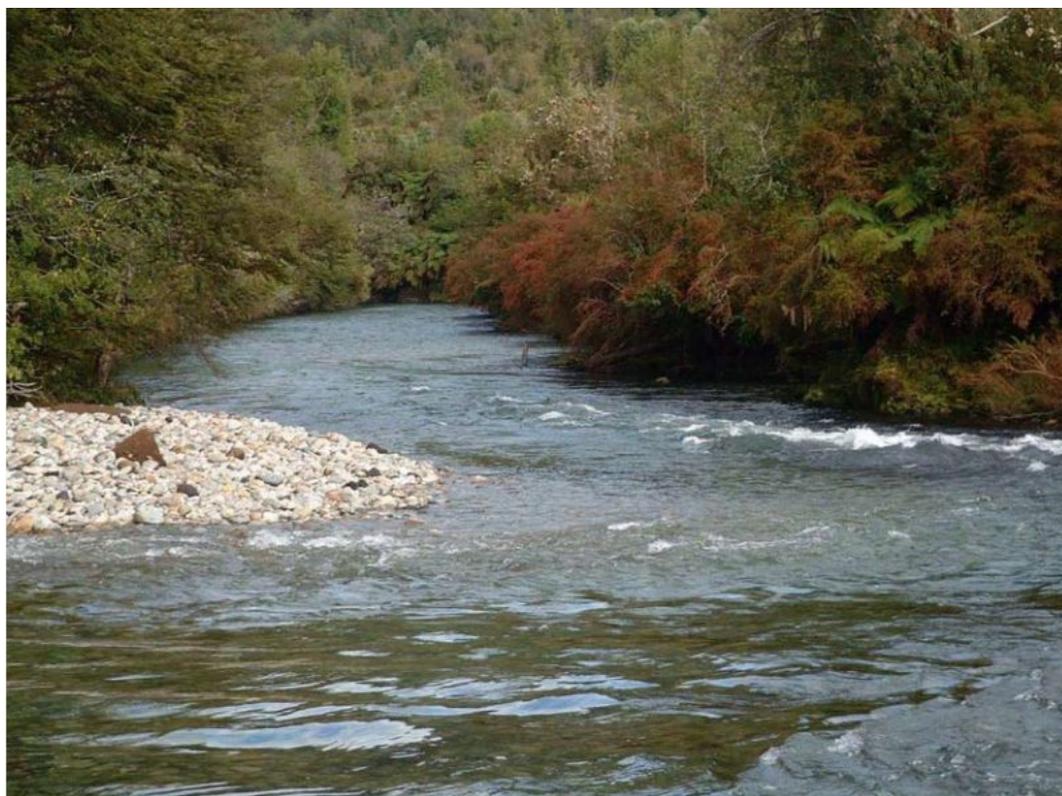


## **ФИЛЬТРАЦИЯ И МНОГОКРАТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДЫ РЫБОВОДНЫМИ ХОЗЯЙСТВАМИ**



## ВВЕДЕНИЕ

Данная брошюра – это разработка биологов шведской фирмы «Хайдротек АБ», которая является ведущей компанией в области технологий фильтрации. Мы хотели бы проинформировать своих клиентов о том, как наши фильтры могут быть приспособлены и применены в качестве интегрированной части систем для многократного использования, а также для целей очистки на производственных линиях в хозяйствах, чтобы улучшить качество воды.



Компания «Хайдротек АБ» была основана в 1984 году и с этого времени является лидером в области технологий фильтрации воды микросетчатыми фильтрами на рыбоводных хозяйствах. Первым фильтром, который был разработан для фильтрации с помощью микросетчатого фильтра, был треугольный фильтр, продажи которого составили 1500 штук. После этого компания «Хайдротек» разработала барабанные фильтры, а недавно внедрила новую разработку – дисковый фильтр. Этот широкий ассортимент фильтров покрывает конкретные потребности каждого рыбоводного хозяйства. Составив эту брошюру, мы надеемся, что люди, заинтересованные в разведении рыбы в рыбоводных хозяйствах, смогут узнать что-то новое о многократном использовании воды и, таким образом, избежать многих ошибок, так как успехи наших клиентов важны для нас и для бизнеса в целом. Тем не менее, компания «Хайдротек АБ» не несет ответственность за ту классификацию систем, которая была основана на положениях данной брошюры. Содержащаяся в ней информация должна рассматриваться как общие направления. Без нашего предварительного письменного согласия текст или изображения из этой брошюры копировать запрещено.



# Содержание

<b>1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЦИРКУЛЯЦИИ</b>	<b>4</b>
<b>2. КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМ РЕЦИРКУЛЯЦИИ</b>	<b>6</b>
<b>3. ОТХОДЫ РЫБОВОДСТВА</b>	<b>11</b>
<b>4. ФИЛЬТРАЦИЯ ЧАСТИЦ</b>	<b>14</b>
<b>5. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ</b>	<b>18</b>
<b>6. ОБСУЖДЕНИЕ</b>	<b>27</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1А: КОНЦЕНТРАЦИЯ ИЛА</b>	<b>33</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1В: КОНЦЕНТРАЦИЯ ИЛА; ОСАЖДЕНИЕ</b>	<b>34</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1С: КОНЦЕНТРАЦИЯ ИЛА, ЛЕНТОЧНЫЙ ФИЛЬТР</b>	<b>35</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2: ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА РЫБОВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА С РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ ВОДЫ</b>	<b>36</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 3А: НАСЫЩЕНИЕ ПРЕСНОЙ ВОДЫ КИСЛОРОДОМ</b>	<b>38</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1В: НАСЫЩЕНИЕ МОРСКОЙ ВОДЫ КИСЛОРОДОМ</b>	<b>39</b>

## 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЦИРКУЛЯЦИИ

Традиционное рыбоводное хозяйство с прудами и резервуарами имеет впускной и выпускной каналы. Вода используется несколько раз, или же это просто проточная система. Если вода очищается для улучшения её качества и используется снова, то это считается системой многократного использования или рециркуляции.

Тем не менее, если дать определение рециркуляционной системе в аквакультуре (РСА) довольно просто, то более сложным делом является обозначить то, как оценить саму технологию этой системы.

Целью данной брошюры является дать описание технологий очистки воды, используемых в сооружениях аквакультуры, с особым акцентом на микрофилтрации.

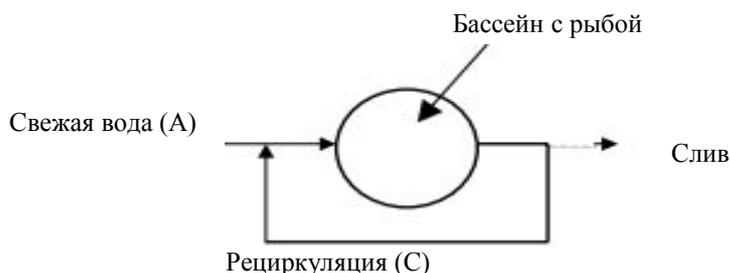


Схема 1 Определение рециркуляции

Часто дают следующее определение:

**СТЕПЕНЬ РЕЦИРКУЛЯЦИИ:  $(1 - A \div (A+C)) \times 100 = \% \text{ РЕЦИРКУЛЯЦИИ}$**

На практике, если, например, в систему добавляют 10л/сек свежей воды и 90 л/сек рециркулируется, то в результате степень рециркуляции составляет 90%.

Для увеличения рециркуляции воды можно применять широкий ассортимент оборудования, как это можно видеть на рисунке ниже:

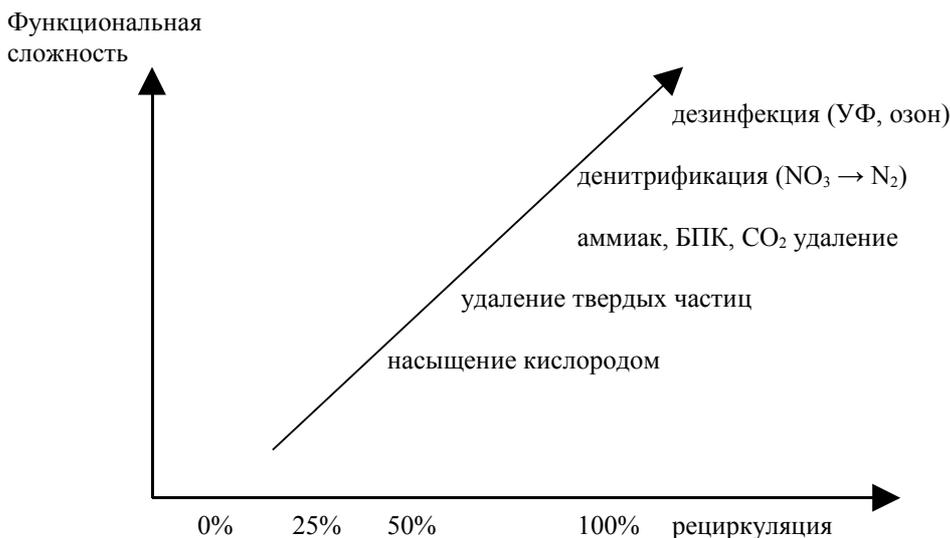


Схема 2. Схема системы и многократное использование воды

Высокая степень рециркуляции не является достаточной мерой касательно производительности любой РСА. Например, если большой объем воды рециркулируется с очень низкой плотностью посадки рыбы, то эту воду можно рециркулировать без какой-либо очистки. Соответственно, это выглядит очень эффективным, если брать традиционное определение рециркуляции.

Типичная закрытая система будет иметь степень рециркуляции более 99%.

В качестве добавления к оценке закрытых систем рекомендуется более продуманный дизайн и коэффициент стоимостного соотношения:

**м<sup>3</sup> свежей воды на кг корма, добавляемого в систему**

Этот коэффициент даст больше информации о техническом уровне системы. Типичный диапазон закрытых систем: 20-500 л свежей воды на кг корма, добавляемого в систему.



*Рисунок 1. Кормление угря*

## 2. КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМ РЕЦИРКУЛЯЦИИ

Бассейны или пруды:

Водная среда должна удовлетворять потребностям культивируемых в хозяйстве организмов, как относительно качества воды, так и по своим физическим свойствам.

Широко распространены вырытые в грунте пруды, в основном, из-за рентабельности их строительства.



*Рисунок 2. Традиционное форелевое прудовое хозяйство в Дании*

Разводимая уже более 100 лет, радужная форель хорошо адаптирована для интенсивного производства в искусственных условиях. В начале этого века кормление форели было редким и естественные источники питания составляли большую часть их диеты. Ранее разведение форели в условиях аквакультуры основывалось на низкой плотности рыбы. Там, где преобладали естественные условия с мягким грунтом, сохранялась прудовая система. В настоящее время достижения в области технологии питания и оборудования позволяют форелевым хозяйствам увеличить плотность посадки рыбы и повысить эффективность.

За последние 20 лет получила развитие более «индустриальная» форма искусственного разведения рыбы, особенно разведение лосося в Норвегии, угря в Голландии, Дании, на Тайване и других странах юго-восточной Азии. Если не брать в учет форель и канального сома, тилапия и полосатый окунь являются преимущественными видами искусственного разведения в США, где ключевыми факторами являются:

- \* Виды рыбы высокой ценности
- \* Свежая рыба, поставляемая на рынок
- \* Высокая производительность на м<sup>2</sup>
- \* Производство независимо от источника воды





Иллюстрация 4: Форелевое хозяйство в Испании.

При выборе рыбоводного бассейна необходимо учесть следующее:

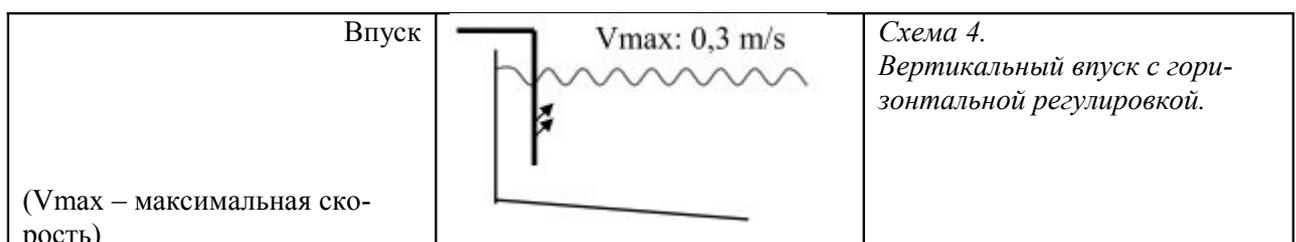
- Вид рыбы, является ли она донной? (такие как, например, угорь и лососевый смолт) или радужная форель, где используется вся толща воды? Для первого типа (и экономических расчетов) используются квадратные метры ( $m^2$ ), а для обозначения объема второго типа водоемов используются кубические метры ( $m^3$ ).
- Свободное место?
- Функция самоочистки?
- Регулировка водных потоков и передачи кислорода?

