



GRYF

Manufacturer of Electronic
Measuring Instruments

Физические принципы измерений в аквакультуре

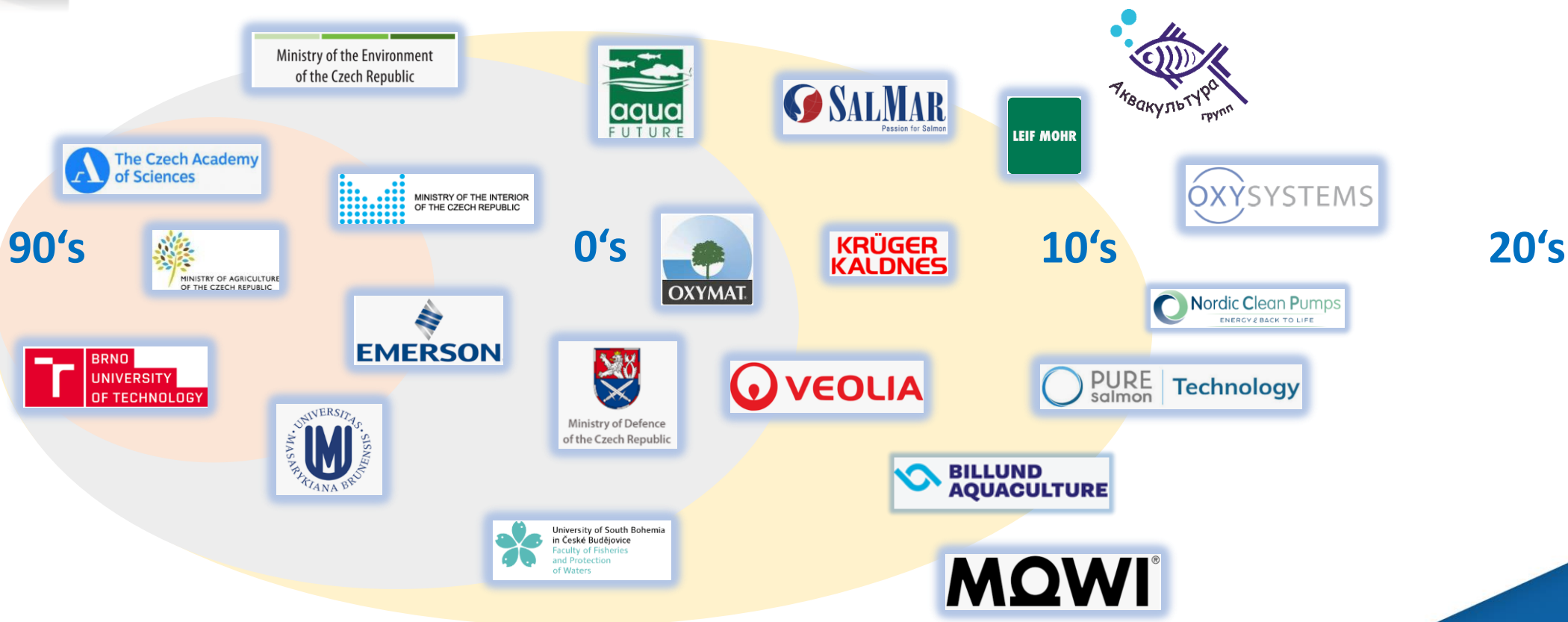
От исследований к практическому применению

Представляем отдел исследований и разработок GRYF

Исследования в области измерения параметров воды и газа с 1990 года.



