



**БЕЛЭКПОЛЬ**

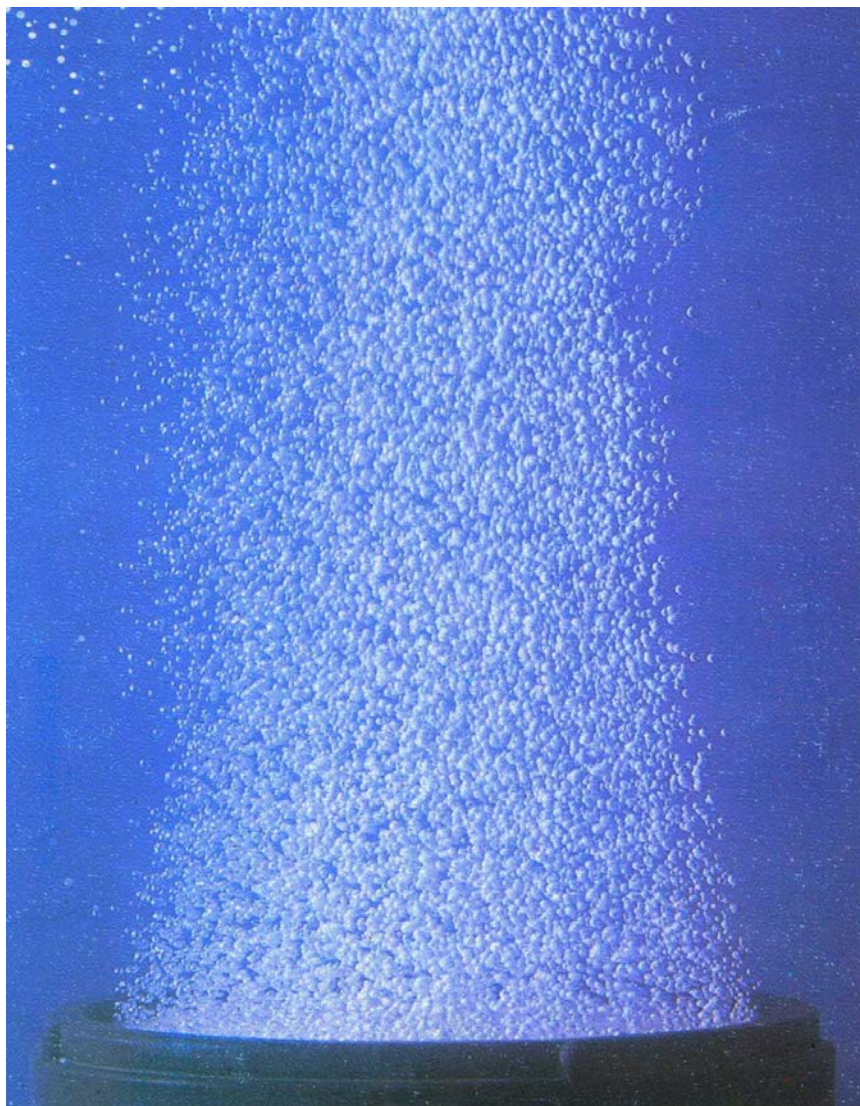
220049, г. Минск, ул. Севастопольская, 21  
тел/ф: (+375) 280 65 60; 280 63 94  
моб.тел., WhatsApp, Viber (+375) 29 662 62 69  
e-mail: info@belekpul.ru

---

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ЧАСТНОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

---

## **АЭРАТОРЫ МИФЫ И РЕАЛЬНОСТЬ**



**Ракевич И.Л.**

директор «Белэкполь»,  
член экспертного совета по проектам государственных программ  
при Совете Министров Республики Беларусь  
в области строительства и жилищно-коммунального хозяйства

**Конструкция аэраторов, их эффективность по растворению кислорода, место расположения, метод крепления, форма и материал диспергирующего элемента является одним из важнейших факторов в вопросе проектирования, монтажа и эксплуатации аэрационных систем.**

**В мировой практике в настоящее время преимущественное применение получили дисковые пористые аэраторы из волокнистых, гранулированных и мембранных диспергаторов, а также трубчатые аэраторы с перфорированными мембранными диспергаторами из резины, силикона, полиуретана и прочих эластомеров.**

**Существует большое количество аэраторов, которые не справляются с поставленной задачей и распространены повсеместно; пользователи этих аэраторов несут убытки и имеют проблемы при очистке сточных вод.**

**На основании опыта эксплуатации, научно-исследовательских и литературных данных различных стран постараемся понять проблемы и реалии использования различных типов аэраторов.**

## I. МЕМБРАННЫЕ АЭРАТОРЫ

Аэраторы с перфорированными мембранами пластинчатого, дискового (в том числе с отверстием в диффузоре) или трубчатого типа декларируются с работой в режиме мелкопузырчатой аэрации

**Имеющееся значительное количество данных, полученных на разных сооружениях, показывает, что преимущества мембранных аэраторов в части загрязнения и стабильности характеристик являются декларируемыми, а не реальными.**

**По недостаткам материала на первое место можно поставить перфорированные мембранные аэраторы, материал которых наиболее подвержен самопроизвольным изменениям как с течением времени, так и в процессе контактирования с компонентами сточной жидкости. Наименее подвержены изменениям аэраторы из пористых пластмасс (см. Мешенгиссер Ю.М., к.т.н., НПФ «Экополимер», Марченко Ю.Г., к.т.н. НПФ «Экополимер». «Сравнительные характеристики мелкопузырчатых пневматических аэраторов», ж-л «Вода и экология: проблемы и решения», Санкт-Петербург, 02/2001).**

Ресурс работы таких аэраторов невысок - существуют две основные причины низкого ресурса их работы и непредсказуемого по времени выхода из строя:

- **биообрастание и отложение солей жёсткости перфорированной мембраны;**
- **усталостная деформация мембраны.**

### **1. Биообрастание и отложение солей жёсткости перфорированной мембраны**

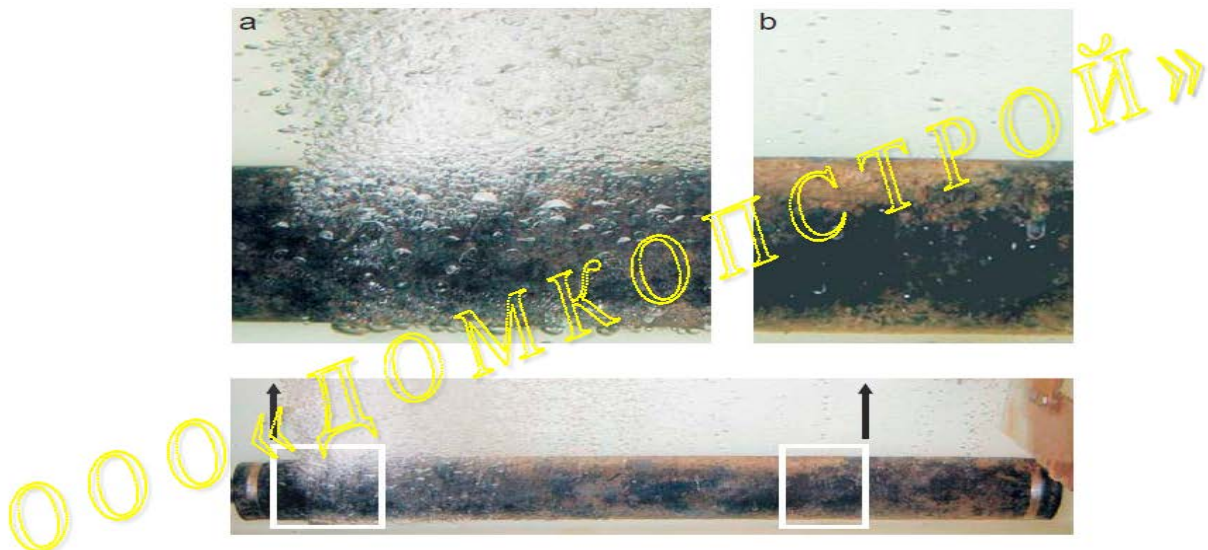
Интенсивный процесс кольматации увеличивает давление и скорость воздуха. Существенным недостатком этого вида аэрационного оборудования является быстрая, **непредсказуемая по времени кольматация межкорпусного пространства мембраны с закупоркой ее отверстий**, приводящая к увеличению гидравлического сопротивления и снижению эффективности аэрации, что быстро приводит к разрыву мембраны, к срыву ее с крепления и непригодности в эксплуатации (см. фото).

**ИНТЕНСИВНОЕ БИООБРАСТАНИЕ И КОЛЬМАТАЦИЯ  
ДИСКОВЫХ РЕЗИНО-ПЛАСТИКОВЫХ (И ДАЖЕ РЕЗИНО-ТЕФЛОНОВЫХ) АЭРАТОРОВ  
В ТЕЧЕНИЕ ГОДА ОЧЕВИДНО (ДАННЫЕ ОПЫТА ГЕРМАНИИ, ФРАНЦИИ)**