Для расчета свойств бассейнов используйте нижеприведенную таблицу:

Свойства	Круглый резервуар	Квадратный с закругленными углами	Кольцевой
Эффект самоочистки	5	4	3
Время осаждения	5	4	3
Регулировка кислорода	5	5	3
Использование доступного места	2	4	5

Оценки 1 – 5, 5 – лучшее, 1 – худшее.

Как следует из таблицы, выбрать бассейн, руководствуясь физическими характеристиками, не так легко; необходимо также учесть биологические особенности требуемого вида рыб. Самоочищающиеся бассейны улучшают качество воды и повышают эффективность последующей фильтрации. Органические вещества (измеряются уровнем БПК – биохимической потребности в кислороде), азот и фосфор попадает в воду из экскрементов и гранул кормов всего за несколько минут. Из-за гидравлических характеристик и действия гравитационных сил время задержания частиц в круглом резервуаре составляет 2-3 минуты.



Вертикальный выпуск с горизонтальной регулировкой очень эффективен для контроля течения в резервуаре, но скорость подачи не должна превышать 0,3 м/с. Для этого в вертикальной части трубы прорезываются несколько отверстий.

Примечание: При установке насоса ниже уровня воды в баке просверлите небольшое отверстие над поверхностью воды, иначе вода может перетекать и бака в резервуар самотеком, что приведет к опустошению бака.

В круглых бассейнах отсутствует импульсная сила, создающая течение, скорость потока в баке рассчитывается просто по скорости потока воды в канале:

$$Q = A * V$$

(Q = поток воды, м<sup>3</sup>/час. A = площадь поперечного сечения, м<sup>2</sup>. V = скорость потока, м/с)

Течение контролируется только посредством закачки дополнительного объема воды в бассейн. Для достижения эффекта самоочистки скорость потока у дна должна быть около 4-5 см/с. Для всех видов бассейнов плотность посадки рыбы очень важна, так как при движении рыбы получается эффект «очистки». Для всех типов бассейнов уклон дна не так важен, обычно рекомендуется 2-5 см/м, но это необходимо преимущественно для слива бассейна.



*Иллюстрация 5. Круглые бассейны на угревом хозяйстве в Голландии.*

Некоторые виды рыб являются реофилами (предпочитают течение воды). Исследования показали, что движение вода улучшает их рост и усвоение корма. Некоторые лососевые даже наращивают массу, когда плавают с определенной скоростью, приблизительно на одну длину тела в секунду (в зависимости от размера!), в то время, как другие виды, такие как угорь, являются типичной донной рыбой.

Выпускные каналы бассейнов должны быть спроектированы на оптимальную подачу частиц. Скорость потока воды не должна быть очень высокой (приблизительно 0,3 м/с), а отверстия должны быть достаточно малыми, чтобы не пропускать рыбу.

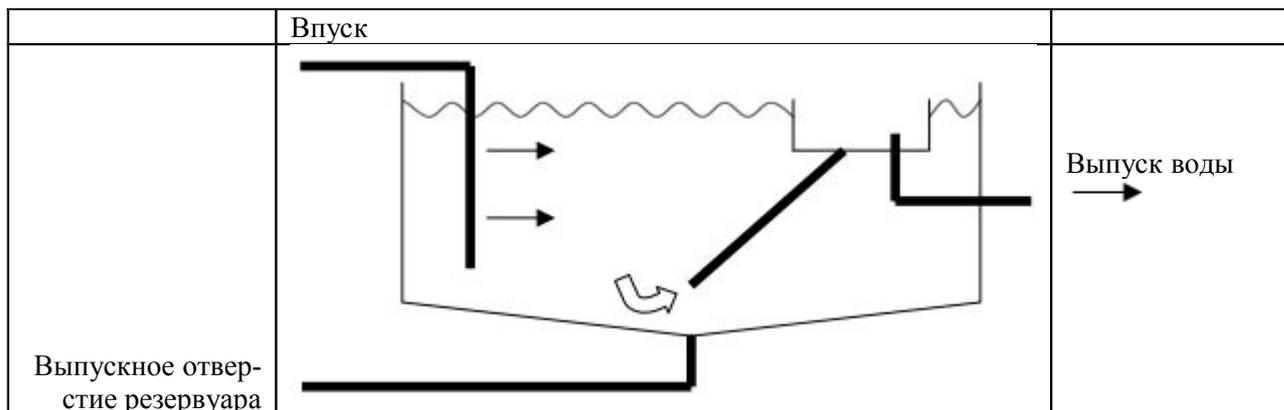


Схема 5: Самотечный выпуск воды.



Иллюстрация 6. Самоочищающийся самотечный выпуск воды.

Данная модель используется преимущественно для угря. В этой конструкции упрощен слив воды из бассейна. Мертвая рыба останется на сетке на поверхности. Данная конструкция обычно монтируется с электромотором и медленно вращающейся щеткой. Размер отверстий для малька угря составляет 0,5 – 1,0 мм. Выпускной канал должен быть самоочищающимся. При большем размере отверстий самоочистка может не понадобиться, а решетку можно установить горизонтально.

### 3. ОТХОДЫ РЫБОВОДСТВА

Источником всех отходов является рыба, присутствующая в системе. Современный сухой корм изготавливается специально для конкретных видов рыб, но, в целом, весь корм, производимый сегодня, является высокоэнергичным.

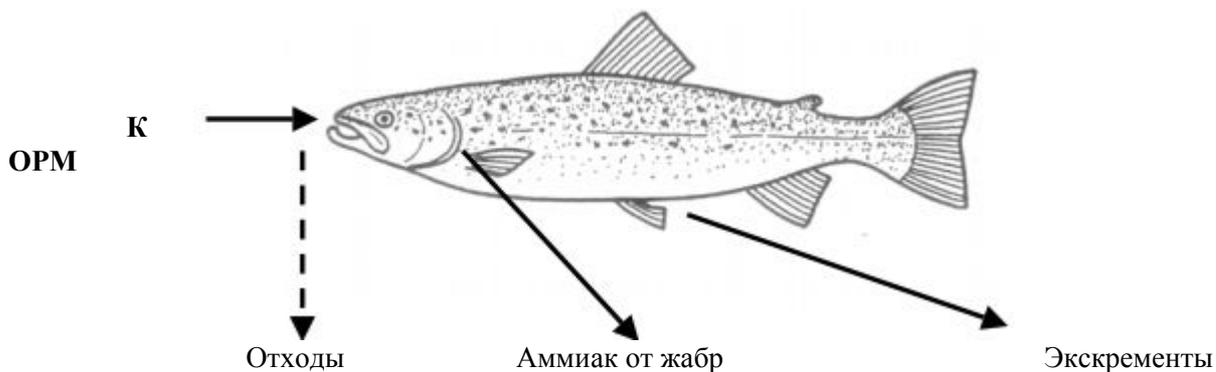


Иллюстрация 6.



Иллюстрация 7. Лососевый бассейн.

Иллюстрация 8. Лосось в резервуаре.

Для правильного расчета последующих очистных сооружений и водоподготовки необходимо знать, какие отходы вырабатываются и в каких количествах.

Один килограмм сухого корма для, например, лосося, имеет приблизительно следующий состав:

1 кг корма	Состав	Энергосодержание (г)	Общее энергосодержание
Белок:	500 г	5,65	2825
Жир	250 г	8,30 *	2075
Углеводы	120 г	4,1	492
Итого энергетическая ценность			5392

\* 9,45 ккал/г, указанные на большинстве этикеток упаковок рыбного корма, слишком много; из-за высокого содержания рыбьего жира (ненасыщенные жировые кислоты) эта величина будет ниже.

В белке содержится азот, приблизительно 16% по весу. Нагрузка по органическим соединениям получается за счет белка, жиров и углеводов и обычно дается в косвенном выражении, поскольку провести химический анализ достаточно трудно. Ее можно оценить по биохимическому потреблению кислорода (БПК) или по химическому потреблению кислорода (ХПК).

Нагрузка по загрязнениям при производстве одного килограмма рыбы может быть рассчитана для разных кормовых коэффициентов; предполагается, что тип корма и содержание белка, жиров и фосфора в рыбе и корме не меняется.

Полученную нагрузку можно выразить, как линейную функцию от кормового коэффициента:

$$\text{Максимальная нагрузка, всего N(г. N на кг корма)} = 80 * \text{кормовой коэффициент} - 30$$

### **Уравнение 1.**

Азот: содержание в корме то же, что и выше, содержание белка в небольшой форели составит около 19%. Это не физиологический термин. Его можно применять только в стандартном диапазоне кормовых коэффициентов перевода. Однако его можно использовать, как руководство для расчета нагрузки по азоту и, следовательно, расчета биологических фильтров.

Нагрузка по органическим соединениям:

Респирация, т.е. потребление кислорода, вырабатывает энергию для организма. Органический материал расщепляется и энергия передается в АТФ – в этой форме энергия хранится в клетках. При окислении каждого грамма белка, жира и углевода вырабатывается разное количество энергии, но в среднем, при диете хищника расчеты дают величину преобразования 3,24 калории на 1 мг кислорода.

ХПК: химическое потребление кислорода (исходя из вышесказанного) можно рассчитать по следующей формуле:

$$1 \text{ кг корма: } 5392 \text{ ккал} / 3,24 = 1664 \text{ г. O}_2$$

Рассчитать конечный выход органики из бассейнов трудно, поскольку часть корма используется для респирации. Используя энергетическое уравнение, энергию можно описать следующей формулой:

$$C = G + R + U + F$$

*C = потребление, G = рост, R = респирация, U = выделение, F = экскременты*

Это энергетическое уравнение основано на физиологических измеряемых величинах и, как видно из нижеприведенного уравнения, потерю корма и, следовательно, расчет фактического потребления корма, очень трудно определить точно.

ХПК, в 1 кг рыбы (небольшая форель), 19% белка и 8% жира.

1 кг рыбы	Содержание	Содержание энергии (г)	Итого энергия
Белок	190 г.	5,65	1074
Жир	80 г.	8,30	664
Итого энергия, ккал			1738

Рыба очень эффективно преобразует энергию. Около 30% потребляемой энергии преобразуется в увеличение массы. Разница между приростом массы и потребляемым кормом получается за счет расхода энергии на респирацию, непосредственно связанную с потреблением энергии на увеличение массы. На респирацию приходится около 70% потенциальной нагрузки по кислороду.

Расход корма, выраженный через ХПК от 1 кг корма:

Корм:	1.664 г. O <sub>2</sub>
Респирация:	790 г. O <sub>2</sub>
Рост:	536 г. O <sub>2</sub>
Экскременты и потеря корма:	338 г. O <sub>2</sub>

(эти цифры могут меняться в зависимости от вида рыб и типа корма)

Несъеденный корм и экскременты образуют нагрузку по органическим соединениям на микрофильтр и биологические фильтры. Для органического материала чаще всего используется количественный термин – биохимическое потребление кислорода (БПК), но это не точная величина, так как потребление кислорода описывает интенсивность микробиологического процесса. Некоторые исследования показали, что около 50-70% рыбного корма и отходов эффективно поддается биологическому разложению и, поэтому, измеряется, как БПК. Неразлагаемый органический материал в некоторой степени скапливается в системе, образуя коричневый «чайный» цвет.

Исходя из вышеуказанных предположений, с килограмма корма, используемого в рыбоводстве, можно ожидать следующую потенциальную нагрузку:

<b>Потенциальная нагрузка с 1 кг корма в системе: 169 – 237 г. БПК</b>
--

В таблице ниже приводится расчет эффективности микрофильтра, выраженной через баланс масс в РСА:

Параметр	Фильтр 30 микрон	Фильтр 60 микрон	Фильтр 100 микрон
Взвешенные частицы	75%	36%	16%
Суммарный азот	62%	29%	14%
<b>Суммарный фосфор</b>	43%	39%	20%

*Эффективность фильтрации для разного размера ячеек микрофильтра Hydrotech, как процент частиц, выделенных при кормлении. Проект "Blue label", Fair-CT-98-9158.*

Вышеприведенные данные действительны только для угревых хозяйств, для других видов цифры могут отличаться. Из таблицы видно, что фильтр на 30 микрон намного более эффективен, чем фильтры с большим размером ячеек.

