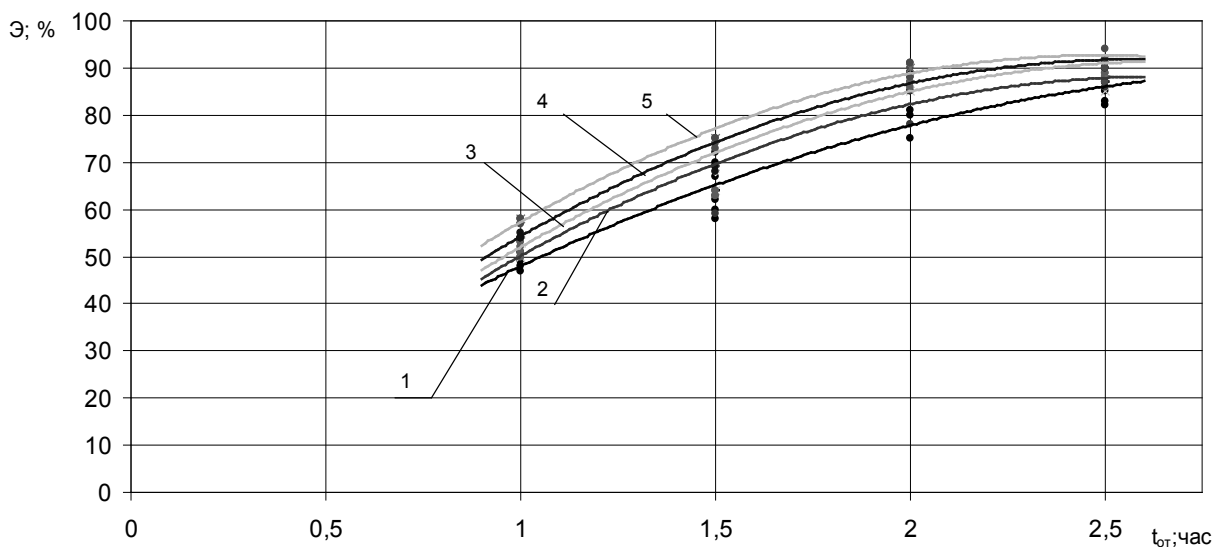
V - объем сточной воды в цилиндре, л.

По кривым осаждения определяли:

- значение гидравлической крупности частиц био пленки (u), по формуле (3):

$$u = \frac{h}{t}, \text{ мм/с} \quad (3)$$

где h - высота осаждения, мм; t - время осаждения, с;



1--- $Co=200$ мг/л; 2--- $Co=400$ мг/л; 3--- $Co=600$ мг/л; 4--- $Co=800$ мг/л; 5--- $Co=1000$ мг/л

Рис. 1. Зависимость эффекта осаждения био пленки (Э, %) от времени отстаивания (t_{om} , час) при различной концентрации био пленки (Co , мг/л).