***ПОСЛЕДСТВИЯ В РАБОТЕ АЭРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ***

- **ОБРАСТАНИЕ И КАЛЬМАТАЦИЯ МЕМБРАНЫ (В 1-ЫЕ МЕСЯЦЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ)**

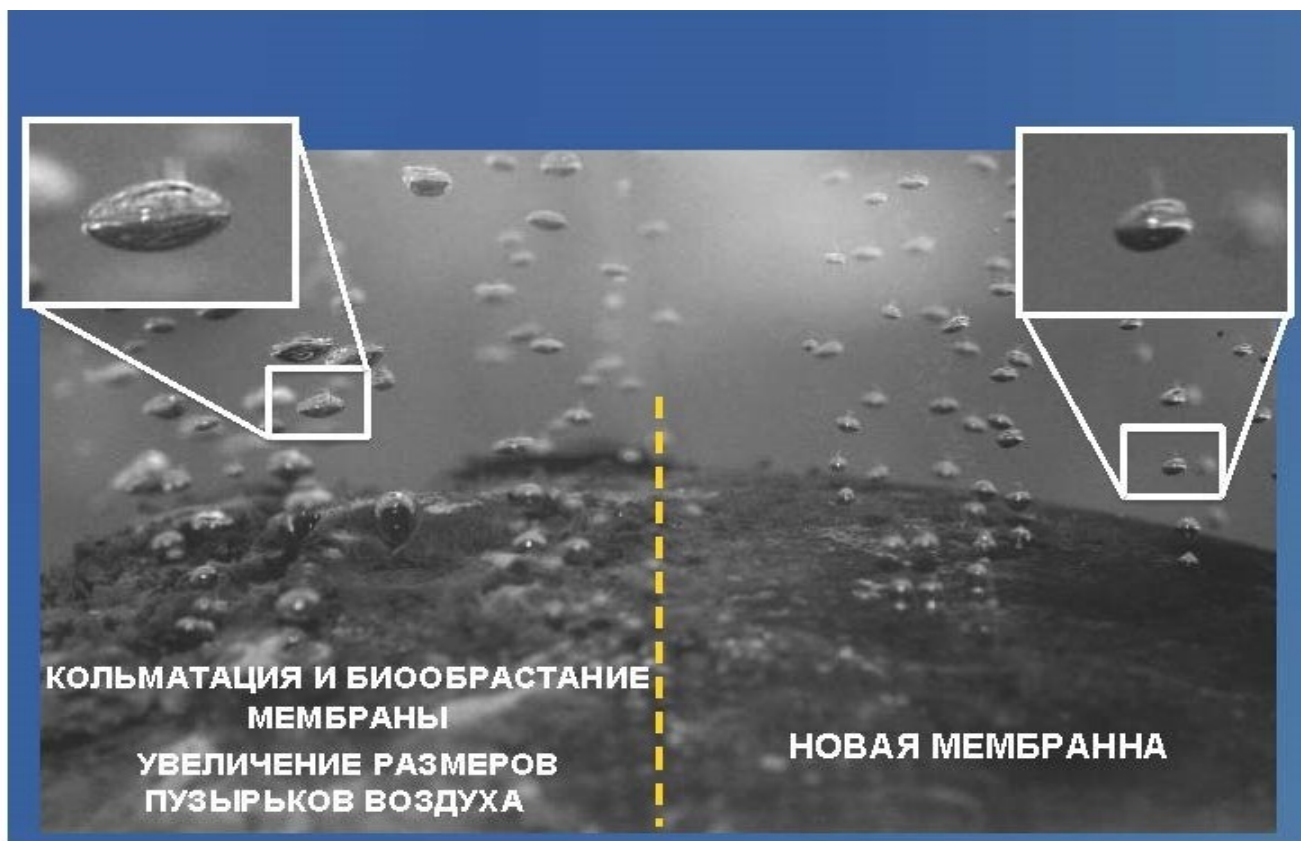


**РЕЗУЛЬТАТ:** ПАДЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАССОПЕРЕНОСА КАК МИНИМУМ НА 20%



**Treatment Waste Water**

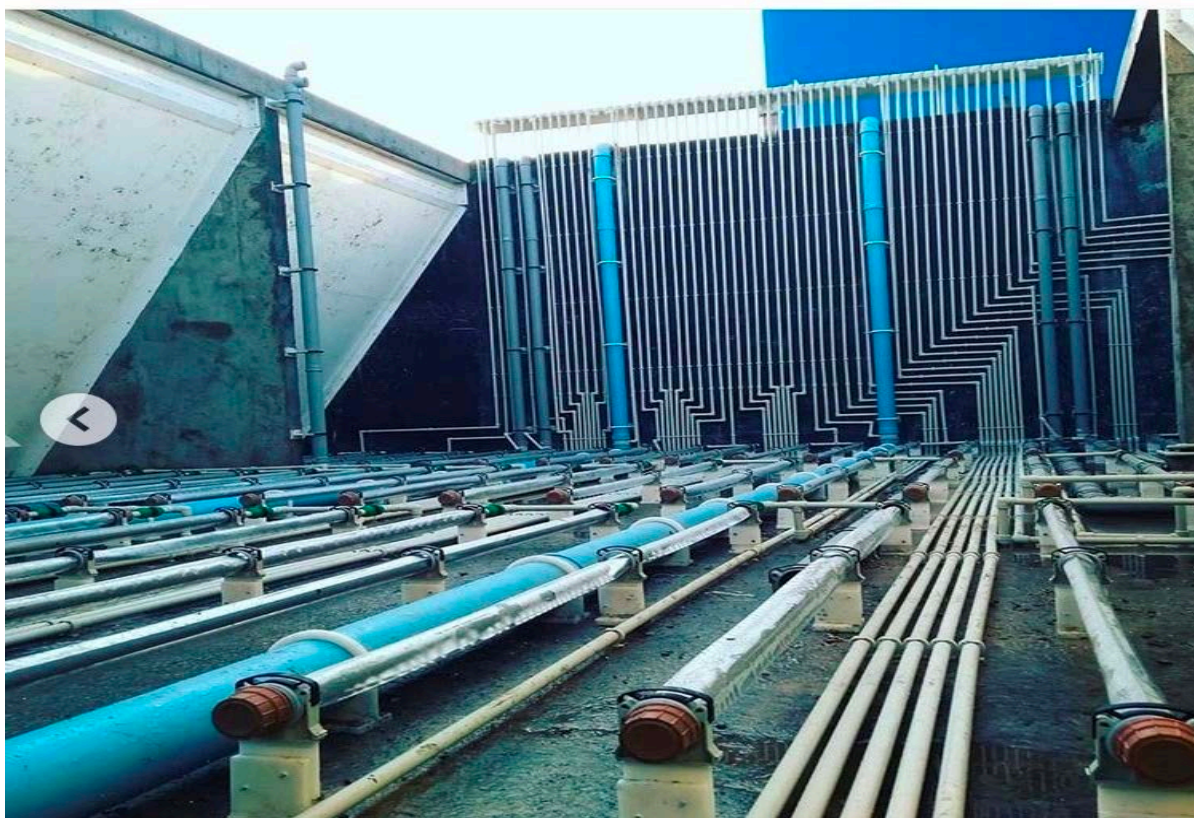
**ООО «Домкопстрой»**



## **2. Усталостная деформация перфорированных мембран**

При эксплуатации от воздуха мембрана постоянно растягивается, каждое отверстие мембраны в течении секунд многократно меняет сечение. Эксплуатация с режимом работы мембраны «открытие – закрытие», попеременное многократное сжатие отверстий мембраны приводит к быстрому физическому изменению свойств материала в течении года эксплуатации, динамическому усталостному режиму работы с потерей эластичности, приобретением остаточной деформации в виде выпуклой куполообразной формы с растянутыми деформированными отверстиями мембраны и невозможностью дальнейшего восстановления её до первоначального состояния.

Изменение свойств мембраны приводит к возникновению механических разрушений с разрывом материала стенок отверстий, к увеличению размеров отверстий, через которые проходит воздух. Увеличение размеров отверстий увеличивает диаметр пузырьков и расход воздуха, резко снижает эффективность растворения кислорода и энергоэффективность аэрации, т.е. уже после года эксплуатации аэраторы начинают работать в режиме среднепузырчатой (крупнопузырчатой) аэрации с повышением энергопотребления до 30-40%.



В процессе эксплуатации преждевременный выход из строя (в течение 1-3-х лет) трубчатых аэраторов мембранной системы аэрации из полипропилена, полиуретана или резинопластика связан с отложением солей жесткости, интенсивным биообрастанием, механическим разрушением в процессе эксплуатации с разрывом материала стенок отверстий мембран и последующим изменением мелкопузырчатого режима работы мембранного аэратора на средне-крупнопузырчатый режим эксплуатации, с необходимостью увеличения энергопотребления до 30-40%.

Опыты, проводившиеся в Германии, показали, что эффективность передачи кислорода при аэрации мелкими пузырьками составляет от 2 до 3,3 кг/(кВт·ч), а при аэрации средними и крупными пузырьками – от 1,4 до 1,8 кг/ (кВт·ч).

Помимо вышеизложенных проблем, а также потерь электроэнергии до 30% можно себе представить, что еще неизбежно произойдет с такой рекламируемой «космической» системой аэрации «ЛОСБЕЛ» при эксплуатации:

- стены и днище с «лесом» стояков-опусков воздухопроводов, с огромным количеством различного крепежа в процессе эксплуатации превратятся в накопители различных механических загрязнений (нитки, волосы и т.д.) зарастут осадком, жиром;
- все это превратится в «рассадник» с преобладанием нитчатых бактерий, который в последствии приведет к частому вспуханию активного ила в системе и нарушению биологического процесса;
- периодическая очистка этого «рассадника» без постоянного частого опорожнения аэротенка практически невозможна.

**МЕМБРАННЫЕ АЭРАТОРЫ – БИОБРАСТАНИЕ, КОЛЬМАТАЦИЯ, РАЗРУШЕНИЕ**

**НЕ ПОЗВОЛЯЙТЕ ЭТОМУ СЛУЧИТЬСЯ  
С ВАМИ!**



**КОЛЬМАТАЦИЯ МЕМБРАННОГО ДИСПЕРГАТОРА С ЗАКУПОРКОЙ  
ЕГО ОТВЕРСТИЙ И УСТАЛОСТНО - ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВЕДУТ  
К РАЗРЫВУ МЕМБРАН АЭРАТОРОВ**





# Эксплуатация. Проблема засорения.

Мембранный  
воздушный  
диффузор

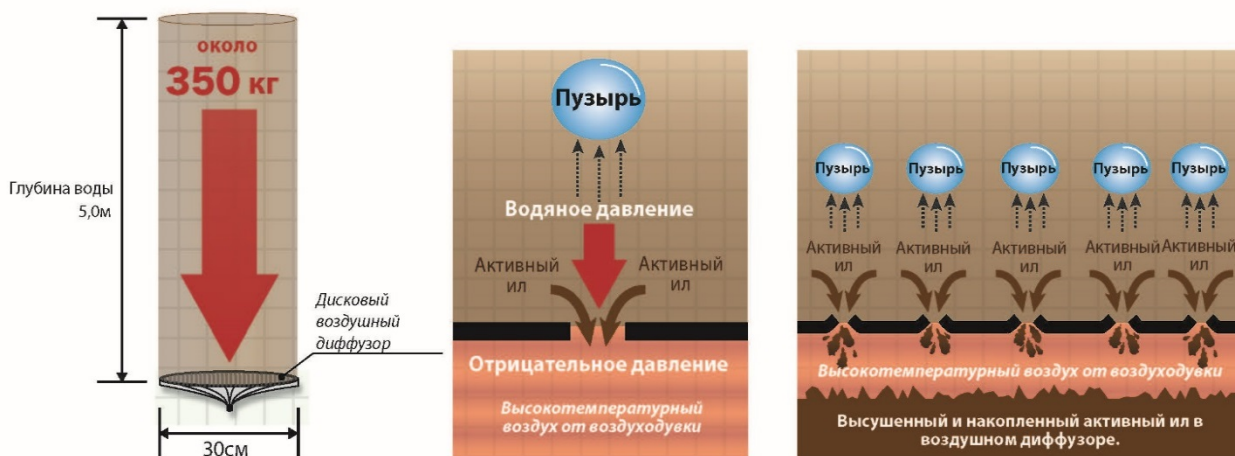
Неизбежное засорение

Воздух выпускается периодически из-за сопротивления воздушного потока и давления воды.

Вот почему образуются «сферические» пузырьки воздуха.



Частицы активного ила попадают в мембранные воздушные диффузоры из-за мгновенного отрицательного давления после выпуска воздуха. Отверстия для выпуска воздуха слишком малы, чтобы удалить противоток активированного ила. Противоточный активный ил высыхает из-за высокотемпературного воздуха из воздухоудвки и накапливается внутри мембранного воздушного диффузора. Поэтому мембранные воздушные диффузоры постоянно забиваются илом.



Когда дисковый мембранный воздушный диффузор диаметром 30 см установлен на дне аэротенка (глубина воды: 5,0 м), прибл. Давление воды 350 кг подается на воздушный диффузор.

Активного ила попадает в мембранный воздушный диффузор из-за мгновенного отрицательного давления после выпуска воздуха.

Противоточный активный ил высыхает из-за высокотемпературного воздуха из воздухоудвки и накапливается внутри мембранного воздушного диффузора.

Летом температура воздуха воздухоудвки достигает более 80 °C (= 176 °F).