#### 4. ФИЛЬТРАЦИЯ ЧАСТИЦ

Частицы – это нерастворенные остатки корма, поступающего в систему. Эти частицы обычно измеряются, как взвешенные частицы (ВЧ). В рыбоводном хозяйстве с рециркуляцией воды источником частиц являются остатки корма и экскременты. На хозяйствах с притоком от поверхностных вод также присутствуют органические и неорганические частицы.

Как было сказано в разделе о бассейнах, функции самоочистки очень важны для систем последовательной фильтрации, частицы должны перемещаться быстро и осторожно удаляться из системы.

В таблице ниже приведены данные по средней эффективности фильтрации для различных видов рыбоводных хозяйств:

Компонент	Круглые бассейны	Кольцевые	Прудовые системы
Суммарный Р	70-80%	50-70%	30-50%
БПК	70-80%	60-70%	40-60%
Взвешенные в-ва	80-90%	60-80%	40-60%
Суммарный N	20-50%	20-40%	20-40%
$\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$	-	-	-

Вышеуказанные значения эффективности приведены для барабанных фильтров Hydrotech Drumfilter с фильтровальной тканью 60 микрон.

Микрофильтры можно устанавливать на выпуске рыбоводного хозяйства для уменьшения количества твердых частиц, попадающих в водоемы. Иногда микрофильтры устанавливаются на впускных каналах для повышения качества поступающей воды.

Пример: Ферма Lickey Bridge в Ирландии.

Периодические паводки вызывали проблемы из-за большой концентрации глины и песка в поступающей воде:

Диапазон размеров частиц (микрон)	мг/л
Всего	114
> 63	34
38-63	14
20-38	16
11-20	23
5,5-11	17
2,2-5,5	10
< 2	0,07

*Распределение размеров частиц, поступающая вода на ферме Lickey Bridge.*

Основываясь на этих данных, была выбрана фильтровальная ткань с размером 20 микрон. Она дает очень тонкую очистку для гравитационных фильтров.



*Иллюстрация 9. Дисковый фильтр HSF2106 на ферме Lickey Bridge.*



*Иллюстрация 10. Рыбоводное хозяйство с рециркуляцией воды в Дании. Вода самотеком поступает из баков на микрофильтр.*



*Иллюстрация 11. Барабанный фильтр, модель HDF1606-1B*

## Фильтрация в рециркулируемых системах:

Барabanные и дисковые фильтры Hydrotech широко распространены в рециркуляционных системах по всему миру. Уникальная конструкция фильтровальной ткани обеспечивает мягкое удаление частиц: (см. прилагаемые информационные материалы по фильтрам).

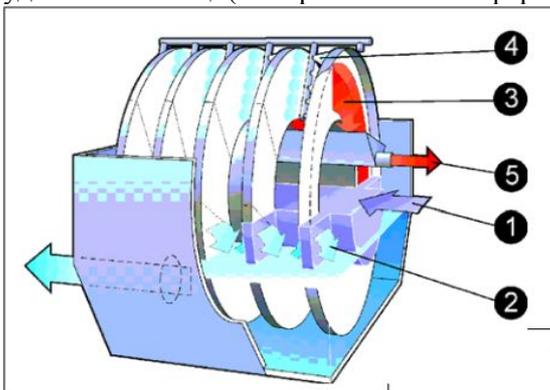


Схема 7: Дисковый фильтр.

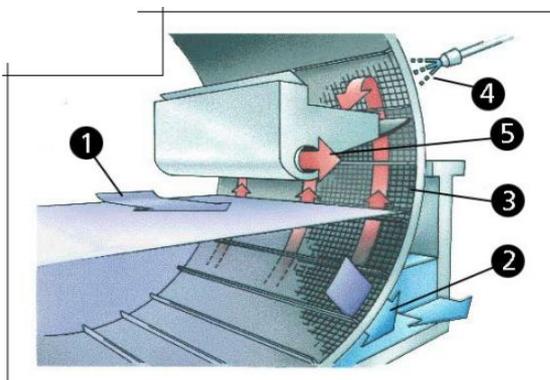


Иллюстрация 8. Барабанный фильтр.

### Функция барабанных и дисковых фильтров:

1. Фильтруемая вода поступает внутрь барабана.
2. Вода фильтруется при прохождении через фильтрующие элементы барабана. Движущая сила для воды создается за счет разницы между уровнями воды внутри и снаружи барабана.
3. Твердые частицы улавливаются фильтровальными элементами и вращением барабана поднимаются в зону противоточной промывки. В зависимости от выбранного режима работы барабан вращается прерывисто или постоянно.
4. Через промывочную форсунку вода подается на наружную поверхность фильтровальных элементов. Отфильтрованный материал вымывается из фильтровального элемента в поддон для осадка.
5. Осадок вместе с водой самотеком подается из фильтра.

В рециркуляционной системе микрофильтрация является интегрированной частью всей системы очистки.

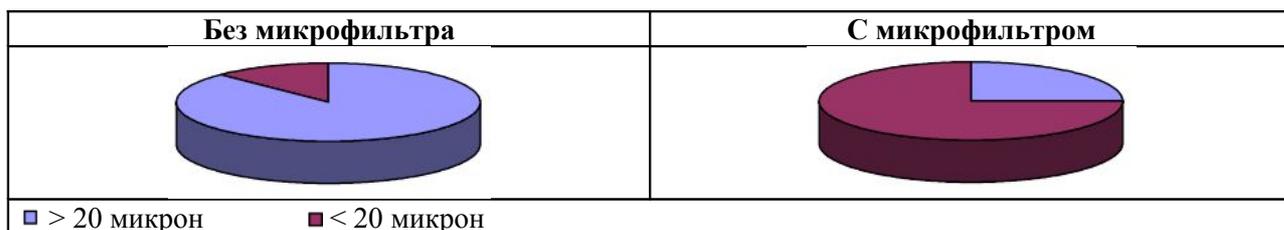
Преимущества микрофильтрации приведены ниже:

- Уменьшение нагрузки по органическим соединениям на биологические фильтры.
- Снижение мутности воды.
- Снижение количества личинок и яиц некоторых паразитов.
- Улучшение условий для нитрификации.
- Стабилизация работы биологических фильтров.
- Предотвращение бесконтрольного распространения личинок, например, тилапии.

Наиболее экономичный способ избавиться от отходов – это механическая фильтрация, т.е. удаление загрязнения с низкими затратами энергии и без потребления кислорода. Стандартный диапазон фильтрации составляет 20 – 100 микрон.

Поскольку плотность взвешенных частиц в рециркуляционной системе очень низка, около 1,1 – 1,2 г/см<sup>3</sup>, осаждение непрактично. Единственным доказавшим себя на практике решением является фильтрация.

Система фильтрации достаточной мощности способна удалять около 50% БПК. Оставшаяся часть БПК растворяется и должна поглощаться и разлагаться биологическими фильтрами. Последующая нагрузка на биологические фильтры по органическим соединениям приводит к росту бактерий. Абразия, вызванная образовавшейся био-пленкой, снижает турбулентность воды. Образующиеся частицы очень малы. На иллюстрации ниже показано распределение частиц в системе с микрофильтром и без него:



*Иллюстрация 9. Относительное распределение частиц.*

При наличии в системе микрофильтра большинство твердых частиц удаляется. Взвешенные частицы присутствуют в виде малых частей мертвых бактерий, менее 20 микрон.

*Потребление воды:*

Осадок, собираемый микрофильтрами, необходимо вывести из системы, и расход воды на промывку системы должен быть минимален.

Размер ячеек фильтра	30 микрон	60 микрон	100 микрон
Подача литр/кг	200	100	50
% рециркулированной воды	0,23	0,11	0,06

*Относительный расход воды барабанным фильтром на 30, 60 и 100 микрон.*

Как и ожидалось, относительный расход воды, а так же доля рециркулированной воды, используемой для промывки, уменьшается с увеличением размера ячеек, с 200 до 50 литров на килограмм корма и с 0,23 до 0,06% внутреннего потока. Это приемлемый уровень обмена воды для РСА систем. Расход воды можно еще уменьшить, если допустить некоторую концентрацию осадка в системе.

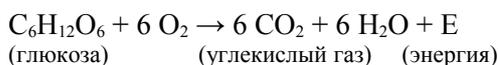
## 5. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ

Часть отходов от рыбы и корма растворяется и требует разложения или преобразования в безопасные вещества. Опять же, необходимо обратить внимание на органические загрязнения и азотосодержащие вещества. (фосфор является инертным веществом и не обладает токсическими свойствами).

Расчет размеров биологических фильтров должен основываться на ожидаемой нагрузке по органическим и азотным соединениям.

### Органический загрязнения

Термин БПК включает в себя большинство биоразлагаемых материалов, таких как белки, жиры и углеводы. Разложение осуществляется гетеротрофными бактериями в обогащенной кислородом среде. Ниже приводится упрощенная запись происходящей реакции:



Бактерия размножается многократным делением, это называется «прирост», и он довольно велик – 0,6 кг / кг БПК. Эта биопленка или, скорее, ил в конечном итоге превращается в малые частицы (как было описано выше) и при правильном контроле его можно вымыть из загрузки биофильтра.

Бактериологические реакции очень чувствительны к температуре и уровню pH. На угревом хозяйстве с рециркуляцией воды при температуре 25°C разложение органического вещества в биофильтрах составит приблизительно 10-15 г. БПК / м<sup>2</sup> в день.

Органические загрязнения могут разлагаться без присутствия кислорода посредством ферментации.

При расчете биофильтров эти реакции обычно не очень учитываются, но при неправильном проектировании возможны проблемы и ухудшение качества воды. На практике наблюдались проблемы с погружными фильтрами, даже при наличии кислорода в выпускном канале, возможно ухудшение проточности из-за скопления ила в загрузке биофильтра и, следовательно, образование зон без кислорода.

Процесс ферментации:

Органические загрязнения → Н<sub>2</sub>, СО<sub>2</sub>, спирт, уксусная кислота → метан (СН<sub>4</sub>) и прочие органические кислоты.

Эта реакция состоит из нескольких этапов и она очень чувствительна к изменениям среды, особенно второй этап; даже незначительное изменение pH может существенно повлиять на преобразование спиртов, органических кислот и т.д., что приводит к скоплению легко-разлагаемого материала в загрузке биофильтров. При резком изменении физических свойств возможен выброс накопившейся органики. При контакте с кислородом в бассейнах с рыбой она очень быстро разложится гетеротрофными потребляющими кислород бактериями – иногда настолько быстро, что подаваемого с водой кислорода не хватает для потребления рыбой. Этот процесс можно назвать «органической бомбой» и его следует избегать. Для предотвращения такой ситуации необходимо правильно выбирать и контролировать фильтры.

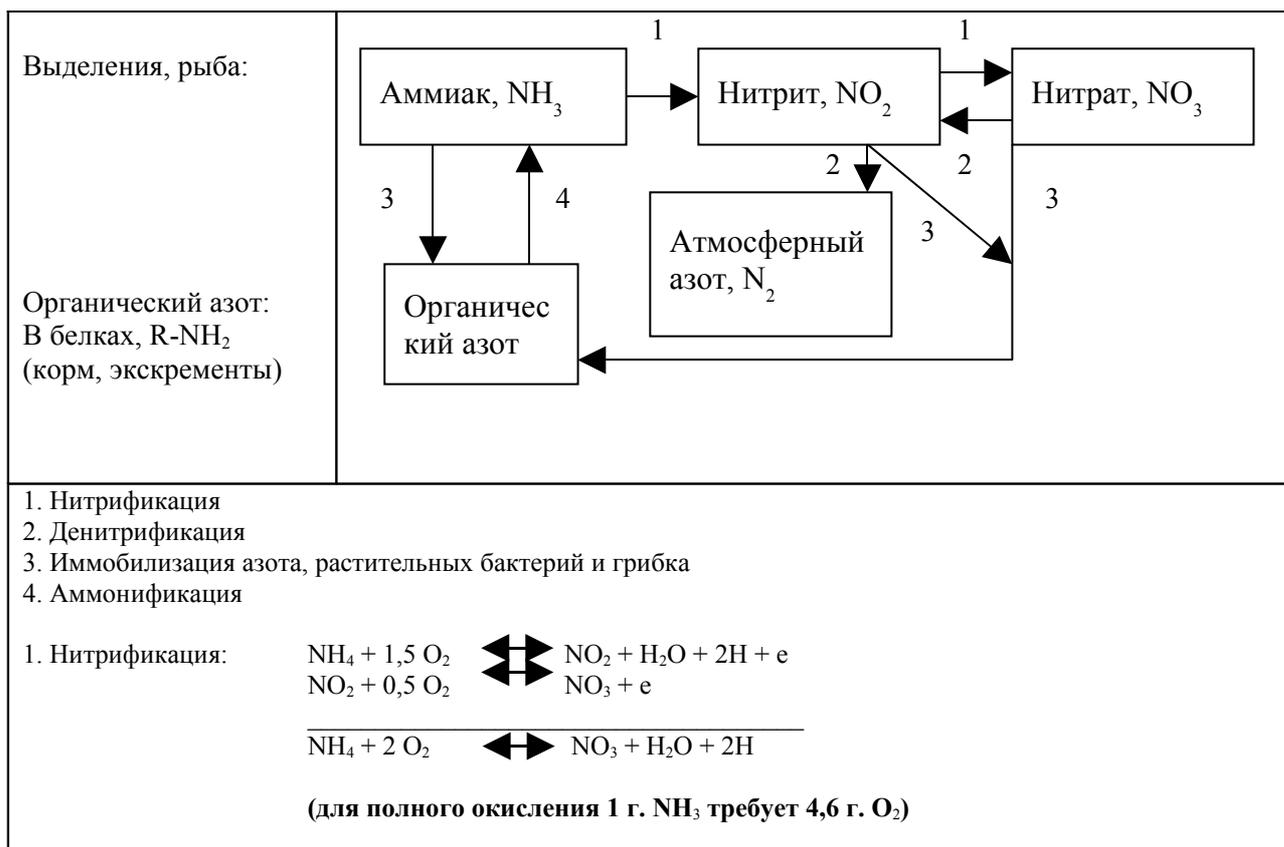


Иллюстрация 10. Круговорот азота

Эти нитрифицирующие бактерии называются автотрофными, так как в качестве источника энергии они используют неорганический компонент – аммиак. Этот процесс дает намного меньший прирост (рост бактерий), чем гетеротрофные бактерии, приблизительно 10%. Для протекания процесса требуется кислород (аэробный) и выделяется H<sup>+</sup> (кислота), что приводит к снижению pH.