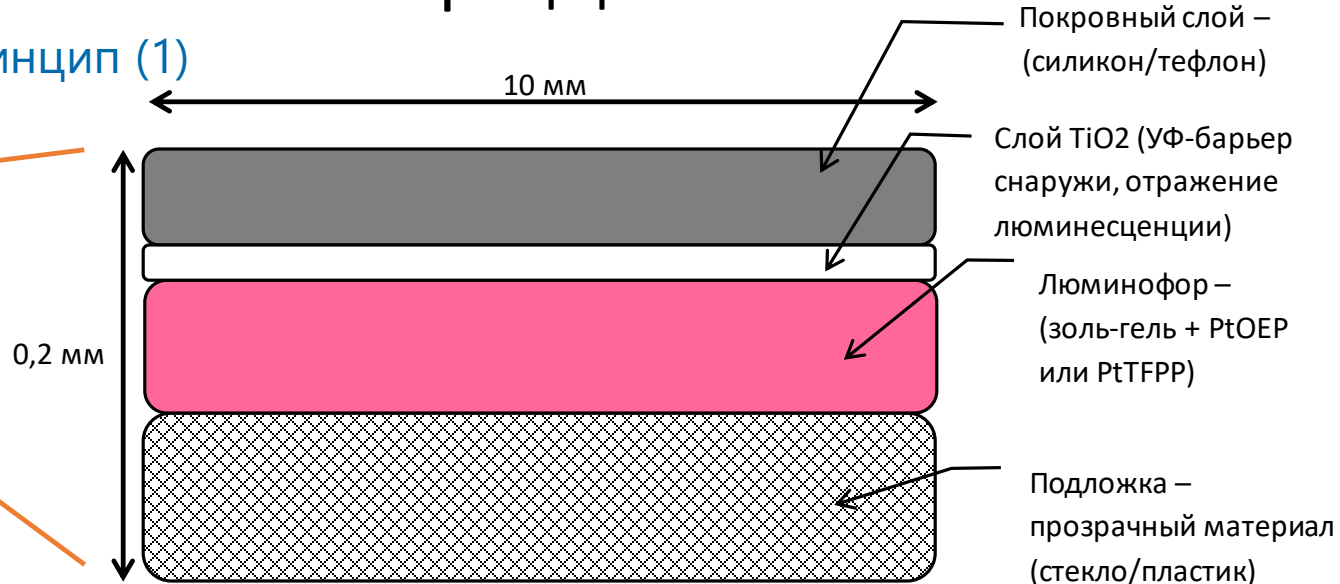
Мы гордимся тем, что являемся партнерами всех тех, кто не побоялся внедрять инновации.



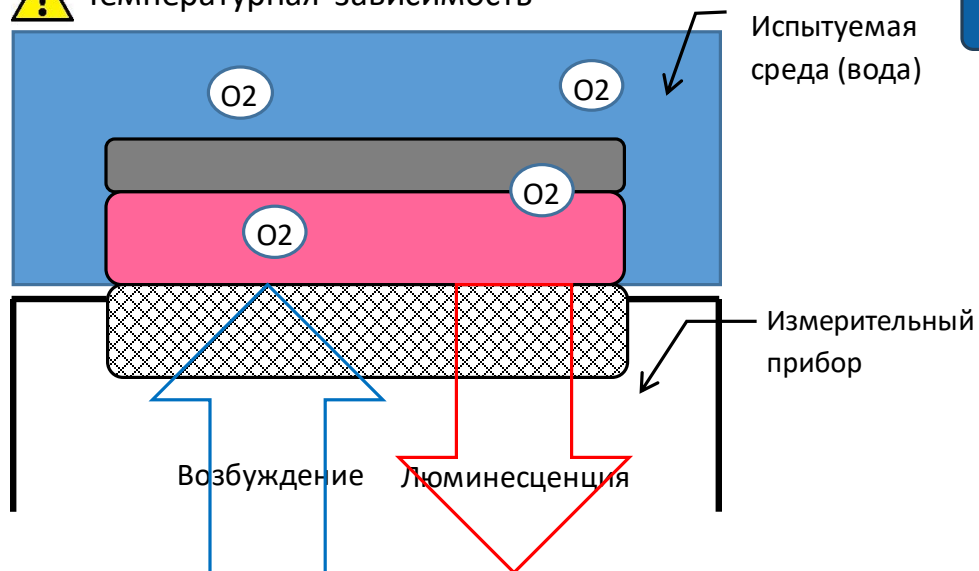
Измерение кислорода оптическим методом

Физический принцип (1)