**OHR**  
Original Hydrodynamic Reaction Technology

Разработано, изготовлено и продано  
OHR 流体工学研究所  
OHR LABORATORY CORPORATION

536-1 Noda, Irumashi, Saitama 358-0054 JAPAN  
TEL. +814-2932-5466 FAX. +814-2932-5605  
Demo room: 6-1 Minamishincho, Hachioijishi, Tokyo 192-0075 JAPAN

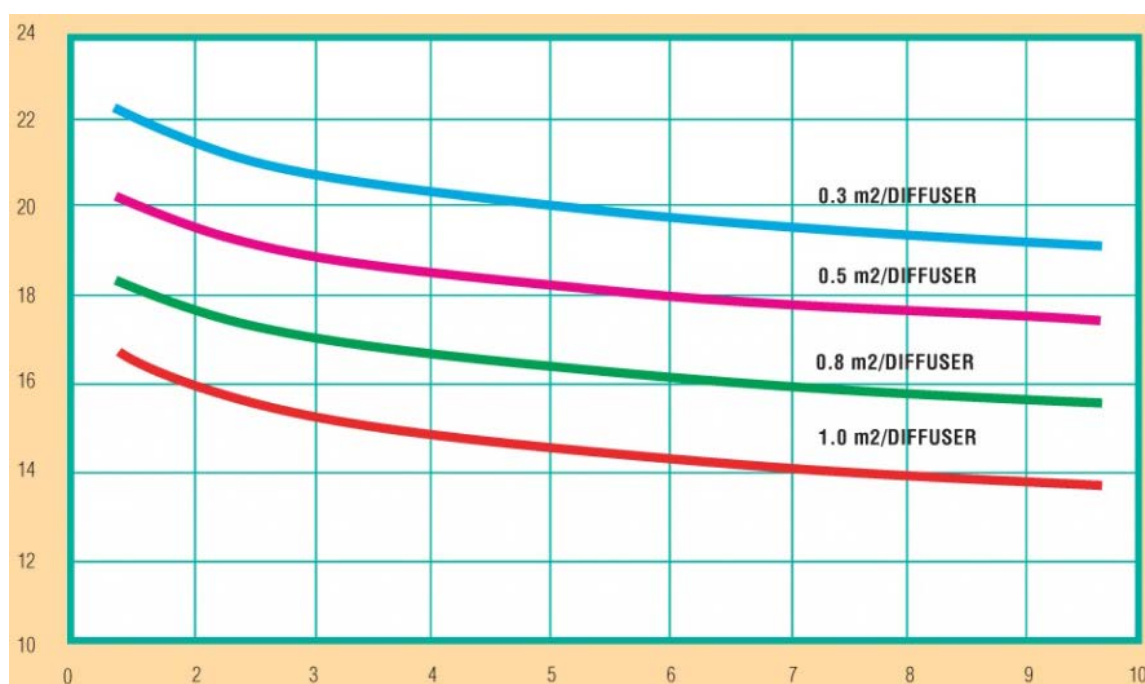
Website: <http://www.ohr-labo.com/en> E-mail: [info@ohr-labo.com](mailto:info@ohr-labo.com)

У мембранных трубчатых аэраторов существуют огромные сложности в их регулировании и поддержании необходимого равномерного распределения потока воздуха как по периметру сечения, так и по длине трубы аэратора, особенно с течением времени.

**Существует закономерная тенденция к снижению эффективности мембранных аэраторов (SOTE), особенно в случае увеличения расхода воздуха, причём это снижение значительно ниже, а кольматация и износ происходят в 3-4 раза быстрее, чем у дисковых волокнисто-пористых мелкопузырчатых аэраторов, при этом расход потребляемой электроэнергии выше на 30÷33%.**

Мембранные аэраторы имеют существенное ограничение на максимальный удельный расход воздуха и площадь диспергатора.

#### АЭРАТОР ДИСКОВЫЙ ФИРМЫ «SSI», МОДЕЛЬ AFD 350MM



*Эффективность переноса кислорода для м³ воздуха и м метров погружения*

Например, в статье «Экополимер» «Системы аэрации большой мощности» совершенно справедливо сказано, что **эффективность использования кислорода самая высокая у аэраторов при расходе воздуха 5,2÷6,3 м³/час одного аэратора.**

Вместе с тем, изготавливаются, рекламируются, проектируются и поставляются аэраторы этой фирмы в основном с производительностью 15÷30 м³/час, которые при эксплуатации значительно проигрывают многим другим производителям и пригодны в основном для одностороннего неэкономичного размещения в аэротенке. Как известно, такие схемы размещения аэраторов характеризуются значительными потерями воздуха и электроэнергии

В этой же статье утверждается, что «Экополимером» созданы аэраторы (АКВАТОР) с большой площадью диспергатора и высокой производительностью по воздуху

(15÷30 м³/час), способные обеспечить максимальную эффективность переноса кислорода.

Однако, всем профессиональным специалистам известно, что это не совсем так - с увеличением площади диспергатора, расхода воздуха степень переноса кислорода существенно падает, причем это падение гораздо выше, чем для дисковых аэраторов из пористой пластмассы. (См. график зависимости использования воздуха (COTE) от площади диспергатора и расхода воздуха немецкого аэратора с отверстием фирмы IFU).

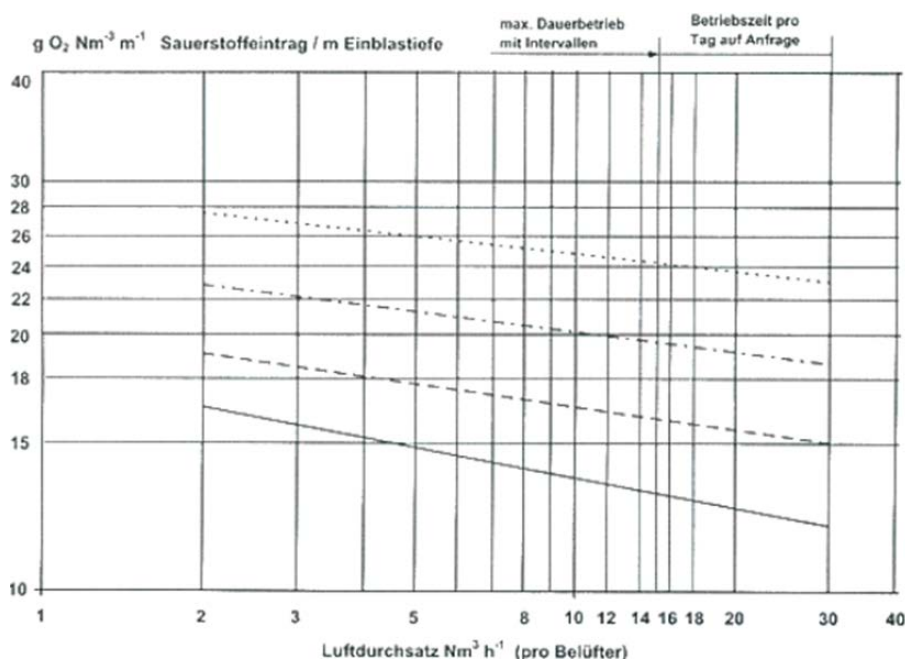
## Membranbelüfter IFU O<sub>2</sub> – GIGANT



- feinblasiger Membrantellerbelüfter
- Durchmesser 520mm
- mit Durchflutungsöffnung zur Minderung der Koaleszenz
- sehr hoher Sauerstoffeintrag
- ideal für festinstallierte und heraushebbare Systeme

### MEMBRAN-BELÜFTER IFU O<sub>2</sub>-GIGANT Ø 150 / 520 mm

|       |   |                                  |
|-------|---|----------------------------------|
| ..... | Flächenbelüftung mit maximaler Bestückung | 1 Stück auf 0,45 m <sup>2</sup>  |
| ..... | Flächenbelüftung mit mittlerer Bestückung | 1 Stück auf 1,125 m <sup>2</sup> |
| ..... | Flächenbelüftung mit minimaler Bestückung | 1 Stück auf 2,25 m <sup>2</sup>  |
| —     | Linienbelüftung                           | 1 Stück auf 4,5 m <sup>2</sup>   |



**ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕНОСА КИСЛОРОДА ОТ РАСХОДА ВОЗДУХА И ПЛОЩАДИ АЭРАТОРА**

Следует отметить, что впервые мембранный аэратор с отверстием **АВК/IFU Гигант**, с таким же высоким расходом воздуха как у «Экополимер», был разработан и запатентован в Германии фирмой IFU. При этом значительного успеха в его использовании на протяжении более десятка лет не отмечено.

**Стандартный мембранный дисковый аэратор с повышенным в 3-4 раза расходом воздуха, относительно аэраторов с оптимальным расходом воздуха 4-6 м<sup>3</sup>/ч, кроме вышеуказанных проблем с качеством и надежностью, имеет проблему с определенным увеличением скорости движения воздуха и значительного снижения эффективности переноса кислорода.**

**Специальный дисковый мембранный аэратор с эрлифтным эффектом (с отверстием) и повышенным расходом воздуха (15-30 м<sup>3</sup>/ч) (АВК/IFU Гигант, (Германия) и АКВА-ТОР «Экополимер» (РФ)) кроме вышеуказанных проблем с качеством и низким ресурсом эксплуатации имеет еще большую проблему с технологичностью его применения. Это еще большее увеличение скорости восходящего воздушного потока за счет эрлифта, а также невозможность оптимального равномерного распределения аэраторов в аэротенке ввиду их большой производительности по воздуху. Что приводит в конечном итоге к сокращению в 1,6 раза времени насыщения кислородом жидкости и соответствующего увеличения электроэнергии.**

Всплывающие пузырьки воздуха вышеуказанных **мембранных аэраторов с отверстием** вместе с увлекаемой ими жидкостью эрлифтного эффекта образуют мощный восходящий водовоздушно-кольцевой факел с повышенной скоростью движения воздуха.

Это объясняется тем, что при движении пузырьков в водо-воздушной совместной струе эрлифта аэратора с отверстием их скорость равна сумме скорости потока жидкости эрлифта аэратора и скорости движения выталкивающей силы пузырей относительно жидкости. Все это приводит к повышенному необоснованному увеличению требуемого расхода и скорости воздуха и, как следствие, повышенному энергопотреблению, после чего вступают в силу законы по значительному снижению эффективности аэратора.

Законы гидравлики делают свое дело - пузырьки сплющиваются, слипаются в направлении всплытия, происходит укрупнение пузырей основного потока воздуха.

Следует отметить, что кроме пользы частичного перемешивания воздуха «эрлифтным отверстием» такого аэратора (по определению «Экополимера» - до 15%), при их работе восходящий поток воздуха отклоняется к наружным сторонам водо-воздушного кольцевого факела с образованием струйности воздуха по его наружному диаметру. В результате увеличиваются размеры пузырей воздуха с резким повышением скорости всплытия. Барботажный слой при этом нестабилен и много воздуха проскакивает через жидкость в виде транзитных струек, т.е. кислород покидает воду без растворения.

В конечном счете эффективность пользы частичного перемешивания воздуха до 15% аэратора «Экополимера» исчезает из-за эрлифтного отверстия, который резко увеличивает скорость всплытия пузырей воздуха, сокращая время растворения кислорода.

**В силу большой единичной производительности мембранных аэраторов АКВА-ТОР происходит значительное снижение эффективности использования кислорода воздуха при значительном увеличении энергопотребления.**

К недостаткам таких аэраторов следует отнести невозможность значительного увеличения площади зоны аэрации, невозможность требуемого варьирования ширины аэрируемой зоны, что делает их особо непригодными для обеспечения необходимой минимальной интенсивности.

Реалии физической картины фактического массообмена мембранных аэраторов с отверстием АВК/IFU Гигант (Германия) и АКВА-ТОР «Экополимер» (РФ) далеки от декларируемых рекламных показателей.

## II. ТРУБЧАТЫЕ АЭРАТОРЫ

В любых трубчатых аэраторах пузырьки воздуха, выходящие из нижней и боковой частей пористой трубы, огибая её выпуклую поверхность при всплытии, коалисцируют, объединяются в струи, увеличиваясь в размерах, что приводит к увеличению скорости всплытия, переходу на струйный режим движения воздуха и существенному уменьшению времени контакта поверхности воздуха с жидкостью (см. рис.1, 2). Это, в свою очередь, приводит к значительному увеличению расхода воздуха на аэрацию сточных вод, резкому уменьшению коэффициента использования кислорода и увеличению энергопотребления.