Как видно из нижеприведенных данных, кинетика реакции очень сильно зависит от факторов внешней среды:

А: Температура.

Температура °С	5	10	15	20	25
Нитрификация, (г. NH <sub>4</sub> –N / м <sup>2</sup> в день)	0,3	0,5	0,7	0,9	1,0

Данные приведены для оптимальных условий при заданной температуре.

В. Нагрузка по органическим соединениям.

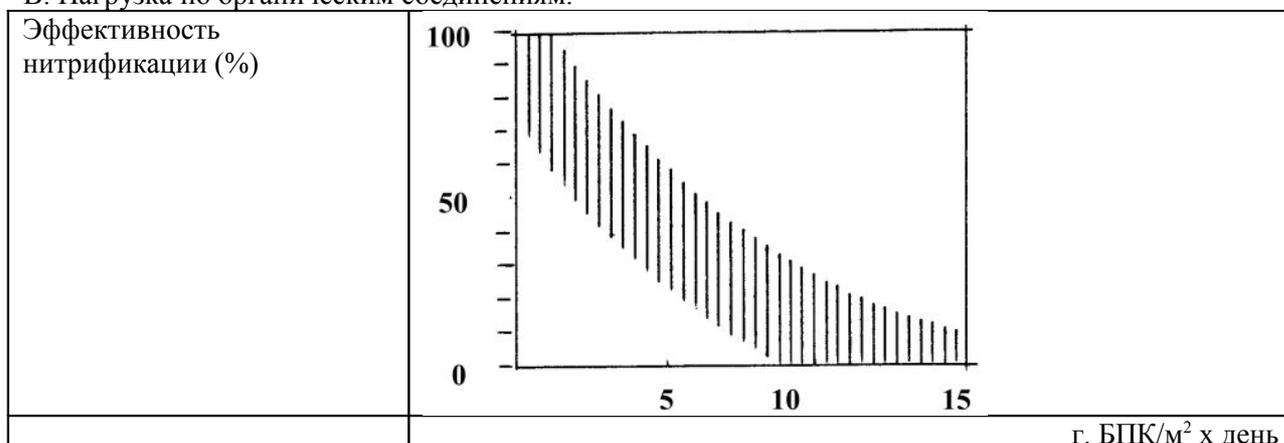


Иллюстрация 11. Нагрузка по органическим соединениям.

В борьбе за свободное место в биофильтрах нитрифицирующие бактерии уступают гетеротрофным из-за медленного роста.

С. Концентрация кислорода.

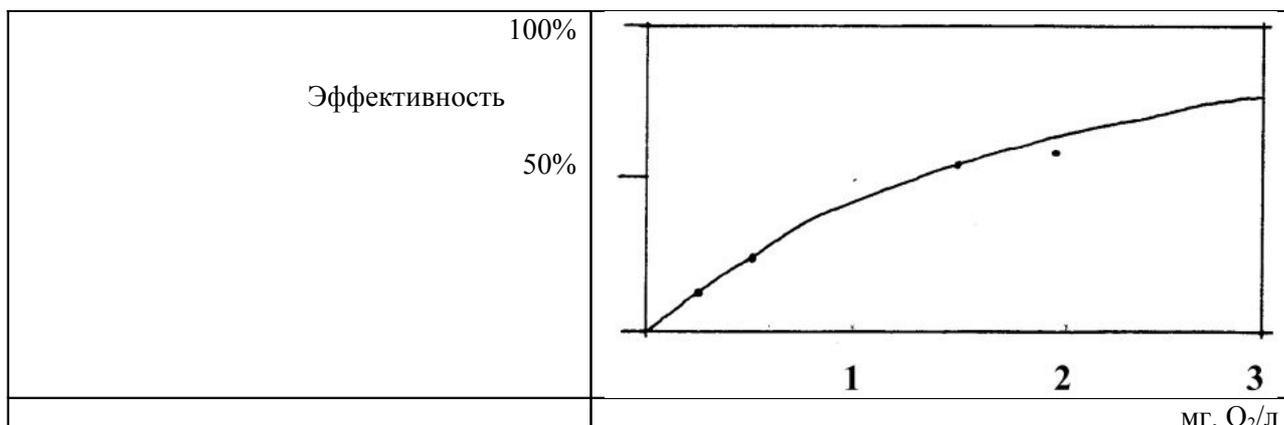


Иллюстрация 12. Концентрация кислорода

Необходимо контролировать поступление кислорода к бактериям. Вода на выходе из погружных фильтров должна содержать, как минимум, 3-4 мг  $O_2$ /л.

Рекомендуется использовать фильтры, как «нитрифицирующие» фильтры, т.е. обеспечить оптимальные условия для нитрификации. Для этого необходимо учесть вышеназванные факторы: низкая нагрузка по органическим соединениям и достаточная подача кислорода. Величина pH также очень важна, но опыт показывает, что процесс протекает стабильно в диапазоне pH 6,5 – 8,0. Резкие изменения факторов внешней среды намного опасней постепенных, так как бактерия способна адаптироваться в определенном диапазоне условий.

#### Расчет площади поверхности в биофильтрах:

Вышеназванные процессы должны учитывать:

- Биоразложение органического материала.
- Нитрификацию.

Согласно расчетам, максимальная нагрузка по органическим соединениям составляет 237 г БПК на кг корма, попадающего в систему. Эффективность микрофльтрации оценивается в 50% удаление органических частиц. Полученная величина для нагрузки по БПК на биофильтры составляет максимум 119 г на кг корма.

Из уравнения (1) при кормовом коэффициенте 1,0 становится видно, что соответствующее выделение суммарного азота будет 50 г –N.

БПК:  $5 \text{ г} / \text{м}^2 \times \text{день}$ , 119 г БПК / кг корма -----  $24 \text{ м}^2$

Аммиак:  $0,7 \text{ г} / \text{м}^2 \times \text{день}$ , 50 г  $NH_3/NH_4 - N$  -----  $71 \text{ м}^2$

При такой низкой нагрузке по органическим соединениями будет достаточно площади для нитрификации: Общая площадь поверхности в биофильтрах ----- =  $95 \text{ м}^2$   
(на каждый кг корма / день, используемых в системе)

### Денитрификация.

В результате нитрификации в системе скапливаются нитраты. Концентрация нитрата не должна превышать 90 мг NO<sub>3</sub>-N/л. Такая высокая концентрация влияет на рост и усвоение корма. Она считалась довольно безобидной, но практика показывает, что слишком высокая концентрация влияет на некоторые виды рыб.

Процесс редукции нитрата до атмосферного азота называется денитрификацией. Этот процесс требует наличие органического источника и протекает в бескислородных средах.

Преобладающими денитрификационными бактериями являются псевдомонады.



На практике вам понадобится около 2,5 кг CH<sub>3</sub>OH на каждый килограмм NO<sub>3</sub>-N. Ил из микрофилтра использовался в качестве органического источника, но опыт показывает, что происходит избыточное скопление ила, которое создает проблемы с промывкой. В погружных фильтрах будет происходить избыточная денитрификация, несмотря на то, что фильтры работают в режиме аэробных фильтров. Это происходит из-за того, что нижние слои биопленки будут в бескислородных условиях. Но невозможно рекомендовать попытаться отслеживать все процессы в режиме реального времени, т.е. окисление органического материала, нитрификацию и денитрификацию. Денитрификация должна протекать в режиме «обхода», чтобы не допустить скопления органического материала в фильтрах, предназначенных для нитрификации. Типичная конструкция бака для нитрификации: Бак с загрузкой фильтра (100 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>). Время задержки приблизительно 2-4 часа. Поток необходимо контролировать таким образом, чтобы на выходе поддерживалась концентрация кислорода 2-3 мг/л или нитрата около 30 мг/л. Если весь кислород полностью будет израсходован, произойдет избыточное производство сероводорода H<sub>2</sub>S, который является токсичным и издает неприятный запах. Для функционирования необходимы постоянные условия внешней среды и правильное соотношение C/N.



Производство ила при этом будет достаточно высоким и установку придется промывать, обычно раз в неделю. Опыт показывает, что для системы, в которую подается 200 кг корма в день достаточно емкости объемом 10 м<sup>3</sup>. Часто встречающаяся проблема – избыточная концентрация нитрита на выпуске. Рекомендуется использовать меньшие установки.

*Иллюстрация 12. Емкость для денитрификации с насосом для подачи метанола.*

### Проектирование биофильтров

Биологические фильтры основаны на адсорбции и биодegradации загрязнения в воде. Микроорганизмы могут жить свободно-взвешенными в воде - активном иле или расти на поверхности. В муниципальных системах очистки сточных вод преобладают системы с активным илом. Они дают более высокую производительность при заданном объеме, чем другие виды, и, следовательно, экономически более выгодны. Эта технология не может применяться в рыбоводстве, так как содержание питательных веществ на выходе слишком низка. Из-за малой нагрузки время деления бактерий будет слишком длительным и они будут вымываться из системы. Бактерии не смогут образовывать колонии достаточной плотности для отложения и, в конечном итоге, вернуться в биореактор через насос. Данная особенность является обязательным требованием для активированного ила.

Это оставляет нам технологии неподвижного слоя или псевдооживленного слоя, когда бактерии и иные микроорганизмы растут на загрузке.

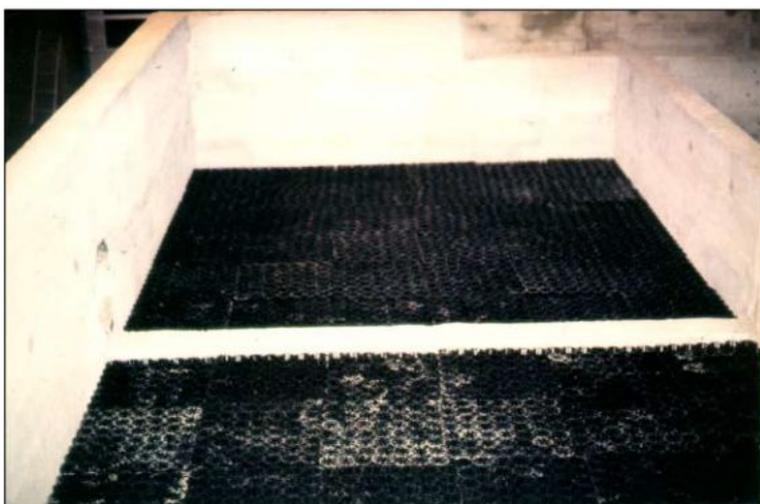


Иллюстрация 13. Фильтровальный элемент Bionet ( $150 \text{ м}^2/\text{м}^3$ )

Погружные фильтры:

Фильтрующий материал, погруженный в бак, может получать воду, поступающую для очистки, со следующих направлений: восходящие потоки, нисходящие потоки или даже горизонтальные. Все структуры потока характеризуются очень малой потерей напора. Стандартная высота подъема: 1-5 м. Иногда для обеспечения правильного функционирования необходимо добавить дополнительный кислород. Гидравлическая нагрузка на поверхность должна быть выше  $0,3 \text{ м}/\text{мин}$ .