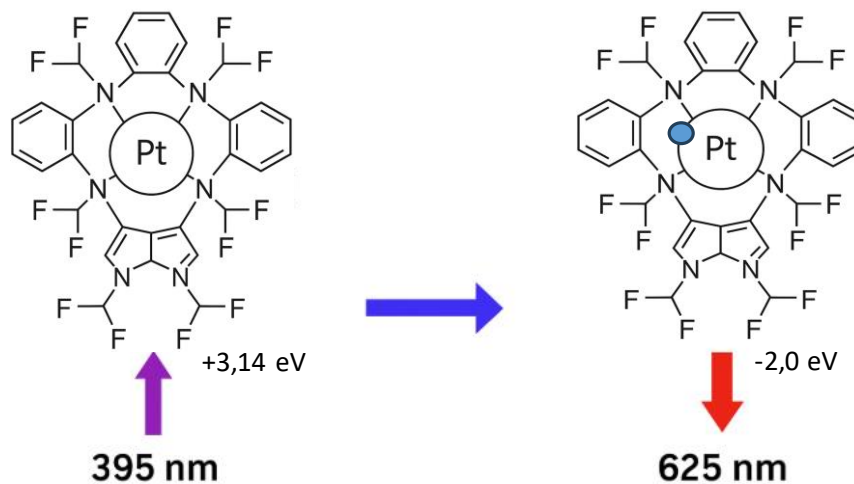
⚠ Пропускная способность



⚠ Температурная зависимость

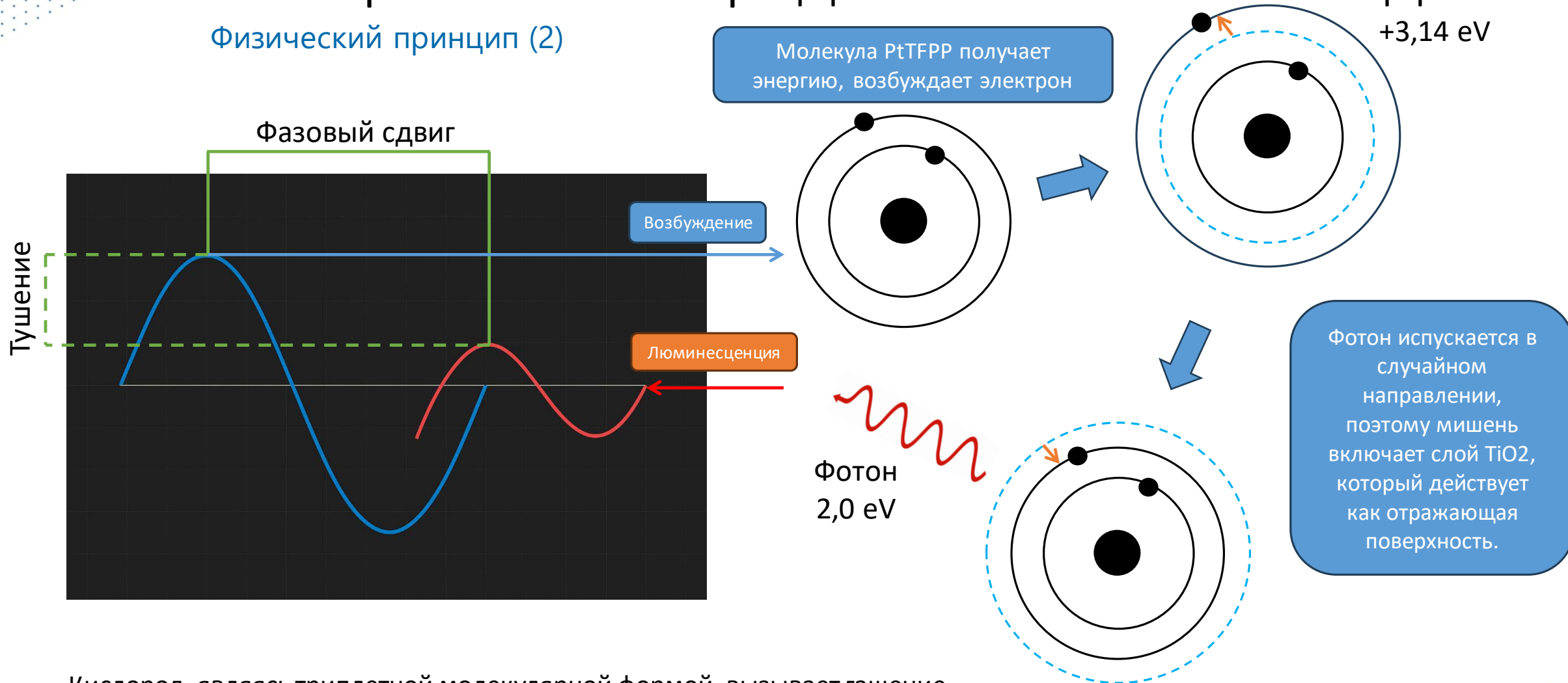


Если присутствует кислород, свечение не происходит.



Измерение кислорода оптическим методом

Физический принцип (2)



Кислород, являясь триплетной молекулярной формой, вызывает гашение люминесценции, забирая энергию из триплетного возбужденного состояния фосфора посредством передачи столкновения, тем самым выключая фосфор без испускания фотонов.

Что на самом деле измеряет датчик кислорода?

...ничего из того, что он интерпретирует

Зонд измеряет уровень люминесценции.

С помощью калибровки мы сообщаем, какой уровень соответствует 0%, а какой — 100% насыщению кислородом.

 Нелинейная функция

Все остальное — вопрос программного обеспечения и компенсации других влияний.

Компенсация и интерпретация

Как перейти от измерения люминесценции к уровню насыщения кислородом?

- Температурная компенсация:
 - Датчик температуры должен быть быстрым, точным и **не подверженным влиянию тепла от электроники зонда.**
- Компенсация солёности:
 - **Динамическую компенсацию** следует проводить, особенно в **солёноватой воде.**
- **Компенсация барометрического давления:**
 - Невозможно выполнить в зонде — компенсация должна выполняться ПЛК с датчиком давления.

Пример: Trondheim, Норвегия

Колебания атмосферного давления в течение года: 970 гПа – 1045 гПа

При температуре воды 10°C и солёности 35 ppt:

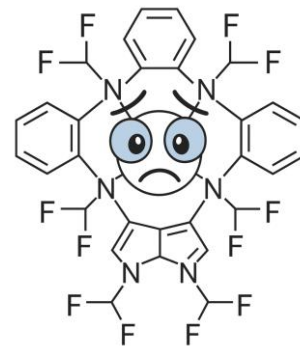
- 100% насыщение при 970 гПа: 7,7 мг/л