Данный недостаток трубчатых аэраторов подтверждается рядом отечественных и зарубежных исследований и опытом эксплуатации. Исследователями приведены зависимости содержания кислорода в 1 м<sup>3</sup> воды от подачи воздуха дисковыми и трубчатыми аэраторами с равной поверхностью, из волокнисто-пористого материала одинаковой толщины. При пропуске через аэраторы, например, 6 м<sup>3</sup> /ч воздуха содержание кислорода в воде в варианте с дисковыми аэраторами составляло ~4,5 мг/л., в варианте с трубчатыми - около 2 мг/л.

Аналогичные исследования были проведены НИИКВОВ АКХ, РФ, совместно с НПО «Жилкоммунтехника», Республика Беларусь (см. приложение 1). Оценивалась эффективность волокнисто-пористых полиэтиленовых дисковых и трубчатых аэраторов: АКХ (РФ), «Белэкполь» (РБ), «Нокиа» (Финляндия), «Шумахер» (Германия). Исследования показали явное преимущество дисковых аэраторов перед трубчатыми.

### Так:

производительность по воздуху 1 м<sup>2</sup>:

- трубчатых аэраторов составляла - 41-167 м<sup>3</sup>/ч,
- дисковых - 79-237 м<sup>3</sup>/ч.,

при этом для окисления 1 кг. БПК расход электроэнергии составляет:

- для трубчатых аэраторов - 1,05 кВт.ч.
- для дисковых аэраторов - 0,7 кВт.ч.

Такая разница объясняется тем, что только 25-30% поверхности трубчатого аэратора работает правильно, участвует в процессе распыления воздуха (см. рис 1,2). При нагружении остальной круглой поверхности аэратора происходит режим струйности воздуха. Это можно увидеть на прилагаемой схеме работы трубчатого аэратора (см. фото 1,2,3). Как видно из схемы, при определенном расходе воздуха начинают работать боковые и нижние стенки трубчатого аэратора, что приводит к объединению выходящих пузырьков воздуха и их струйному движению с высокими скоростями.

В результате КПД аэраторов по насыщению жидкости воздухом резко уменьшается, а энергопотребление, соответственно, резко увеличивается (до 30%).

## СХЕМА ДВИЖЕНИЯ ПУЗЫРЬКОВ ВОЗДУХА, ДИСПЕРГИРУЕМЫХ ТРУБЧАТЫМИ АЭРАТОРАМИ

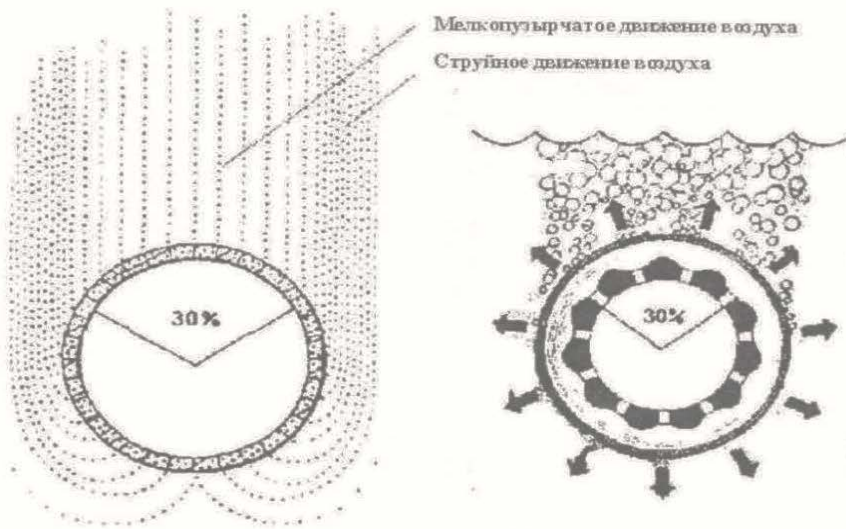


Рис.1

## СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТРУБЧАТЫХ (1) И ДИСКОВЫХ (2) АЭРАТОРОВ

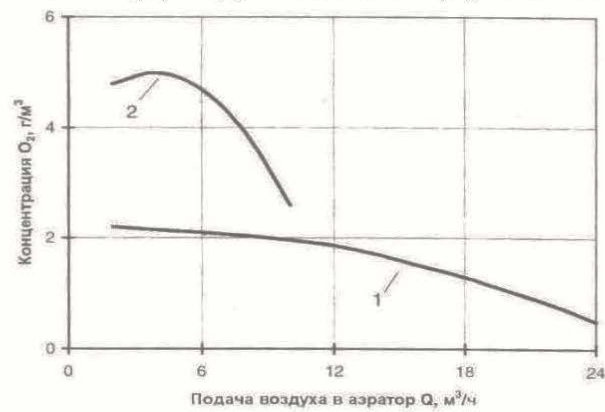


Рис.2



Отложение солей жёсткости и интенсивное биообрастание поверхности и внутренней стороны мембраны трубчатых аэраторов с быстрой кольматацией отверстий в период от нескольких месяцев до 1 года (см. фото) происходит по аналогии с дисковыми мембранными аэраторами.

Дополнительное уменьшение производительности становится особенно очевидным при использовании трубчатых аэраторов в аэротенках, ещё и из-за неравномерного распределения воздуха по поверхности аэратора происходит интенсивное биообрастание сначала нижней части, а затем и верха аэратора (см. рис. 3).

Разработанным более 45 лет назад и изготавливаемым по настоящее время в Беларуси волокнисто-пористым материалом диспергатора и аэраторами различных типов «Белэкполь» (автор Ракевич И.Л., г. Минск.) пользуются многие российские, украинские и другие зарубежные фирмы. Однако, эти организации пошли, в основном, по пути изготовления аэраторов трубчатого типа, а скопированный ими **материал из волокнисто-пористого полиэтилена изготавливается по сей день с недопустимым разбросом неоднородной сквозной пористости, из-за чего имеет место неравномерность распределения воздуха по поверхности аэратора и более низкая эффективность переноса кислорода.**

У трубчатых аэраторов с мембранным диспергатором существуют те же усталостно-деформационные проблемы, биообрастание, что приводит к быстрым изменениям физических свойств материала диспергаторов, то есть все те же проблемы, как и у дисковых мембранных аэраторов. Ресурс **нормальной эксплуатации** такого аэратора составляет 1-2 года.

**Накопленный опыт эксплуатации в различных странах и соответствующие исследования систем аэрации из полипропилена, полиуретана или резинопластика, особенно трубчатых мембранных аэраторов показал, что после 2-3 лет эксплуатации эти аэраторы работают, но уже в средне-крупнопузырчатом режиме с необходимостью увеличения расхода воздуха до 30 ÷ 40%.**

Существенным недостатком трубчатых аэраторов из волокнисто-пористого полиэтилена является отсутствие в них обратного клапана, что создаёт дополнительные проблемы при запуске системы аэрации или в случае неожиданного прекращения подачи воздуха в систему (остановка воздуходувки, обесточивание и т. д.).



## ИНТЕНСИВНОЕ БИООБРАСТАНИЕ ТРУБЧАТЫХ АЭРАТОРОВ ОЧЕВИДНО



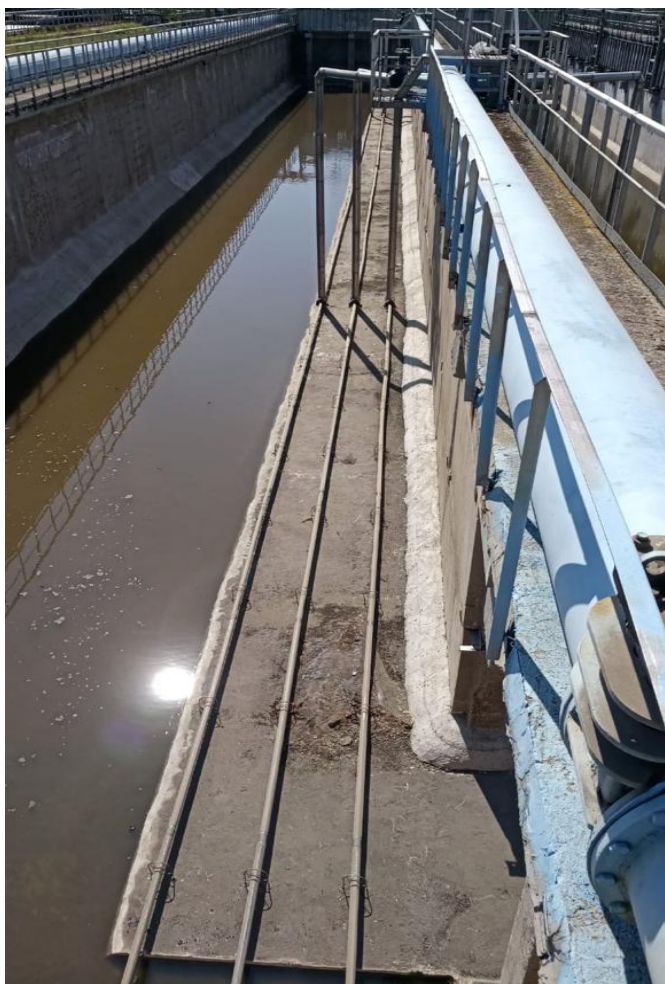
Рис.3

Специалистами установлено, что по вышеизложенной причине для всех типов трубчатых аэраторов, особенно из волокнисто-пористого полиэтилена, собранных в единую плетть или отдельные секции аэрации, наибольшей проблемой является равномерное распределение воздуха как по длине отдельного аэратора, так и по всей площади аэротенка, занимаемой аэраторами, особенно с их односторонним продольным расположением или использованием трубчатых секций аэрации с тупиковым распределением воздуха.

Это происходит, когда трубчатые аэраторы в секциях аэрации закрепляются консольно, без крепления концевой части аэраторов к днищу. В процессе эксплуатации при подаче воздуха концы аэраторов приподнимаются выше горизонтального положения (изгибаются вверх - см. рис.3). Это приводит к увеличению расхода выхода воздуха через концевые части аэраторов, что ускоряет процесс биообрастания основной части аэраторов, засорение пор с падением КПД аэраторов и системы аэрации в целом, с одновременным увеличением энергопотребления.



При одностороннем (двухстороннем или центральном) размещении системы аэрации в аэротенке необходимо значительное увеличение расхода воздуха, требуемого для создания поперечного циркуляционного потока по ширине аэротенка, т.е. минимальная интенсивность аэрации должна быть гораздо выше, чем при равномерном распределении аэраторов по всей площади аэротенка.