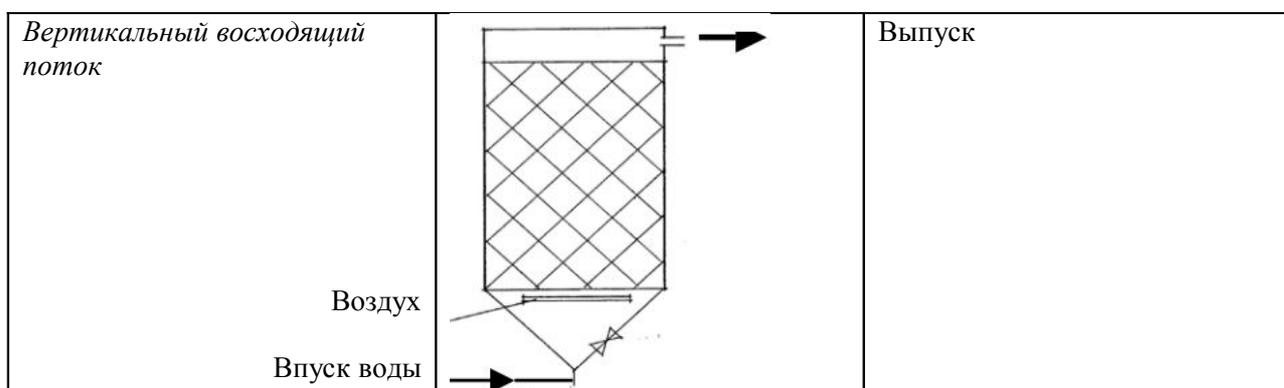


Иллюстрация 13. Вертикальный восходящий поток.

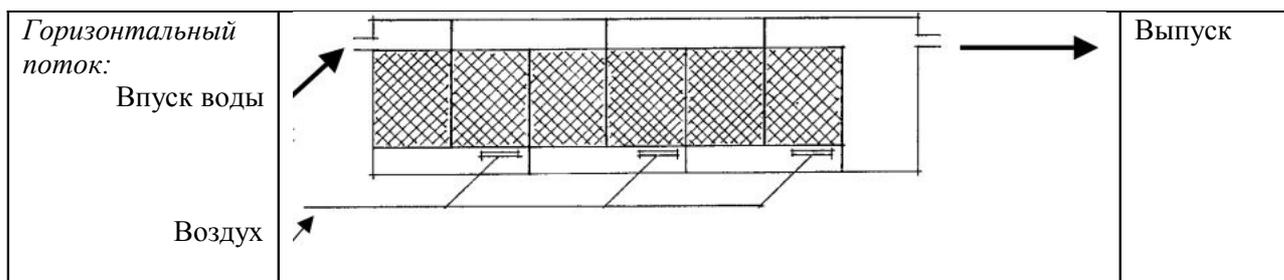


Иллюстрация 14. Горизонтальный поток

**Капельные фильтры:**

Очень экономичная «кабинная» конструкция, не требует бака. Необходимо обеспечить равномерное распределение воды в верхней части. Гидравлическая нагрузка должна быть не менее 0,8 м/час. Этот вид фильтра наиболее эффективен для газообмена, т.е. поступления кислорода в воду и удаления CO<sub>2</sub> из воды. Эффект тяги обычно вентилирует фильтр, воздушный поток направлен вверх или вниз в зависимости от разницы температур между воздухом внутри фильтра и окружающей средой.

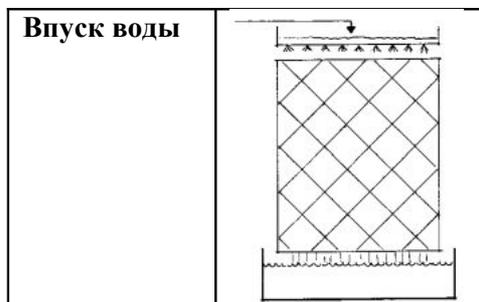


Иллюстрация 15. Капельный фильтр.

**Вращающийся биореактор (ВБР):**

Загрузка биологического фильтра постоянно вращается и обладает теми же преимуществами, что и капельные фильтры. Но конструкция 1 м<sup>3</sup> фильтровального материала стоит очень дорого, поэтому данный тип фильтров больше подходит для существенных нагрузок. Многие малые рыбоводные хозяйства пробовали применять ВБР, но с сомнительным успехом:



Иллюстрация 14. ВБР

### Фильтр с подвижной загрузкой:

Фильтровальная среда находится во взвешенном состоянии, для использования доступна большая площадь поверхности, т.е. установка очень компактна. Система обладает малой потерей напора насоса, но для подачи воздуха используется электроэнергия. Такие установки широко применялись в Северной Америке. В качестве загрузки обычно используется песок. Эти системы очень эффективны в качестве нитрифицирующих биофильтров, но гидравлическая конструкция описана недостаточно. Необходимо знать связь между гидравлической нагрузкой, расширением слоя и падением давления, поскольку эти параметры критичны для проектирования фильтров с подвижной загрузкой и меняются в соответствии с характеристиками гранулированной загрузки (плотность, размер и форма, пористость и т.п.), а также плотностью и вязкостью воды. Здесь нет какого-либо эмпирического правила. Проектирование основывается на испытаниях уменьшенного масштаба, проведенных поставщиком системы. Существуют новые виды систем с несущей загрузкой разных уровней пластичности и очень большой площадью поверхности, 400 – 2000 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>.

Поскольку плотность слоев очень близка к 1, флюидизация не так критична, как для песчаных фильтров.

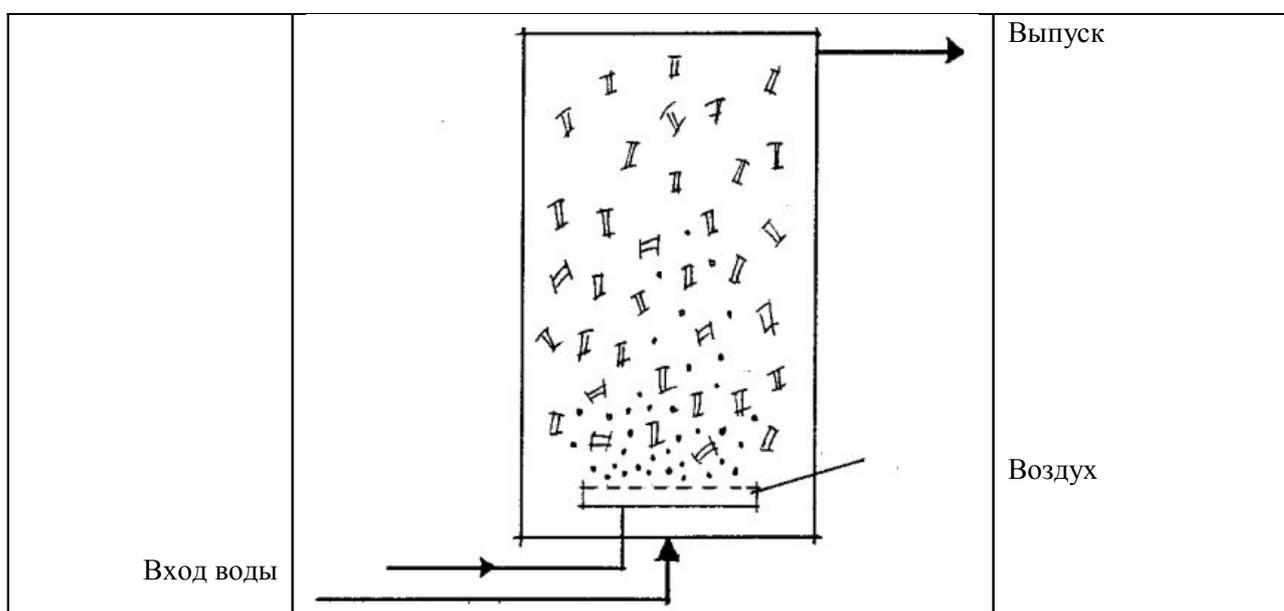


Иллюстрация 16. Фильтр с вихревым слоем.

При малых скоростях они использовались в качестве фильтра твердых частиц. Однако с накоплением ила интенсивность нитрификации падает. В результате происходит снижение гидравлической проницаемости, так как удержанные твердые вещества и биологические осадки забивают поры слоя. Поэтому рекомендуется использовать эти фильтры с более высокими скоростями поверхностных потоков, предотвращающими скопление ила. Микрофильтры, расположенные до этих фильтров, позволят снизить нагрузку по частицам на всю систему.

При работе с высокими гидравлическими нагрузками (т.е. подача воздуха) эти пластиковые загрузки покроются мертвыми бактериями, поддерживая «свежую» био-пленку на внешних поверхностях. Некоторые гранулы сделаны в виде небольших шариков с внутренней площадью сечения приблизительно 1 см x 0,5 см. Опыт показал, что их эффективность на м<sup>2</sup> была выше, чем у традиционных фильтров, до 40 м<sup>2</sup> на каждый килограмм корма, попадающего в систему. Это говорит о том, что эти гранулы частично работают, как передающая поверхность для активированного ила, производя больше живой биомассы на м<sup>3</sup> объема биофильтров.

Эта технология должна быть адаптирована для разводимой рыбы.

Первая часть связана с экономическими характеристиками РСА, Необходимо правильно подобрать систему, чтобы создать оптимальную среду обитания для требуемого вида рыб или ракообразных.

#### Характеристики воды

Тип биофильтра	БПК <sub>5</sub>	Взвешенные частицы	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NH <sub>3</sub> -N	Орг. N	Сум. N
Песчаный фильтр							
+ фильтрация	низкая	низкая	высокая	низкая	низкая	низкая	средняя
/ фильтрация	переменная	переменная	высокая	переменная	переменная	переменная	высокая
ВБР							
+ фильтрация	низкая	средняя	высокая	низкая	низкая	низкая	средняя
/ фильтрация	высокая	высокая	высокая	переменная	переменная	высокая	высокая
Капельный фильтр							
+ фильтрация	низкая	средняя	высокая	низкая	низкая	средняя	средняя
/ фильтрация	высокая	высокая	высокая	переменная	переменная	высокая	высокая
Капельный + погружной фильтр							
Включая фильтрацию частиц	низкая	низкая	средняя	низкая	низкая	низкая	средняя
Погружной фильтр							
Включая фильтрацию частиц	низкая	низкая	средняя	средняя	средняя	низкая	средняя
Фильтр с вихревым слоем							
Фильтрация до биофильтра*	средняя	средняя	высокая	низкая	низкая	средняя	высокая
Фильтр с вихревым слоем							
Фильтрация до и после биофильтра	низкая	низкая	высокая	низкая	низкая	низкая	высокая

\* Микрофильтры обычно являются интегрированной частью систем с подвижной загрузкой. Фильтровальная ткань с отверстиями 60-80 мкм до биофильтра и 20 мкм после него.

Биофильтры в комбинации с механическими фильтрами являются неотъемлемой частью любой системы очистки. Существует множество различных комбинаций. Если в таблице выше приводится «переменная», это означает, что в системе имеют место флуктуации и она не подходит для коммерческого рыбоводства. Низкая, средняя и высокая являются относительными названиями, но они указывают на характеристики воды, которые могут быть критическими для определенных видов рыб. Например, если у вас имеется хозяйство для выращивания тилапии, вам не нужно волноваться о высокой концентрации взвешенных частиц, если БПК, содержание аммиака и нитритов низки. Для управляющего форелевым хозяйством или питомником концентрация взвешенных частиц крайне важна, и ему придется выбирать комбинацию биологических и механических фильтров, обеспечивающих малую мутность.

Как видно из вышеприведенной таблицы, все системы характеризуются довольно высокими концентрациями нитрата.

На нитрат приходится существенная часть суммарного азота, и он может оказаться ограничивающим фактором для выращивания определенных видов рыб. Поэтому стандартная практика – использовать денитрифицирующую установку в составе системы, снижающую содержание нитрата до приемлемого уровня.

## 6. ОБСУЖДЕНИЕ

Большинство систем сегодня способны поддерживать качество воды, соответствующее требованиям рыбоводства (см. приложение 2, где приведена типичная рециркуляционная установка). Необходимо уделить особое внимание управлению системам; с биофильтрами следует обращаться, как с живыми организмами.

Качество воды.

Параметр	Стандартный диапазон	Токсический эффект
Кислород, O <sub>2</sub>	6-9 частей на млн.	< 5 частей на млн.
Азот, N <sub>2</sub>	80-100% насыщение	> 100% насыщения
Углекислый газ, CO <sub>2</sub>	10-20 частей на млн.	> 20 частей на млн.
Аммиак, NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> -N	0-5 частей на млн. (зависит от pH)	> 5 частей на млн.
Нитрит, NO <sub>2</sub> -N	0-1,5 частей на млн.	> 1,5 частей на млн.
	NO <sub>2</sub>	> 5 частей на млн.
Нитрат, NO <sub>3</sub> -N	50-100 частей на млн.	> 90 частей на млн.
	NO <sub>3</sub>	> 400 частей на млн.
БПК	5-20 частей на млн.	НЕТ
Щелочность	2-5 мг-экв/л	< 1 мг-экв/л
pH	6,5-8,5	< 6 и > 8,5
Температура	В зависимости от вида	

Уровни токсичности не постоянны, существуют различия между разными видами, а некоторые химические вещества имеют синергический эффект. Вышеприведенные данные могут использоваться только для общего руководства, для обозначения диапазонов допустимых условий. Эти измерения необходимо проводить регулярно. Существует огромная разница между замкнутыми и проточными системами. В последнем случае рыбоводные хозяйства уделяют мало внимания к контролю качества воды. Необходимо внедрить стандартные процедуры и графики проверок, так как система очистки должна всегда работать в оптимальном режиме.

При проектировании системы очистки воды для замкнутой системы особое внимание следует обратить на следующее:

- фильтрация твердых частиц
- аэробные условия
- как избежать скопления ила

Основные процессы в биореакторах, вызывающие рост бактерий – это разложение биологического материала и нитрификация:

*Определение роста бактерий.*

Биомасса: X (г.)

Рост: Δ X (г.)

Время: Δ t (дни)

*Прирост.*

Y (прирост) = Δ биомассы / Δ загрузки = ΔX / ΔS (г/г)

*Скорость роста.*

μ (скорость роста) = Δ биомассы / Δ загрузки = ΔX / ΔS (г/г). Таблица 1:

	Гетеротрофные бактерии	Нитрифицирующие бактерии
μ, макс. при 20°C	4-8	0,4-0,6
Y	0,5-0,7	0,15-0,2

Y можно использовать для расчетов производства ила.

Подложкой для гетеротрофных бактерий является органический материал (БПК), а для нитрифицирующих бактерий – аммиак. Как следует из Таблицы 1, приведенной выше, интенсивность роста относительно подложки намного выше для гетеротрофных бактерий.

### Необходимо предусмотреть возможность использования биофильтров в качестве нитрифицирующих фильтров

При концентрации БПК менее 5 частей на млн. рост гетеротрофных бактерий будет ограничен отсутствием загрузки и условия будут более благоприятными для нитрификации, т.е. темп роста нитросомонос и нитробактер будет выше. Этого можно добиться, только применив контролирование кормежки, расчет площади поверхности и использование микрофльтрации до биофильтров.

Из литературы по биохимии следует вывод, что отношение концентраций БПК /  $O_2$  должно быть менее 5, т.е. если БПК на входе равно 20 мг/л, то концентрация  $O_2$  должна быть выше 4 мг/л. Если отношение концентраций  $NH_4 / O_2$  ниже 0,3-0,4, аммиак будет ограничителем и кинетика реакции, как показывает опыт, будет близка к реакциям 1-го порядка; т.е. окисление будет происходить пропорционально концентрации аммиака. Такая ситуация наблюдается в большинстве рециркуляционных систем, поскольку концентрация аммиака довольно низка. На практике это означает, что при правильном выборе биофильтров суточные колебания выделения аммиака можно сгладить без существенного увеличения количества аммония в системе. Обычно для расчета биофильтров берется фиксированная кинетическая величина, т.е. 0,7 г.  $NH_4 / m^2$ , кинетика порядка 0. Но, как уже говорилось, это верно только для ограниченного диапазона условий.

При проектировании необходимо учесть эти взаимоотношения – использовать меньшие установки и постоянные гидравлические нагрузки. Биопленка должна постоянно расти и обновляться. Обмен питательными веществами и газами происходит только через конвекцию и диффузию в слое микроорганизмов, образующем биопленку. Диффузия эффективна только в при толщине биопленки толщиной 0,5 – 1,0 мм.

Старая		Свежая	
	<p>Пузырьки газа</p> <p>Мертвые бактерии</p> <p>Диффузия</p> <p>Вода</p>		<p>Адсорбция</p> <p>Вода</p> <p>Диффузия <math>CO_2, O_2</math>, питательные вещества</p>
Фильтр		Биопленка 0,5-1,0 мм	

Иллюстрация 17. Состояние биопленки.

В фильтрах с подвижной загрузкой постоянно поддерживается «свежее» состояние. В погружных фильтрах необходимо правильно применять процесс промывки противотоком. В погружных фильтрах происходит некоторое накопление ила, который следует удалять из системы посредством промывки. В системах с подвижной загрузкой происходит образование пленок из бактерии.

Комбинация небольших установок, погружных фильтров и капельных фильтров (2/3 площади поверхности погружено под воду и 1/3 в капельных фильтрах), доказала свою эффективность. Фильтры с подвижной загрузкой эффективны с точки зрения кинетики биопленки, но они более чувствительны к перебоям с энергоснабжением и т.п. Комбинация фильтров с вихревыми слоями, погружных и капельных может объединить преимущества каждого вида, но такая схема себя еще не доказала.

В любом случае, крайне важно внедрить эффективную процедуру устранения нагрузки по органическим соединениям.

### Углекислый газ

CO<sub>2</sub> вырабатывается в результате потребления кислорода рыбой и разложения органического материала фильтрами. При дыхательном коэффициенте (ДК), равном 1 (производство CO<sub>2</sub> / потребление O<sub>2</sub>), приблизительно 700 г O<sub>2</sub> (потребление с 1 кг корма) преобразуется в 1000 г CO<sub>2</sub>. Если не вывести его из системы, начнет уменьшаться величина pH:



Содержание углекислого газа в природной воде низка и, часто, практически нулевая. CO<sub>2</sub> очень хорошо растворяется в воде, и диффузия протекает намного быстрее, чем у кислорода. Большая часть CO<sub>2</sub> превращается в H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (угольная кислота) или находится в виде карбонатов или бикарбонатов.

При увеличении концентрации CO<sub>2</sub> в рециркуляционной системе величина pH начнет быстро уменьшаться. Системы вывода CO<sub>2</sub> должна быть предусмотрена конструкцией:

- Аэрация в капельных фильтрах, поскольку эти фильтры обычно проектируются, как нитрификационные фильтры, в них очень эффективно проходит газообмен.
- Подача воздуха, в атмосферном воздухе содержится всего 0,03% CO<sub>2</sub>. На практике, на каждый килограмм корма необходимо закачать 80 – 100 м<sup>3</sup> воздуха.

Токсический эффект от углекислого газа связан как со снижением pH, так и с респирацией, поскольку он повлияет на форму кривой диссоциации кислорода в крови, тем самым снижая поступление кислорода. В зданиях необходима вентиляция для снижения уровня CO<sub>2</sub>.

### Контроль pH

Производство кислот:

- 1) Угольная кислота, «отгонка» как описывалось ранее.
- 2) Нитрификация,  $\text{NH}_4 + 2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{NO}_3 + 2\text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$

На каждый килограмм корма (коэффициент = 1) необходимо окислять 50 г. N, что дает эквивалент 7,1 г. Кислот.

Денитрификация позволяет избавиться от кислот:



Через денитрификацию эквивалентного количества азота удаляется 50% произведенных кислот.

Потребление зависит от уровня денитрификации и щелочности воды.

#### **Нейтрализация при помощи $\text{Ca}(\text{OH})_2$ :**

Исходя из вышеприведенных расчетов видно, что для полной нейтрализации и поддержания рН в систему достаточно добавить максимум 284 г. основания (на каждый кг корма). Этого никогда не происходит, поскольку происходит денитрификация и через обмен воды добавляется защитная полоса. В среднем добавляется 25% от вышеуказанного количества.

#### **Нейтрализация при помощи $\text{NaHCO}_3$ :**

Необходимо использовать в два раза больше по весу, чем с гидроокисью кальция. Бикарбонат является более слабым основанием, но он более безопасен в использовании. рН насыщенного раствора равен 9,5, в то время, как соответствующий уровень рН гидроокиси кальция равен 11,5. В меньших системах рекомендуется использовать бикарбонат. Гидроокись используется в больших системах, поскольку она стоит намного дешевле.

#### **Расход воды и насыщение кислородом**

У циркулирующей воды есть две функции:

- удаление отходов из бассейнов с рыбой
- транспортировка кислорода.

Кислород:

Обычно решающим фактором, определяющим расчет расхода воды, является транспортировка кислорода в бассейны с рыбой. Расход кислорода меняется в зависимости от режима кормления. Стандартный верхний предел потребления принимается равным 400 мг  $\text{O}_2$  / кг рыбы в час.

Пример: 1000 кг рыбы

Потребление  $\text{O}_2$ : 400 мг x 1000 кг = 400 г.  $\text{O}_2$  / час

Поступающая вода, сверхнасыщенная: 12 мг/л

Вода на выходе, должна быть не менее 7 мг/л.

Расход воды: 400 г/час/(12/7) = 80 м<sup>3</sup>/час

Плотность посадки в интенсивных системах типично составляет 50 – 100 кг рыбы/м<sup>3</sup>. При расчете подачи воды берется немного перенасыщенная вода, время пребывания 7-8 мин. Этого времени более чем достаточно для удержания отходов на допустимом уровне. Следующим ограничивающим фактором, наверное, является БПК, так как он служит основой для размножения бактерий, которые должны присутствовать только внутри биофильтров.

БПК:

Если норма кормления составляет 3%/день, для располагаемой массы рыбы: 1000 кг x 0,03 = 30 кг корма/день.

Соответствующее максимальное выделение БПК в бассейнах будет: (см. стр. 12 и 13)

$$30 \text{ кг} \times 0,338 \text{ кг} = 10,1 \text{ кг БПК.}$$

При заданном расходе в  $80 \text{ м}^3/\text{час}$ :  $\Delta \text{БПК} - 10100 \text{ г./}80 \times 24 = 5,3 \text{ мг/л.}$

Во избежание роста бактерий в бассейнах время пребывания не должно превышать 30 минут.

Поскольку время деления некоторых микроорганизмов еще меньше, и они не будут вымываться из бассейнов, а могут, теоретически, размножаться в бассейнах, создавая дискомфортную среду обитания для рыб.

Как видно из вышеприведенных примеров, расчет водообмена в бассейнах должен основываться на требуемых уровнях кислорода. Время пребывания менее 30 минут позволит удерживать негативный эффект от отходов на приемлемом уровне.

#### **Расход воды:**

Оптимальная конструкция предусматривает две подающих трубы на бассейн: одна с сверхнасыщенной водой, вторая с стандартной водой. Это обеспечит необходимую кратность водообмена и подачу кислорода, независимо от плотности посадки в каждом бассейне. В однотрубных системах сверхнасыщение в бассейнах наблюдается при минимальной плотности посадки, так как мощность рассчитывается для максимальной биомассы.

Пример:

В бассейне объемом  $10 \text{ м}^3$  плотность посадки составляет  $100 \text{ кг/м}^3$ , суммарное максимальное потребление кислорода составляет  $400 \text{ г/час}$ . Суммарный максимальный расход воды  $30 \text{ м}^3/\text{час}$  (время пребывания около 20 минут), минимальная концентрация  $\text{O}_2$  на выходе  $7 \text{ мг/л}$ :

#### Подача кислорода:

Насыщенная вода: (100% насыщение при  $20 \text{ }^\circ\text{C} = 9 \text{ мг/л}$ )

50% расхода воды =  $15 \text{ м}^3/\text{час}$ ,  $(9 \text{ мг/л} - 7 \text{ мг/л}) = 2 \times 15 = 30 \text{ г/час}$ .

Сверхнасыщенная вода: (350% насыщение при  $20 \text{ }^\circ\text{C} = 32 \text{ мг/л}$ )

50% расход воды =  $15 \text{ м}^3/\text{час}$ ,  $(32 \text{ мг/л} - 7 \text{ мг/л}) = 25 \times 15 = 375 \text{ г/час}$ .

Суммарная подача кислорода:  $400 \text{ г/час}$

Расход кислорода в биологических фильтрах на нитрификацию и разложение органического материала соответствует расходу кислорода в бассейнах. Подача кислорода зависит от конструкции системы – фильтры с подвижной загрузкой и капельные фильтры требуют повышенной аэрации, погружные фильтры обычно работают, как первый шаг фильтрации без дополнительной подачи кислорода; концентрация кислорода на выходе из рыбоводных бассейнов должна составлять около  $7 \text{ мг/л}$ .