Научно и практически установлено, что **основной причиной снижения коэффициента использования кислорода при увеличении расхода воздуха является увеличение скорости циркуляционного потока и связанное с ним сокращение времени контакта кислорода с жидкостью.**

**Одностороннее, двухстороннее или центральное продольное расположение**

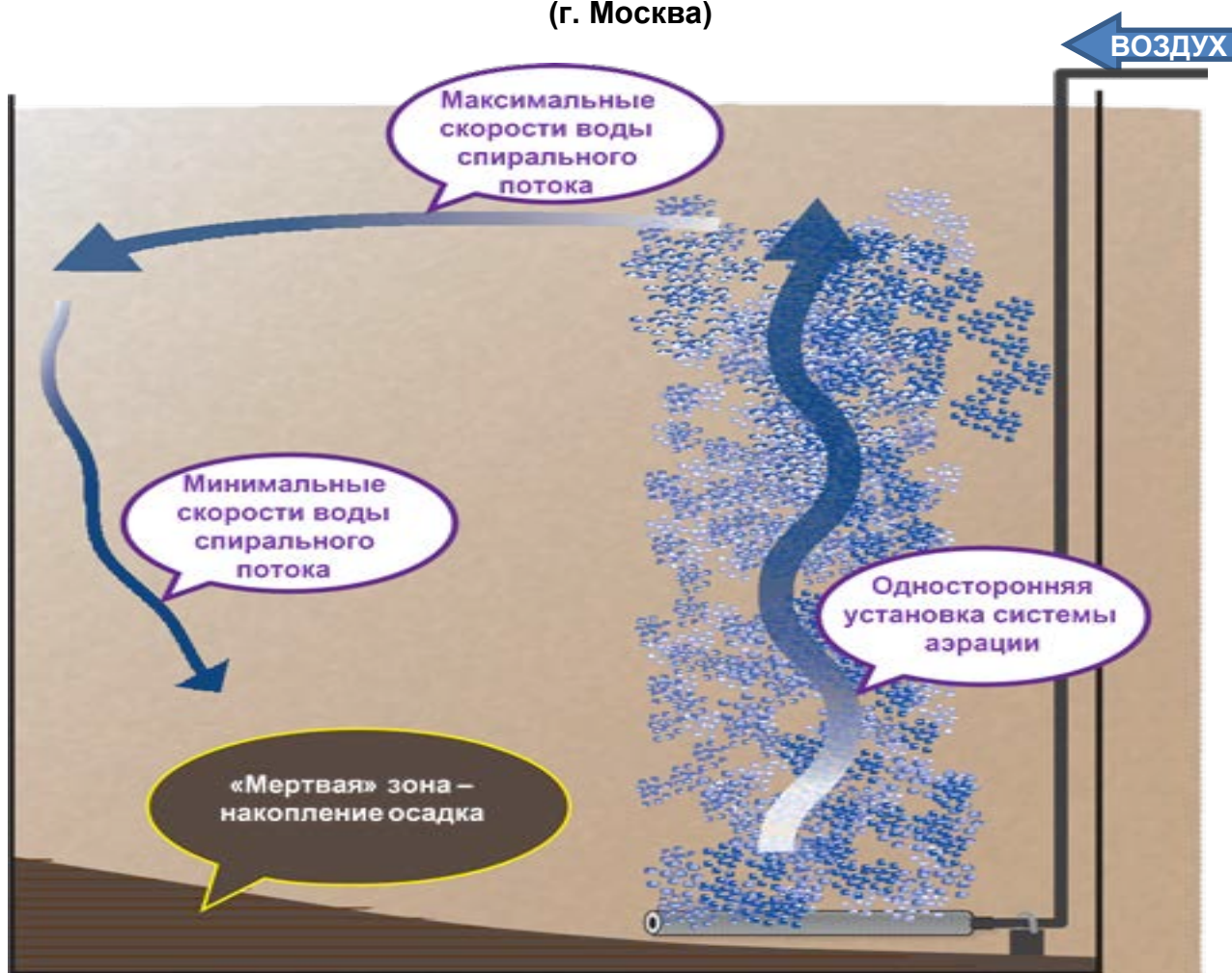
любых аэраторов (в том числе АКВА-ТОР) в аэротенке, особенно трубчатых с единой плетью, в отличие от расположения равномерно рассредоточенного по всей площади днища с дисковыми пористыми аэраторами в аэротенке требует создания в аэротенке интенсивной (спиральной) поперечной циркуляции иловой смеси, что вызывает в свою очередь (см. фото 4-5):

- значительное увеличение требуемого расхода воздуха и интенсивности аэрации в 1,6- 2 раза относительно варианта полного покрытия днища дисковыми аэраторами с соответствующим увеличением энергопотребления;
- увеличение скорости всплытия пузырьков воздуха практически втрое, с 0,3 м/с до 0,9 м/с со снижением вдвое массообменных характеристик и заявленной эффективности растворения кислорода SOTE%;
- коалесценция (слипание) пузырьков воздуха;
- образование струйности воздушного потока;
- невозможность достижения требуемой регулировки воздуха по длине аэратора и аэротенка;
- образованию застойных (мёртвых) зон с залеганием иловых отложений;
- необходимость разработки специального устройства по деаэрации циркулируемого ила перед его подачей в денитрификатор.
- изменение мелкопузырчатого режима работы трубчатого мембранного аэратора из полиуретана (и других эластомеров) на средне - крупнопузырчатой режим при эксплуатации в течении 1-2-х лет, с уменьшением в 1,6 - 2 раза эффективности передачи кислорода относительно аэрации мелкими пузырьками воздуха.

Учитывая вышеизложенное расчетный расход воздуха при эксплуатации в случае применения трубчатых мембранных аэраторов фактически следует увеличивать до 30%.



Аэрационная система АКВА-ТОР-М на Курьяновских очистных сооружениях (г. Москва)



Для создания поперечного циркуляционного (спирального) потока иловой смеси при одностороннем размещении аэраторов необходимо значительное (неэкономичное) повышение расхода воздуха.

Активный ил постепенно накапливается на дне аэротенка, что вызывает дефицит кислорода и ухудшает условия очистки сточных вод

**ОЧЕВИДНОСТЬ ЗАСТОЙНОСТИ «МЕРТВЫХ» ЗОН  
ПРИ ОДНОСТОРОННЕМ РАЗМЕЩЕНИИ АЭРАТОРОВ**



## **ВЫВОДЫ**

1. Существенным недостатком мембранных аэраторов является быстрая, непредсказуемая по времени, кольматация диспергатора с закупоркой его отверстий, а также усталостно-деформационные проблемы, связанные с быстрым изменением физических свойств материала диспергаторов.

2. Процесс эксплуатации мембранных аэраторов из полипропилена, полиуретана или резинопластика, особенно трубчатых аэраторов, сопряжен с преждевременным выходом из строя (в течение 1-2-х лет) поскольку связан с:

- отложением солей жёсткости на поверхности аэратора;
- интенсивным биообрастанием - кольматацией отверстий и межкорпусного пространства мембраны - поверхности волокнисто-пористого полиэтилена;
- изменением свойств материала динамическим усталостным режимом работы с приобретением остаточной деформации в виде выпуклой куполообразной формы мембраны;
- потерей эластичности и растяжением материала стенок отверстий мембран;
- увеличением входных отверстий воздуха (в течение 1-2-х лет) с дальнейшим изменением мелкопузырчатого режима работы мембранного аэратора и переходом на средне-крупнопузырчатой режим эксплуатации, с изменением, ухудшением эффективности передачи кислорода и повышением энергопотребления относительно аэрации с мелкими пузырьками воздуха в 1,6÷2 раза, что не отвечает в процессе эксплуатации системы аэрации декларируемой энергоэффективности для всех типов мембранных аэраторов.

3. У мембранных и волокнисто-пористых трубчатых аэраторов, особенно с тупиковым распределением воздуха в секции аэрации, существуют огромные сложности в их регулировании и поддержании необходимого равномерного распределения потока воздуха как по периметру сечения, так и по длине трубы аэратора, особенно с течением времени.

4. При использовании трубчатых аэраторов (из любых материалов) пузырьки воздуха, выходящие из нижней и боковой части пористой трубы, огибая её выпуклую поверхность при всплытии, коалисцируют, объединяются в струи, увеличиваясь в размерах, что приводит к увеличению скорости всплытия, переходу на струйный режим движения воздуха и существенному уменьшению времени контакта поверхности воздуха с жидкостью. Это, в свою очередь, создает:



- образование струйности воздушного потока, что требует значительного увеличения требуемого расхода воздуха и интенсивности аэрации в 1,6- 2 раза с соответствующим увеличением энергопотребления;
- коалиценцию (слипание) пузырьков воздуха из-за чего увеличивается размеры пузырьков и скорость всплытия воздуха практически втрое, с 0,3 м/с до 0,9 м/с со снижением вдвое массообменных характеристик и заявленной эффективности растворения кислорода SOTE%.

5. Сравнение трубчатых и пористых дисковых аэраторов показало явное конструктивное и технологическое преимущество последних, особенно по эффективности передачи кислорода – декларируемые показатели эффективности трубчатых мембранных аэраторов –  $18\text{гO}_2/\text{м}\cdot\text{м}^3$ , пористых дисковых АДМ-215ВП –  $20 - 30\text{гO}_2/\text{м}\cdot\text{м}^3$ , что выше на 1,6 раза.

6. Имеющееся значительное количество данных, полученных на разных сооружениях, показывает, что преимущества трубчатых мембранных аэраторов в части загрязнения и стабильности характеристик являются декларируемыми, а не реальными.

7. У разработчиков и производителей много противоречивых, некорректных теоретических выкладок, огромное несоответствие декларированных данных относительно эффективности пластинчатых, трубчатых и дисковых мембранных аэраторов.

8. Из опыта эксплуатации известно, что ряд вышеизложенных недостатков имеют место почти на всех очистных сооружениях с подобным использованием и расположением трубчатых и дисковых мембранных аэраторов в аэротенке.

9. Следует заметить, что это постоянно происходит независимо от предварительных исследований разработчиков мембранных аэраторов, их испытаний на «сертифицированных» установках и не зависит от того, проектировалась ли система аэрации с использованием «специальных математических моделей» или подбиралась при проектировании стандартным расчётным путём.

10. Очевидны не только нереальные декларируемые характеристики мембранных аэраторов, но и зависящие от них, планируемые результаты биологического процесса очистных сооружений в целом.

11. *Накопленный опыт эксплуатации в различных странах и соответствующий*

*щие исследования систем аэрации из полипропилена, полиуретана или резино-пластика, особенно трубчатых мембранных аэраторов показал, что после 1-2 лет эксплуатации эти аэраторы работают, но уже в средне-крупнопузырчатом режиме с необходимостью увеличения расхода воздуха до 30 ÷ 40%.*

12. Учитывая вышеизложенное при эксплуатации расчетный расход воздуха в случае применения различных трубчатых аэраторов из волокнисто-пористого полиэтилена и особенно мембранных трубчатых или дисковых аэраторов фактически следует увеличивать до 30% с соответствующим увеличением энергопотребления до 30-40%.

13. В результате, на многих очистных сооружениях очень быстро возникают проблемы с необходимостью повышения энергопотребления, нехваткой кислорода для процесса биологической очистки, необходимостью регенерации или замены аэраторов, а также всей воздухораспределительной системы. При этом, эксплуатационники, как всегда, остаются заложниками вышеуказанных проблем, связанных с качеством, эффективностью и низким ресурсом дисковых мембранных и трубчатых аэраторов.

14. Итак, мембранные аэраторы (дисковые, трубчатые, пластинчатые из различных материалов) согласно ряду отечественных и зарубежных исследований имеют при эксплуатации множество недостатков после одного двух лет эксплуатации (см. пункт 10).

Вместе с тем мембранные аэраторы применяются, особенно в западных странах, где при эксплуатации не видят проблем в их частой (1-2 года) замене с высокой стоимостью.

На Западе нет проблем с начислением и обязательным ежегодным использованием целевых амортизационных отчислений на расходные материалы – аэраторы и др. Там своевременная замена мембранных аэраторов четко увязывается с ежегодной технологической профилактикой сооружений (опорожнение, очистка, промывка стен емкостей, промывка или замена аэраторов, ревизия и ремонт технологического оборудования).

В результате осуществляется своевременная замена аэраторов, что позволяет обеспечить в свою очередь надёжность технологического процесса очистки сточных вод с недопущением перерасхода электроэнергии.

## РАВНОМЕРНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРАТОРОВ В АЭРОТЕНКЕ

Специалистами многих стран установлено, что **одностороннее** расположение аэраторов любых типов, не зависимо от их конструкций и характеристик, по эффективности значительно «проигрывает» варианту полного покрытия дисковыми аэраторами всей площади днища аэротенка с получением максимального эффекта использования кислорода и равномерного перемешивания всего объема аэротенка.

Общеизвестно, что только правильно рассчитанная равномерная расстановка по всему днищу аэротенка любых дисковых пористых аэраторов с высоко-развитой поверхностью, высокой эффективностью использования кислорода с оптимальной производительностью  $3\div 5$  м<sup>3</sup>/час способна обеспечить высочайшие показатели по эффективности использования кислорода и энергоэффективности системы аэрации в целом.

Это обеспечивает создание в аэротенке особых гидродинамических условий, способствующих увеличению скорости обновления поверхности раздела фаз, что интенсифицирует процессы массообмена.

Увеличение относительной ширины зоны аэрации с пористыми аэраторами с 0,1 до 1 позволяет уменьшить требуемый расход воздуха и интенсивность аэрации в  $1,6\div 2$  раза.

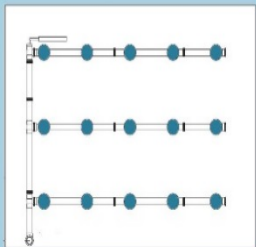
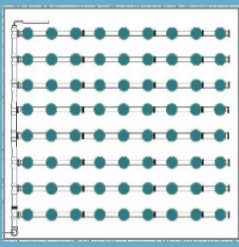
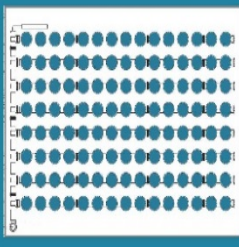
Увеличение ширины зоны аэрации с равномерным распределением аэраторов по всей площади аэротенков приводит к снижению приведенных затрат и расхода электроэнергии в 3 раза, в результате чего эффективность возрастает до 75% (относительно разных односторонних и центральных одно-двухрядных размещений аэраторов).



При увеличении площади зоны аэрации с равномерным распределением аэраторов нельзя переусердствовать с их распределением, нужно уметь создать на поверхности аэротенка сплошной аэрируемый слой, при этом без подавления эффекта одного аэратора другими из-за чего происходит значительное снижение растворимости кислорода.

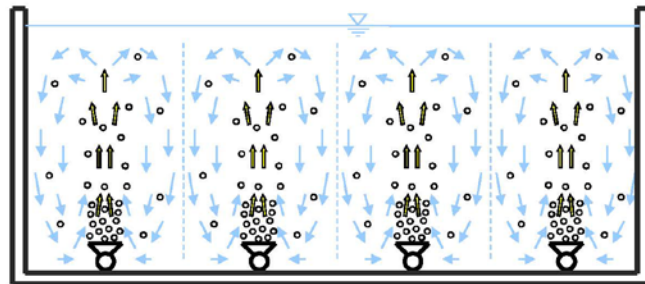
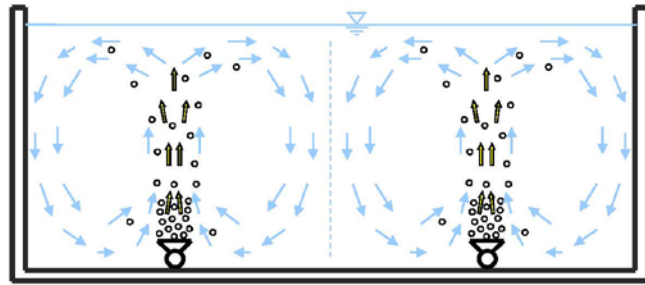
С трубчатыми, дисковыми мембранными аэраторами с их большими расходами по воздуху - более 15-20 м<sup>3</sup>/час. увеличение ширины зоны аэрации с равномерным распределением аэраторов по всей площади аэротенков практически невозможно, это приведет к значительным потерям электроэнергии.

# Оптимизация эффективности переноса кислорода за счет плотности диффузора

|   | недорогие установки   | Средние установки стоимости  | Дорогостоящие установки   |
|---|---|--|---|
| потребность в кислороде                 | 1000 kg/h   | 1000 kg/h  | 1000 kg/h   |
| Покрытие диффузора                      | 10 %  | 15 %   | 20 %  |
| Эффективность переноса кислорода [SOTE] | 32 %  | 34.5 %   | 37 %  |
| Необходимый поток воздуха               | 10300 Nm <sup>3</sup> /h  | 9600 Nm <sup>3</sup> /h  | 9000 Nm <sup>3</sup> /h   |
|   |  |  |  |

## Что влияет на SOTE?

- Диффузорное погружение
- Расход диффузора
- Плотность диффузора
- Геометрия, то есть расположение диффузоров



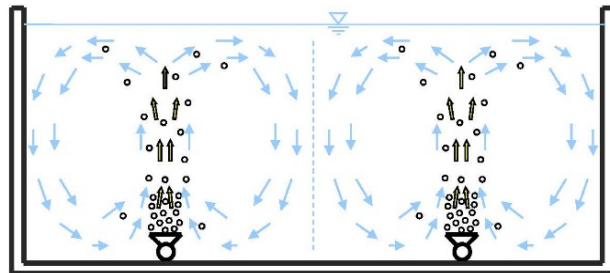
19

**SANITAIRE**  
a xylem brand

## Что делает Full-Floor-Coverage, Fine Bubble Aeration настолько эффективным?

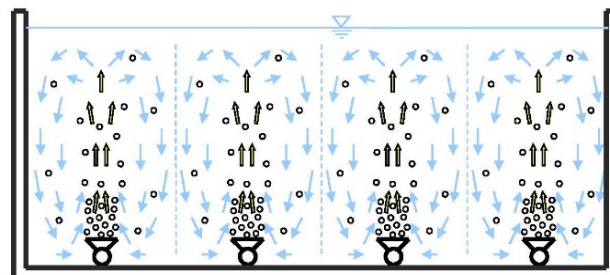
### Широкополосная конфигурация

Ячейки циркуляции воды велики, индуцирует высокую скорость воды и эффект накачки  
Сокращает время задержания пузыря



### Полное покрытие пола

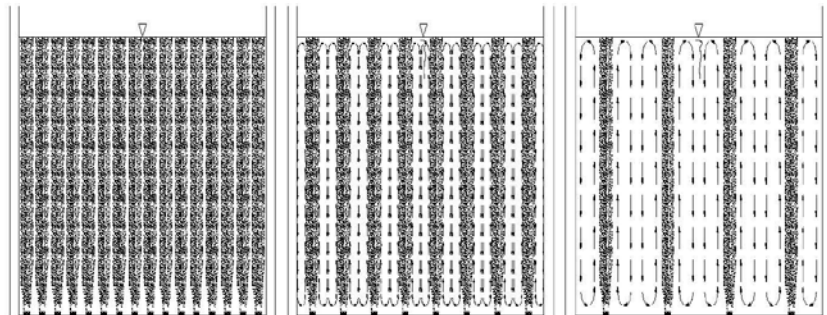
Ячейки циркуляции воды малы  
эффект накачки  
Время задержания пузыря максимально



20

**SANITAIRE**  
a xylem brand

## Increased efficiency by high diffuser density



| Distance between diffusers                        | 0,5m                      | 1,0m                      | 2,0m                     |
|---|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Bottom coverage<br>[floor area vs. membrane area] | 28%                       | 14%                       | 7%                       |
| Air flow rate                                     | 224 Nm <sup>3</sup> /h    | 272 Nm <sup>3</sup> /h    | 341 Nm <sup>3</sup> /h   |
| Energy consumption                                | 6.4 kW                    | 7.6 kW                    | 10.1 kW                  |
| SAE efficiency                                    | 3.9 kgO <sub>2</sub> /kWh | 3.3 kgO <sub>2</sub> /kWh | 2.5kgO <sub>2</sub> /kWh |

Unterschiedliche Belegungsdichte für 25 kgO<sub>2</sub>/h

© Jäger Umwelt-Technik GmbH  
13.06.2017

**JÄGER**  
Umwelt-Technik

## ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Р. Ш. НЕПАРИДЗЕ, чл.-кор. Академии ЖКХ РФ, канд. техн. наук (НИИ КВОВ)

## Мелкопузырчатая система аэрации в аэротенках

Для очистки городских сточных вод преимущественное распространение получили очистные сооружения, на которых биохимическое окисление основной массы органических загрязнений осуществляется в аэротенках. Прогнозы развития методов очистки сточных вод свидетельствуют о том, что и в будущем будут применяться в основном станции аэрации (самостоятельно или в комплексе с сооружениями физико-химического глубокого изъятия загрязнений).

В настоящее время в городах Российской Федерации (без Москвы и С.-Петербурга) эксплуатируются до 400 городских станций аэрации с суммарным ежедневным притоком сточных вод более 14 млн. м<sup>3</sup>, при этом указанные станции расходуют около 6 млн. кВт·ч электроэнергии. В табл. 1 приведено потребление электроэнергии на станциях аэрации в зависимости от производительности очистных сооружений. Наибольший расход электроэнергии требуется на аэрацию сточных вод в аэротенках, на станциях производительностью 25–300 тыс. м<sup>3</sup>/сут он составляет свыше 64–80 %, с увеличением производительности станций доля энергозатрат возрастает.

Опыт эксплуатации очистных сооружений ряда городов РФ свидетельствует, что затраты электроэнергии можно сократить на 15–20 % разными способами регулирования подачи воздуха в аэротенки в течение суток в зависимости от колебания расхода и состава сточных вод. Од-

нако более существенный и стабильный эффект в экономии электроэнергии, как показывает мировой опыт, может быть достигнут за счет совершенствования аэрационных устройств.

Экономичность системы аэрации можно оценить по эффек-

тивности окисления органических веществ. В табл. 2 приведены данные эффективности окисления современных систем аэрации фирм Германии, Финляндии и других стран (глубина погружения аэратора принята 4 м, потери напора в трубопроводах

Таблица 1

| Показатель  | Потребление электроэнергии, млн. кВт·ч, на станциях аэрации производительностью, тыс. м <sup>3</sup> /сут |       |         |          |           |
|---|---|-------|---------|----------|-----------|
|   | До 25   | 50    | 100     | 300      | > 300     |
| Удельный расход электроэнергии на станции, кВт·ч/(кг·БПК <sub>5</sub> ) | 3,9–4,3   | 3–3,4 | 2,1–2,4 | 1,54–1,8 | 1,25–1,45 |
| В том числе на воздуходувки, кВт·ч/(кг·БПК <sub>5</sub> )               | 2,5–2,8   | 2–2,3 | 1,5–1,7 | 1,2–1,37 | 1,02–1,17 |
| Доля энергозатрат на аэрацию от общего потребления по станции, %        | 64–65   | 67–68 | 72      | 76–78    | 80        |