#### **Системы насыщения кислородом**

Подача кислорода должна быть доступна всегда, основная и резервная. При высокой плотности посадки прерывание подачи кислорода приведет к гибели рыб уже через несколько минут.

Содержание кислорода в воздухе приблизительно в 20 раз превышает его концентрацию в насыщенной воде. Для повышения транспортной емкости вода должна быть перенасыщена.

Используется чистый кислород, повышают парциальное давление с  $0,21$  атмосфер ( $21\%$  кислорода в атмосферном воздухе) до  $1,0$  атмосфер. Растворимость пропорциональна давлению, т.е. при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$   $100\%$  насыщенность соответствует  $9 \text{ мг/л}$  (см. таблицу). При использовании чистого кислорода уровень насыщения будет  $5 \times 9 = 45 \text{ мг/л}$ . Это вызвано пятикратным увеличением парциального давления. Давление системы насыщения кислородом также можно увеличить.

Одна из наиболее распространенных систем – кислородный конус:



Иллюстрация 15. Кислородные конуса на угревом хозяйстве.

Принцип работы: Вода подается в конус сверху, прокачивается через него, добавляется чистый кислород. Использовать можно только чистый кислород, так как азот, из которого на 78% состоит атмосферный воздух, при перенасыщении всего в 3 – 5% нанесет серьезный вред рыбе.



Иллюстрация 18. Кислородный конус

Кислород удерживается внутри конуса, так как скорость потока на впуске выше, чем скорость подъема пузырьков кислорода. Скорость потом на дне ниже, чем скорость подъема пузырьков, что и не дает кислороду выйти. Кислородные конусы работают под давлением, на 1 атмосферу превышающим нормальное. Эффективность насыщения кислородом в правильно сконструированном конусе достигает 80-85%. Эффективность сильно зависит от расхода воды, подачи кислорода и дополнительного давления. Чистый кислород обычно стоит довольно дорого, поэтому системы насыщения кислородом проектируются на максимальную эффективность. В конусной системе оптимальная эффективность добавления кислорода находится на уровне, соответствующем приблизительно 40% насыщения при заданном давлении. При рассчитанных выше значениях в 9 мг/л (атмосферное насыщение при 20,4 С, см. Приложение 3) можно рассчитать уровень насыщения для 100% кислорода, так как растворимость газа пропорциональна парциальному давлению, которое при использовании чистого кислорода будет в пять раз выше:  $5 \times 9 = 45$ . Давление в конусе составляет 2 атмосферы:  $2 \times 45 = 90$  мг/л, концентрация на выходе из конуса  $0,4 \times 90 = 36$  мг/л. Конус представляет собой гибкую систему. Концентрация кислорода измеряется в бассейнах и подача кислорода в конус соответственно регулируется.

Эксплуатационные расходы данной системы соответствуют стоимости электроэнергии, потребляемой насосом: 3-4 кВт на каждый килограмм растворенного кислорода плюс стоимость кислорода. Каждый бассейн должен быть оборудован резервной системой, подающей кислород напрямую через диффузоры. Резервная система подачи кислорода должна иметь независимое электропитание.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1А: КОНЦЕНТРАЦИЯ ИЛА

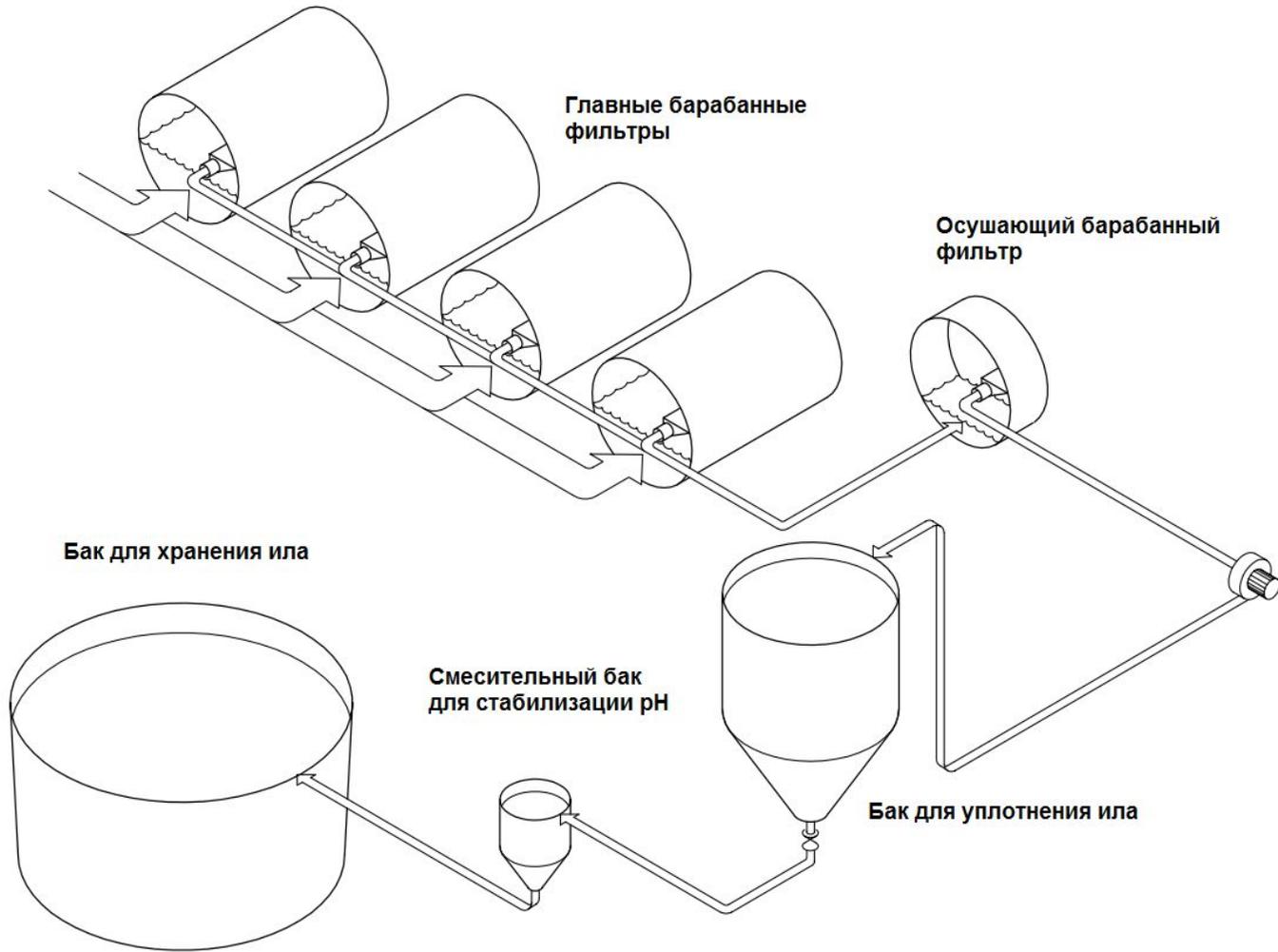
Ил, производимый при фильтрации воды в рыбоводных хозяйствах, часто влечет за собой проблемы, связанные с недостатком площадей для его складирования и дополнительными расходами. После иллюстрации рассматривается пример хозяйства по выращиванию смолтов в Норвегии, изученный компанией Rogaland Research. Сбросная вода из рыбных бассейнов подается на 4 микрофильтра Hydrotech HDF1607. Полный расход воды составляет 2076 м<sup>3</sup>/час. Первая фильтрация осуществляется фильтровальной тканью с отверстиями 90 микрон, эффективность фильтрации твердых веществ составляет 36-54% - для очень низких концентраций частиц на входе, 1-3 мг/л. Вода с илом с фильтра самотеком поступает на микрофильтр модели HDF1602 с размеров отверстий 80 микрон. Концентрация твердых частиц в воде с илом составляет приблизительно 1000 мг/л, расход 240 – 2400 л/час в зависимости от режима работы фильтров – прерывистая или постоянная.

Эффективность модели HDF1602 по твердым частицам составляет 90-99%, концентрация ила повышается в 4 раза, т.е. до 4000 мг частиц/л, производительность 60 – 600 л/час. Затем ил перекачивается в накопительный бак. Размеры накопительного бака: ширина 2,0 м, объем 5,5 м<sup>3</sup>, гидравлическая нагрузка 0,02 – 0,18 м/час. Время пребывания: от 9 часов до 3,8 дней.

После стабилизации ила в малом баке в него добавляется 8 кг СаО на 500 л ила; в результате рН увеличивается до 11 – 12. При таком рН все патогенные микроорганизмы погибают. Накопительный бак рассчитан приблизительно на 1 месяц производства. При производстве вырабатывается 0,5 л ила на каждый килограмм корма или 50-70 г. твердых частиц, что соответствует 10-14% твердых частиц по массе.

Работа описанной установки контролировалась при работе с очень малой нагрузкой на первый фильтр, и эффективность оказалась выше для более высоких нагрузок. После второго фильтра и до осаждения ила концентрация твердых частиц увеличивается в 4 раза. Необходимо провести анализ затрат и выгод: если увеличение объема бака для седиментации экономически более выгодно, можно отказаться от вторичной фильтрации.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1В: КОНЦЕНТРАЦИЯ ИЛА; ОСАЖДЕНИЕ**



## ПРИЛОЖЕНИЕ 1С: КОНЦЕНТРАЦИЯ ИЛА, ЛЕНТОЧНЫЙ ФИЛЬТР

Плотность ила, поступающего с микрофильтров и промывки биофильтров в некоторых РСА можно увеличить еще больше. Для этого после слива ленточных фильтров добавляются специальные полимеры.

При использовании этой технологии доля взвешенных твердых частиц в иле повышается с 0,05-0,1% до 8-12%.

Отфильтрованная вода возвращается в систему, обычно через блок денитрификации, который снижает недопустимо высокую концентрацию нитрата. В некоторых системах, не оснащенных системами денитрификации, вода закачивается в систему перед биофильтрами.

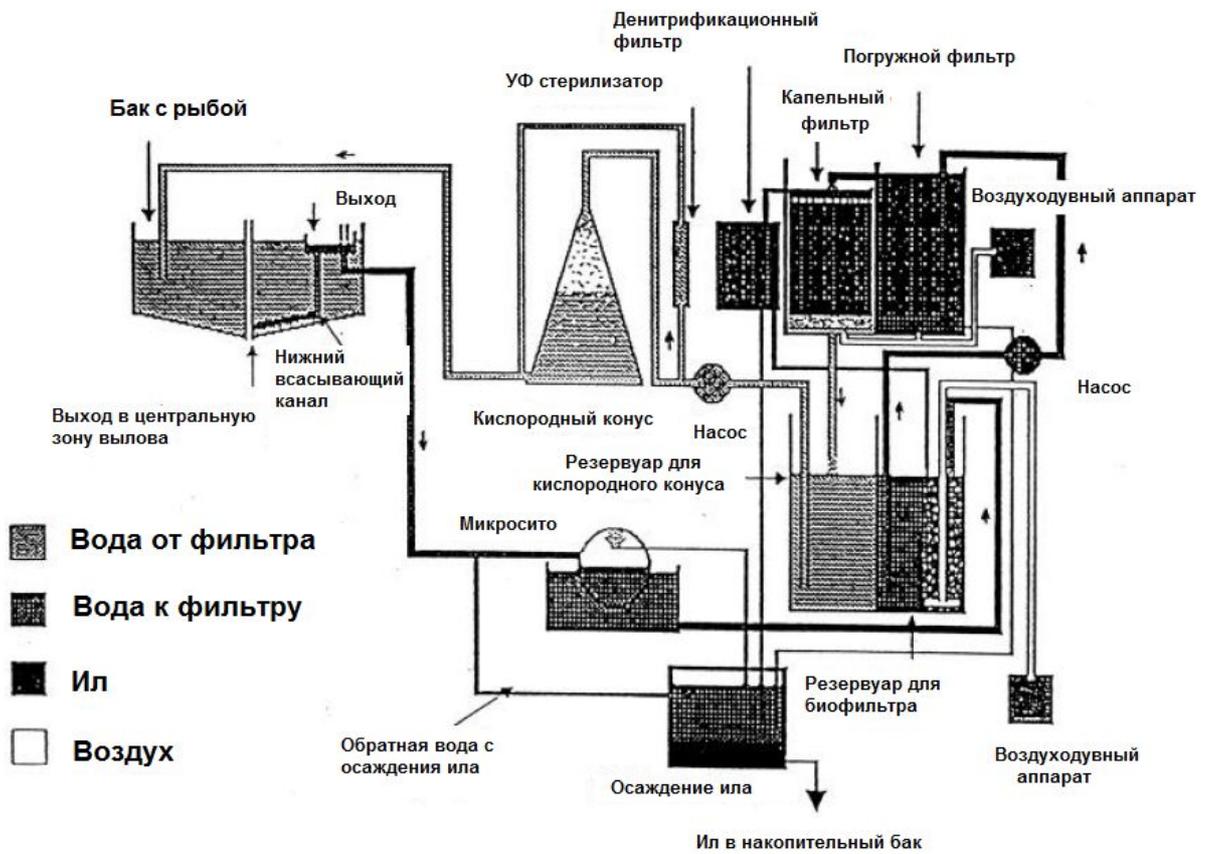


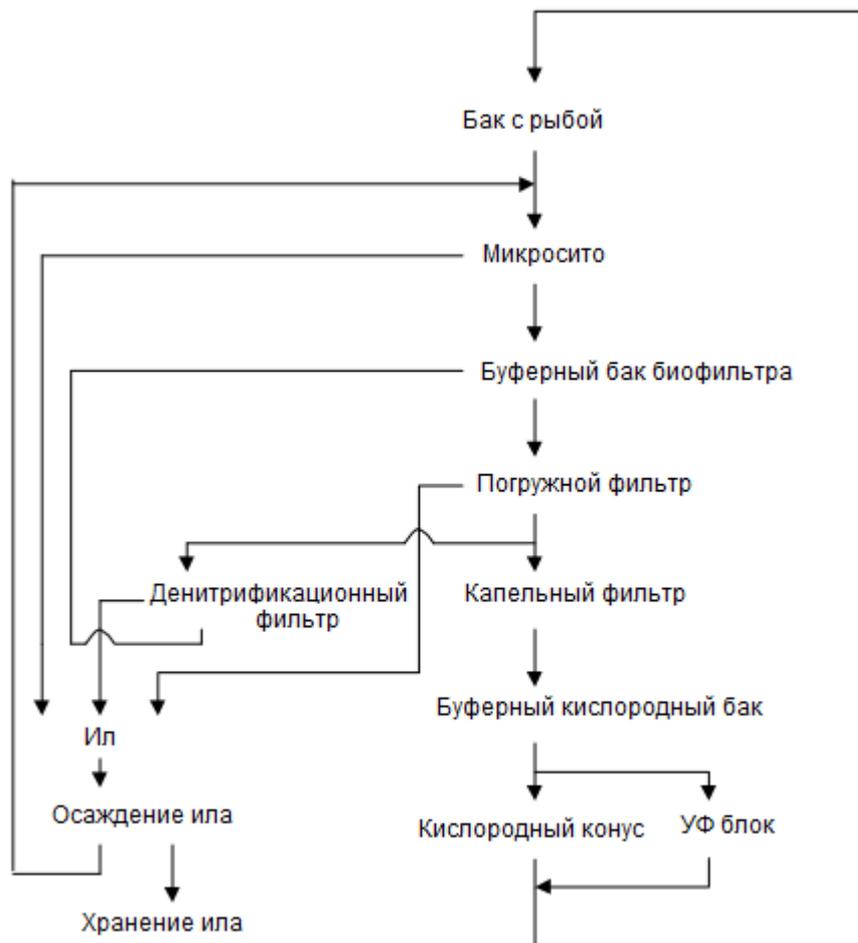
*Первый этап: очистка выпускных вод барабанным или дисковым фильтром.*



*Смесительный бак и ленточный фильтр для уплотнения ила.*

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2: ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА РЫБОВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА С РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ ВОДЫ





## ПРИЛОЖЕНИЕ 3А: НАСЫЩЕНИЕ ПРЕСНОЙ ВОДЫ КИСЛОРОДОМ

Предположения:

Пример: T = 15°C, Растворенный кислород = 10,05

Давление = 760 мм

Соленость = 0,0 частей на тысячу

### ТЕМПЕРАТУРА

Температура, градусы С										
Целые числа	Десятые доли градусов С									
	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
0	14.60	14.56	14.52	14.48	14.44	14.40	14.36	14.32	14.28	14.24
1	14.20	14.16	14.12	14.08	14.04	14.00	13.97	13.93	13.89	13.85
2	13.81	13.78	13.74	13.70	13.66	13.63	13.59	13.55	13.52	13.48
3	13.45	13.41	13.37	13.34	13.30	13.27	13.23	13.20	13.16	13.13
4	13.09	13.06	13.03	12.99	12.96	12.92	12.89	12.86	12.82	12.79
5	12.76	12.72	12.69	12.66	12.63	12.59	12.56	12.53	12.50	12.47
6	12.44	12.40	12.37	12.34	12.31	12.28	12.25	12.22	12.19	12.16
7	12.13	12.10	12.07	12.04	12.01	11.98	11.95	11.92	11.89	11.86
8	11.83	11.80	11.77	11.75	11.72	11.69	11.66	11.63	11.60	11.58
9	11.55	11.52	11.49	11.47	11.44	11.41	11.38	11.36	11.33	11.30
10	11.28	11.25	11.22	11.20	11.17	11.15	11.12	11.09	11.07	11.04
11	11.02	10.99	10.97	10.94	10.92	10.89	10.86	10.84	10.82	10.79
12	10.77	10.74	10.72	10.69	10.67	10.64	10.62	10.60	10.57	10.55
13	10.53	10.50	10.48	10.46	10.43	10.41	10.39	10.36	10.34	10.32
14	10.29	10.27	10.25	10.23	10.20	10.18	10.16	10.14	10.12	10.09
15	10.07	10.05	10.03	10.01	9.99	9.96	9.94	9.92	9.90	9.88
16	9.86	9.84	9.82	9.79	9.77	9.75	9.73	9.71	9.69	9.67
17	9.65	9.63	9.61	9.59	9.57	9.55	9.53	9.51	9.49	9.47
18	9.45	9.43	9.41	9.39	9.38	9.36	9.34	9.32	9.30	9.28
19	9.26	9.24	8.22	9.21	9.19	9.17	9.15	8.13	9.11	9.09
20	9.08	9.06	9.04	9.02	9.00	8.99	8.97	8.95	8.93	8.92
21	8.90	8.88	8.86	8.85	8.83	8.81	8.79	8.78	8.76	8.74
22	8.73	8.71	8.69	8.68	8.66	8.64	8.63	8.61	8.59	8.58
23	8.56	8.54	8.53	8.51	8.50	8.48	8.46	8.45	8.43	8.42
24	8.40	8.38	8.37	8.35	8.34	8.32	8.31	8.29	8.27	8.26
25	8.24	8.23	8.21	8.20	8.18	8.17	8.15	8.14	8.12	8.11
26	8.09	8.08	8.06	8.05	8.04	8.02	8.01	7.99	7.98	7.96
27	7.95	7.93	7.92	7.91	7.89	7.88	7.86	7.85	7.84	7.82
28	7.81	7.79	7.78	7.77	7.75	7.74	7.73	7.71	7.70	7.68
29	7.67	7.66	7.64	7.63	7.62	7.60	7.59	7.58	7.57	7.55
30	7.54	7.53	7.51	7.50	7.49	7.47	7.46	7.45	7.44	7.42
31	7.41	7.40	7.39	7.37	7.36	7.35	7.34	7.32	7.31	7.30
32	7.29	7.27	7.26	7.25	7.24	7.23	7.21	7.20	7.19	7.18
33	7.17	7.15	7.14	7.13	7.12	7.11	7.10	7.08	7.07	7.06
34	7.05	7.04	7.03	7.01	7.00	6.99	6.98	6.97	6.96	6.95
35	6.93	6.92	6.91	6.90	6.89	6.88	6.87	6.86	6.85	6.83
36	6.82	6.81	6.80	6.79	6.78	6.77	6.76	6.75	6.74	6.73
37	6.72	6.71	6.70	6.68	6.67	6.66	6.65	6.64	6.63	6.62
38	6.61	6.60	6.59	6.58	6.57	6.56	6.55	6.54	6.53	6.52
39	6.51	6.50	6.49	6.48	6.47	6.46	6.45	6.44	6.43	6.42
40	6.41	6.40	6.39	6.38	6.37	6.36	6.35	6.34	6.33	6.32

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3А: НАСЫЩЕНИЕ МОРСКОЙ ВОДЫ КИСЛОРОДОМ

Предположения:

Давление = 760 мм

Пример: T = 4°C и S = 35 частей на тыс., растворенный кислород = 10,38 мг/л

### СОЛЕННОСТЬ

Темп (С)	Соленость, частей на тысячу									
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	14,60	14,11	13,64	13,18	12,74	12,31	11,90	11,50	11,11	10,74
1	14,20	13,73	13,27	12,83	12,40	11,98	11,58	11,20	10,83	10,46
2	13,81	13,36	12,91	12,49	12,07	11,67	11,29	10,91	10,55	10,20
3	13,45	13,00	12,58	12,16	11,76	11,38	11,00	10,64	10,29	9,95
4	13,09	12,67	12,25	11,85	11,47	11,09	10,73	10,38	10,04	9,71
5	12,76	12,34	11,94	11,56	11,18	10,82	10,47	10,13	9,80	9,48
6	12,44	12,04	11,65	11,27	10,91	10,56	10,22	9,89	9,57	9,27
7	12,13	11,74	11,37	11,00	10,65	10,31	9,98	9,66	9,35	9,06
8	11,83	11,46	11,09	10,74	10,40	10,07	9,75	9,44	9,14	8,85
9	11,55	11,19	10,83	10,49	10,16	9,94	9,53	9,23	8,94	8,66
10	11,28	10,92	10,58	10,25	9,93	9,62	9,32	9,03	8,75	8,47
11	11,02	10,67	10,34	10,02	9,71	9,41	9,12	8,83	8,56	8,30
12	10,77	10,43	10,11	9,80	9,50	9,21	8,92	8,65	8,38	8,12
13	10,53	10,20	9,89	9,59	9,30	9,01	8,74	8,47	8,21	7,96
14	10,29	9,98	9,68	9,38	9,10	8,82	8,55	8,30	8,04	7,80
15	10,07	9,77	9,47	9,19	8,91	8,64	8,38	8,13	7,88	7,65
16	9,86	9,56	9,28	9,00	8,73	8,47	8,21	7,97	7,73	7,50
17	9,65	9,36	9,09	8,82	8,55	8,30	8,05	7,81	7,58	7,36
18	9,45	9,17	8,90	8,64	8,39	8,14	7,90	7,66	7,44	7,22
19	9,26	8,99	8,73	8,47	8,22	7,98	7,75	7,52	7,30	7,09
23	9,08	8,81	8,56	8,31	8,07	7,83	7,60	7,38	7,17	6,96
21	8,90	8,64	8,39	8,15	7,91	7,69	7,46	7,25	7,04	6,84
22	8,73	8,48	8,23	8,00	7,77	7,54	7,33	7,12	6,91	6,72
23	8,56	8,32	8,08	7,85	7,63	7,41	7,20	6,99	6,79	6,60
24	8,40	8,16	7,93	7,71	7,49	7,28	7,07	6,87	6,68	6,49
25	8,24	8,01	7,79	7,57	7,36	7,15	6,95	6,75	6,56	6,38
26	8,09	7,87	7,65	7,44	7,23	7,03	6,83	6,64	6,46	6,28
27	7,95	7,73	7,51	7,31	7,10	6,91	6,72	6,53	6,35	6,17
28	7,81	7,59	7,38	7,18	6,98	6,79	6,61	6,42	6,25	6,08
29	7,67	7,46	7,26	7,06	6,87	6,68	6,50	6,32	6,15	5,98
30	7,54	7,33	7,14	6,94	6,75	6,57	6,39	6,22	6,05	5,89
31	7,41	7,21	7,02	6,83	6,65	6,47	6,29	6,12	5,96	5,80
32	7,29	7,09	6,90	6,72	6,54	6,36	6,19	6,03	5,87	5,71
33	7,17	6,98	6,79	6,61	6,44	6,26	6,10	5,94	5,78	5,63
34	7,05	6,86	6,68	6,51	6,33	6,17	6,01	5,85	5,69	5,54
35	6,93	6,75	6,58	6,40	6,24	6,07	5,92	5,76	5,61	5,46
36	6,82	6,65	6,47	6,31	6,14	5,98	5,83	5,68	5,53	5,39
37	6,72	6,54	6,37	6,21	6,05	5,89	5,74	5,59	5,45	5,31
38	6,61	6,44	6,28	6,12	5,96	5,81	5,66	5,51	5,37	5,24
39	6,51	6,34	6,18	6,03	5,87	5,72	5,58	5,44	5,30	5,16
40	6,41	6,25	6,09	5,94	5,79	5,64	5,50	5,36	5,22	5,09