Таблица 2

| Нагрузка на ил, кг·БПК <sub>5</sub> /(кг·сут) | Расход кислорода, кг/(кг·БПК) | Степень использования кислорода, % | Эффективность окисления, кг/(кВт·ч) | Расход воздуха, м <sup>3</sup> /(кг·БПК <sub>5</sub> ) | Затраты электроэнергии, кВт·ч/(кг·БПК <sub>5</sub> ) |
|---|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| <b>Трубчатые аэраторы</b>                     |                               |                                    |                                     |  |  |
| 0,1   | 1,6                           | 9,8                                | 1,52                                | 58,3   | 1,05   |
| 0,2   | 1,2                           |                                    |                                     | 43,7   | 0,79   |
| 0,3   | 1                             |                                    |                                     | 36,5   | 0,66   |
| 0,4   | 0,87                          |                                    |                                     | 31,6   | 0,57   |
| 0,5   | 0,8                           |                                    |                                     | 29,1   | 0,53   |
| <b>Плоские аэраторы</b>                       |                               |                                    |                                     |  |  |
| 0,1   | 1,6                           | 13,6                               | 2,11                                | 42   | 0,76   |
| 0,2   | 1,2                           |                                    |                                     | 31,5   | 0,57   |
| 0,3   | 1                             |                                    |                                     | 26,3   | 0,47   |
| 0,4   | 0,87                          |                                    |                                     | 22,8   | 0,41   |
| 0,5   | 0,8                           |                                    |                                     | 21   | 0,38   |
| <b>Механические поверхностные аэраторы</b>    |                               |                                    |                                     |  |  |
| 0,1   | 1                             | -                                  | 1,54                                | -  | 1,05   |
| 0,2   | 1,2                           |                                    |                                     |  | 0,78   |
| 0,3   | 1                             |                                    |                                     |  | 0,65   |
| 0,4   | 0,87                          |                                    |                                     |  | 0,56   |
| 0,5   | 0,8                           |                                    |                                     |  | 0,52   |



Таблица 3

| Системы аэрации                             | Потребление электроэнергии на аэрацию, кВт·ч/сут, при производительности станции аэрации, м³/сут |        |         |
|---|--|--------|---------|
|   | 5000   | 50 000 | 500 000 |
| Плоские пористые мелкопузырчатые аэраторы   | 272  | 2720   | 27 200  |
| Механический поверхностный аэратор          | 373  | 3730   | 37 300  |
| Трубчатые пористые мелкопузырчатые аэраторы | 378  | 3780   | 37 800  |
| Дырчатые трубы                              | 700  | 7000   | 70 000  |

300 мм вод. ст., в аэраторе 500 мм вод. ст.). Из табл. 2 видно, что более высокой эффективностью окисления обладают плоские аэраторы.

Интерес представляет также оценка затрат общего энергопотребления отдельными системами аэрации. Характерные значения этих данных для очистных сооружений различных мощностей, приведенные в табл. 3, показывают, что путем правильного подбора и использования аэрационных систем с наиболее высоким коэффициентом окисления достигается значительное сокращение расхода электроэнергии для очистки сточных вод. Поэтому не случайно модернизации и созданию новых типов аэрационных устройств уделялось большое внимание.

Все вышеперечисленные системы аэрации применяются в отечественной практике, причем наибольшее распространение получила мелкопузырчатая пневматическая аэрация с распределением воздуха через фильтросные пластины и трубы. Однако накопленный опыт эксплуатации свидетельствует об их существенных недостатках, которые связаны со сложностью и трудоемкостью заделки в каналы пластин и труб.

Частые нарушения крепления пластин к каналам и образование трещин в местах соединения фильтросных труб приводят к непроизводительному расходованию воздуха, перерасходу электроэнергии, отрицательно влияют на технологический про-

цесс очистки сточных вод. Капитальный ремонт фильтросных пластин, труб и каналов, как правило, приходится производить через каждые 3–5 лет с выключением аэротенков из работы на длительное время, что связано с большими трудностями в эксплуатации и материальными затратами.

Отмеченные недостатки можно исключить, применяя аэрационные устройства, изготовленные из пластмассы с распределением воздуха через пористые полиэтиленовые пластины. Такие устройства полностью изготавливаются на заводе, поставляются комплектно, просты в монтаже и эксплуатации, эффективны в работе.

В НИИ КВОВ совместно с БЕЛКТИ (Беларусь), НПО Пластик, Сочинским Водоканалом и МЖКХ Молдовы проведены сравнительные испытания различных типов аэраторов в лабораторных, полупроизводственных и производственных условиях. Испытанию подвергались наиболее распространенные в мире аэраторы, обладающие высокими технико-экономическими характеристиками: пористые полиэтиленовые тарельчатые и трубчатые аэраторы фирмы «Нокиа» (Финляндия), керамические дисковые и трубчатые аэраторы фирмы «Шумахер» (Германия), тканевые трубчатые аэраторы фирмы «ЮИТ» (Финляндия) и др.

Аэраторы были смонтированы в четырех секциях аэротенков-отстойников на станции

очистки сточных вод производительностью 200 м³/сут на испытательном полигоне НИИ КВОВ. Размеры каждой секции аэротенков-отстойников: длина 3 м, ширина 6 м, глубина 3 м. Объем аэротенка-отстойника 50 м³, глубина погружения аэраторов 2,7 м, система аэрации оснащена соответствующими контрольно-измерительными приборами.

Все испытанные аэраторы показали высокую эффективность в работе, однако по ряду показателей: стоимость, масса, трудоемкость изготовления, долговечность, легкость в монтаже, возможность регенерации – предпочтительнее оказались пластмассовые аэраторы (трубчатые и дисковые) финского производства, и именно они были рекомендованы для дальнейших исследований.

Проверка данных аэраторов в производственных условиях проводилась на очистных сооружениях г. Флорешти (Молдова) совместно с МЖКХ Молдовы и финскими специалистами. В процессе испытаний были проанализированы основные факторы, влияющие на общую эффективность работы очистной станции. В первую очередь – это производительность трубчатых и дисковых аэраторов, эффект очистки сточных вод по основным показателям, устойчивое наличие растворенного кислорода в аэротенках, затраты электроэнергии на аэрацию. Выполнена также сравнительная оценка величин минимальной необходимой интенсивности аэрации в пластмассовых трубчатых и дисковых аэраторах по сравнению с аэраторами из керамических и дырчатых труб.

Производительность аэрационных систем была проверена как для единицы комплектов аэраторов, так и 1 м² площади аэраторов. При разных режимах подачи воздуха пропускная способность по воздуху для одного трубчатого аэратора составляет 5–20 м³/ч, для одного дискового аэратора – 2–6 м³/ч; производи-

Таблица 4

| Месяц   | БПК <sub>5</sub> , мг/л |           | Взвешенные вещества, мг/л |           | ХПК, мг/л |       |
|---------|-------------------------|-----------|---------------------------|-----------|-----------|-------|
|         | вход                    | выход     | вход                      | выход     | вход      | выход |
| Декабрь | 229                     | 18/16     | 202                       | 21/16     | 286       | 64/61 |
| Январь  | 184                     | 17/14     | 109                       | 21/12     | 223       | 62/59 |
| Февраль | 168                     | 18,8/15   | 101                       | 19/13     | 276       | 73/68 |
| Март    | 244                     | 18/16     | 168                       | 19/13     | 460       | 58/51 |
| Апрель  | 119                     | 9,1/9,5   | 122                       | 16/15,5   | 194       | 60/55 |
| Май     | 200                     | 14,4/13,7 | 106                       | 13,7/13,8 | 295       | 69/67 |
| Июнь    | 144                     | 15,7/13,6 | 145                       | 20/15,2   | 245       | 59/50 |
| Июль    | 184                     | 18/12,8   | 136                       | 17/16     | 283       | 58/52 |

Примечание. Числитель – с трубчатыми аэраторами, знаменатель – с дисковыми аэраторами.

тельность  $1 \text{ м}^2$  трубчатого аэратора  $41\text{--}167 \text{ м}^3/\text{ч}$  воздуха, дискового аэратора  $79\text{--}237 \text{ м}^3/\text{ч}$  воздуха. Более высокая производительность  $1 \text{ м}^2$  дискового аэратора связана с тем, что только 25–30 % площади трубчатого аэратора участвует в процессе аэрации. Этот недостаток работы трубчатых аэраторов отчетливо просматривался при их испытании в прозрачных полупроизводственных установках аэротенков.

В табл. 4 приведены технологические данные эффекта очистки сточных вод по БПК, взвешенным веществам и ХПК обеих систем аэраторов в эксплуатационных условиях. Как видно из табл. 4, за весь период испытаний показатели очистки были высокими и приблизительно равными. Растворенный кислород в секциях аэротенков поддерживался в пределах 3–4 мг/л (в отдельные периоды суток 3–10 мг/л), минимальная интенсивность аэрации, исключая выпадение ила в осадок, составила  $1,4 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  [в СНиП 2.04.03–85 для общепринятых типов аэраторов рекомендуется интенсивность  $5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ], коэффициент использования кислорода воздуха для трубчатых аэраторов составлял 4,4–5,3 %, для дисковых аэраторов – 12–18 %. Проверка наличия отложения на дне аэротенка с дисковыми аэраторами показала, что при минимальной интенсивности аэрации  $1,4 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  и выше ил не выпадает

и сохраняется однородность иловой смеси по всей высоте аэротенка. В аэротенках с трубчатыми аэраторами отложение ила на дне сооружения предотвращается при минимальной интенсивности аэрации  $4,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  и выше. Затраты электроэнергии на 1 кг снятой БПК<sub>5</sub> составили для дисковых аэраторов 0,6 кВт·ч/кг, для трубчатых – 0,95 кВт·ч/кг, потери напора в дисковых аэраторах 120–130 мм против 190–220 мм по паспорту, для трубчатых аэраторов – 20–30 мм против 120–140 мм по паспорту.

Таким образом, лабораторные, полупроизводственные и производственные испытания различных типов аэраторов показали следующие результаты: высокоэффективная подача сжатого воздуха за весь период испытаний аэраторов на разных этапах, стабильная очистка сточных вод; высокая пропускная способность всех типов испытываемых аэраторов по воздуху; незначительные потери напора; относительно низкие затраты электроэнергии по сравнению с традиционными аэраторами; легкость и быстрота монтажа; низкая металлоемкость и отсутствие коррозии; возможность регенерации аэрационной системы, исключая трудоемкий процесс опорожнения аэротенков.

Эти данные убедительно доказали необходимость создания и широкого применения аналогичных систем в нашей стране, что в последующем и было осу-

ществлено. Вместе с тем сравнение трубчатых и плоских аэраторов показало явное конструктивное и технологическое преимущество последних: они более прочны, эффективнее и обладают более широким диапазоном применения. Поэтому на дальнейшем этапе разработки пластмассовой мелкопузырчатой системы аэрации основное внимание было уделено именно этим типам аэраторов.

При создании мелкопузырчатой системы аэрации из пластмасс основное внимание уделялось разработке пористой воздухораспределительной пластины, в которой формируются и из которой выходят мелкие пузырьки сжатого воздуха в жидкостном пространстве аэротенка. Был соблюден ряд основополагающих условий, факторов и параметров, которые имеют определяющее значение при образовании мелких пузырьков воздуха и его распределении в толще аэротенка.

Влияние размера пузырьков воздуха на коэффициент использования кислорода и на процесс массопередачи отражено в отечественной и зарубежной литературе. Согласно этим работам, пневматическая система аэрации разделена на две основные: мелкопузырчатую (диаметр пузырьков воздуха 2–3 мм) и среднепузырчатую (диаметр 10–12 мм) системы аэрации. Большое значение имеет однородность пузырьков воздуха, которая определяет величину среднего диаметра пузырьков в воде.

Результаты ряда исследований, в том числе проведенных в НИИ КВОВ и Беларуси, свидетельствуют, что максимального значения коэффициенты массопередачи и использования кислорода для мелкопузырчатой системы аэрации достигают при среднем диаметре пузырьков 2–2,5 мм и снижаются в 1,5–2,5 раза при отклонении диаметра пузырьков от этих размеров. Поэтому в разрабатываемые аэраторы был заложен данный параметр (диаметр пузырьков 2–2,5 мм).

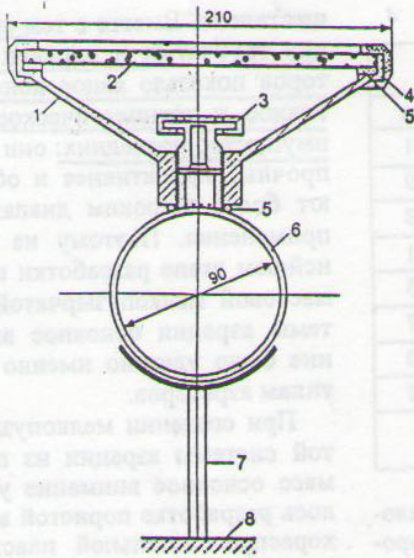


Рис. 1. Пластмассовый мелкопузырчатый аэратор НИИ КВОВ с двухслойной пористой пластиной  
1 - корпус аэратора; 2 - двухслойная пористая пластина; 3 - обратный клапан; 4 - зажимное кольцо; 5 - резиновое уплотнение; 6 - воздухопровод; 7 - стойка; 8 - дно аэротенка

На формирование пузырьков воздуха определенных размеров существенное влияние оказывает пористая структура аэрационного элемента, которая для пористой полиэтиленовой пластины определяется тремя независимыми параметрами: диаметром гранул, объемной плотностью и толщиной пластины. Экспериментальным путем на испытательном стенде были определены размеры гранул, пористость пластины и ее толщина, обеспечивающие формирование пузырьков воздуха мелкопузырчатого размера. Толщина пластины в пределах 8-12 мм не оказывает существенного влияния на диаметр пузырьков.

Совместные работы НИИ КВОВ и БЕЛКТИ определили общие подходы к изготовлению и серийному производству аэраторов (материалов пористой пластины и корпуса аэраторов, способов их закрепления на магист-

ральных воздуховодах и др.) с учетом имеющегося опыта ведущих зарубежных фирм. Разработаны два типа аэратора конструкции НИИ КВОВ и конструкции БЕЛКТИ. Основное отличие их друг от друга заключается в использовании разного материала и способа изготовления пористой воздухораспределительной пластины.

Аэраторы НИИ КВОВ (рис. 1) имеют следующие параметры: диаметр аэратора 210 мм; размер пузырьков воздуха 2-2,5 мм; расчетное количество воздуха через один аэратор 5-8 м<sup>3</sup>/ч; потери напора 100-200 мм вод. ст., коэффициент использования воздуха 15-25 % (рис. 2); срок эксплуатации - не менее 20 лет.

Производственные испытания аэраторов осуществлены на очистных сооружениях канализации г. Сочи (рис. 3) и на нескольких объектах канализации Московской обл. (Павловский Посад, Сергиев Посад, Монино и др.). Данными аэраторами оснащены также станции для очистки сточных вод «Ручей», которые в настоящее время широко вне-

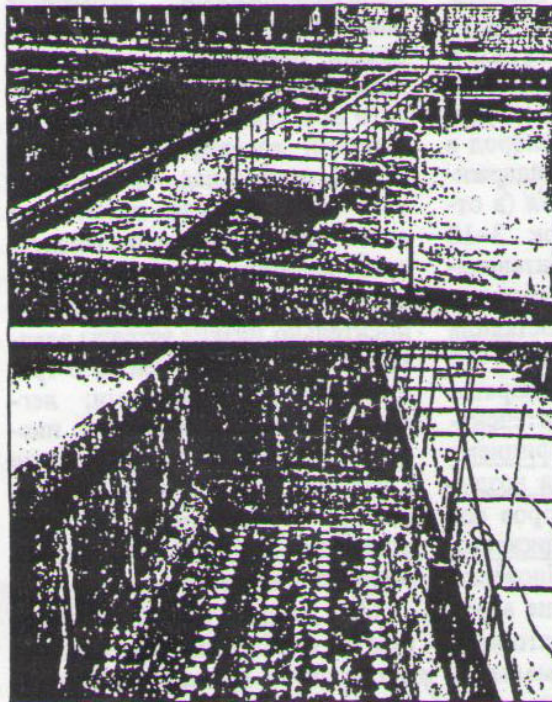


Рис. 3. Аэротенки, переоборудованные мелкопузырчатой системой аэрации НИИ КВОВ

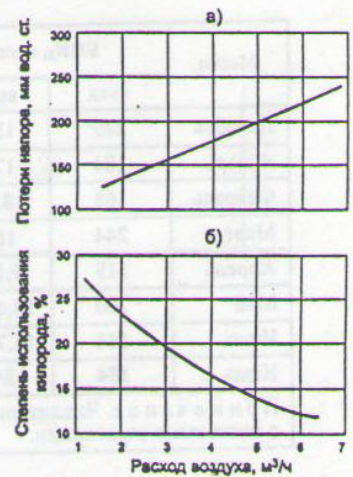


Рис. 2. Потери напора (а) и производительность по использованию кислорода (б) мелкопузырчатых пластмассовых аэраторов НИИ КВОВ

ряются в практику и успешно эксплуатируются.

Наблюдения при испытании и эксплуатации показали, что разработанные НИИ КВОВ аэраторы по сравнению с традиционными керамическими пластинами и трубами обеспечивают снижение: капитальных затрат на 40-50 %, затрат монтажных работ на 50 %, энергозатрат на 25-30 %. С точки зрения проведения технологического процесса в аэротенке разработанные аэраторы по сравнению с другими типами аэрации имеют ряд преимуществ:

равномерное и плавное перемешивание смеси активного ила по всему объему аэротенка исключает наличие застойных зон в аэротенке, предотвращает разбивание хлопьев ила и улучшает осаждение во вторичном отстойнике;

достигается оптимальное перемешивание активного ила и равномерность распределения содержания кислорода, что в свою очередь обеспечивает более полное проведение процесса биологической очистки;

значительно сокращается наличие бактериаль-

ных аэрозолей над аэротенками и в целом на территории очистных сооружений.

Проверка аэраторов в масштабе городской очистной станции показала, что использование аэрационных элементов из пористого полиэтилена, имеющих в 4 раза меньшую площадь рабочей поверхности, чем фильтросные пластины, позволяет выполнять днище аэротенка с развитыми аэрационными системами и изменять ширину зоны аэрации в более широких пределах, что является предпосылкой сокращения необходимой величины интенсивности аэрации.

Возможность повышения эффективности работы аэрационной системы при увеличении ширины зоны аэрации (соотношения площадей аэрируемой зоны и аэротенка  $f_{az} / f_{at}$ ) отражена в действующих нормативах. Согласно СНиП, увеличение относительной ширины зоны аэрации с 0,1 до 1 позволяет уменьшить требуемый расход воздуха и интенсивность аэрации в 1,6 раза. Однако из-за широкого использования в системах пневмоаэрации стандартных фильтросных пластин и труб увеличение ширины зоны аэрации не достижимо и составляет 0,1–0,3.

Основным препятствием увеличения ширины зоны аэрации на основе стандартных фильтросных пластин является невозможность устройства многочисленных фильтросных каналов по всему днищу аэротенка. Кроме того, увеличение числа фильтросных пластин и уменьшение общего расхода воздуха приведет к тому, что нагрузка по воздуху на один элемент фильтросной пластины будет меньше рекомендованной величины (80–120 л/мин). В результате фильтросные элементы (или подобные типы аэраторов) будут работать частью рабочей поверхности, т. е. наступит режим «захлебывания».

Технико-экономический расчет мелкопузырчатой системы аэрации с плоскими пластмассовыми аэраторами для различных

## «Служба - Водтехносервис»

Тел.: (095) 245-98-26  
Факс: (095) 245-95-61  
E-mail: vtsserv@cityline.ru



### Сертифицированные очистные сооружения:

- «БРИЗ-М» – для глубокой биологической очистки бытовых сточных вод производительностью от 5 до 5000 м<sup>3</sup>/сут
- «БРИЗ-Л» – для очистки ливневых (нефте содержащих) сточных вод производительностью до 50 м<sup>3</sup>/ч

**Область применения:** для очистки ливневых, бытовых и близких к ним по составу сточных вод в условиях автономного обеспечения индивидуальной жилой застройки (коттеджные поселки, дома отдыха, пансионаты, лагеря, объекты малого и среднего бизнеса).

### «С-ВТС» обеспечивает:

- разработку и согласование индивидуальных проектов очистных сооружений, типовые проектные решения
- поставку очистных сооружений с комплектующим оборудованием
- авторский надзор за СМР и пусконаладочные работы
- гарантийное и постгарантийное обслуживание

### Почтовый адрес:

119992, Москва, Г-48, ГСП-2,  
Комсомольский пр-т, д. 42, стр. 2

значений параметра  $f_{az} / f_{at}$  (0,1; 0,3; 0,5; 1). Показал, что при прочих равных условиях увеличение ширины зоны аэрации приводит к снижению приведенных затрат. Например, для мелкопузырчатой системы аэрации с параметром  $f_{az} / f_{at} = 1$  по сравнению с аэрационной системой при  $f_{az} / f_{at} = 0,1$  увеличение капитальных вложений на 65 % компенсируется сокращением эксплуатационных затрат за счет снижения интенсивности аэрации и расхода электроэнергии в 3 раза, в результате чего приведенные расходы снижаются до 75 %.

В результате проведенных мероприятий разработан технологический регламент изготовления пористых аэрационных пластин из полиэтилена и освоено их промышленное производ-

ство. Способ изготовления пористых аэрационных пластин защищен патентом РФ<sup>1</sup>. Разработаны и созданы оснастки для изготовления корпусов аэраторов из полиэтилена, освоено их серийное производство.

**Расчет, проектирование (или техзадание на проектирование), изготовление и поставка мелкопузырчатой системы аэрации из полиэтилена осуществляется НИИ КВОВ.**  
Тел.: 491-09-04, тел./факс: 491-55-03.

<sup>1</sup> Пат. 1666476 РФ, МКИ С 08 G 9 / 24, С 08 L 23106. Способ изготовления пористых изделий из полиэтилена / Р. Ш. Непаридзе, В. Ф. Афанасьев, Г. А. Острецов и др. // Открытия. Изобретения. 1991. № 28.

## Литература:

---

1. СП 32.13330.2018 «СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения».
2. Данилович Д.А., к.т.н. «Опыт совершенствования и оценки эффективности аэрационных систем».
3. В.И. Баженов, д.т.н. (ЗАО «Водоснабжение и водоотведение») Выбор мембранных аэраторов для аэротенков с управляемыми процессами очистки.
4. Загорский В.А., Данилович Д.А., Дайнеко Ф.А., Белов Н.А., Березин С.Е., Баженов В.И., Эпов А.Н. Реконструкция аэротенков Люберецкой станции аэрации с внедрением технологии нитри-денитрификации // Журнал «Водоснабжение и санитарная техника». – 1999 - №11 с.-28-31.
5. Ракевич И.Л. «Аэраторы и системы аэрации» //Журнал «Вода», г.Минск, июль 1997г.
6. «Экополимер», «Современные водные технологии». Научно-практический сборник. 2002 г.
7. Брагинский Л.Н., Евилевич М.А., Бегачев В.И. «Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод», Ленинград «Химия», 1980 г.
8. Худенко Б.М., Шпирт Е.А. «Аэраторы для очистки сточных вод», Москва, Стройиздат, 1973 г.
9. Информационные проспекты фирм: ЗАО «Бакор», ГК Экополимер, НПФ Экотон, НПФ «Этек», ЗАО «Креал», ЗАО «Уралставан-инжиниринг», U&D, REHAU, Bioworks, VODAKO, Sanitare, SSI, NOPON, Siemens, Gummi-Jaeger.
10. Информационный проспект фирмы OHR LABORATORY CORPORATION, JAPAN.