- 100% насыщение при 1045 гПа: 8,3 мг/л

=> Погрешность измерения без компенсации до 9,3%

Зонд сам по себе НИКОГДА не сможет предоставить точную информацию о насыщении.

Биообрастание и обслуживание

Что может сделать природа и как (правильно) от этого защититься



На поверхности объекта измерения оседают следующие отложения:

- Жир из остатков корма
- Бактерии и водоросли

который, может ли кислород:

- Потреблять
- Обездвиживать
- Производить

FAQ

Q: Как часто следует чистить зонд?

A: Это зависит от состава корма, динамики жидкости и биологической активности окружающей среды..

Q: Как часто необходимо калибровать датчик?

A: Чем чаще очищается зонд, тем чаще требуется калибровка (поскольку измерительный объект изнашивается).

Если на поверхности зонда есть следы биопленки или масла (жира), его необходимо очистить. После каждой 5 очистки калибруйте на 100%, после каждой 20 очистки калибруйте на 0%.

Нет такого датчика, который не требовал бы регулярной очистки и калибровки.

Измерение TDGP

Почему измерение TDGP в RAS так же важно, как измерение кислорода?



Relative abundance	
D.O2	34.1
D.CO2	3.4
D.N2	62.5

Измерение уровня кислорода может показать, что его недостаточно. Но оно не даёт ответа на вопрос, имеет ли смысл добавлять его в воду.

Измерение TDGP в реальном времени (T90 < 15 мин.) позволяет нам:

- Избегать общего риска пересыщения
- Избегать неэффективной оксигенации
- Рассчитывать концентрацию N₂ совместно с измерениями O₂ и CO₂ и эффективно контролировать дегазацию

Системный экран GRYF IFF Nitro

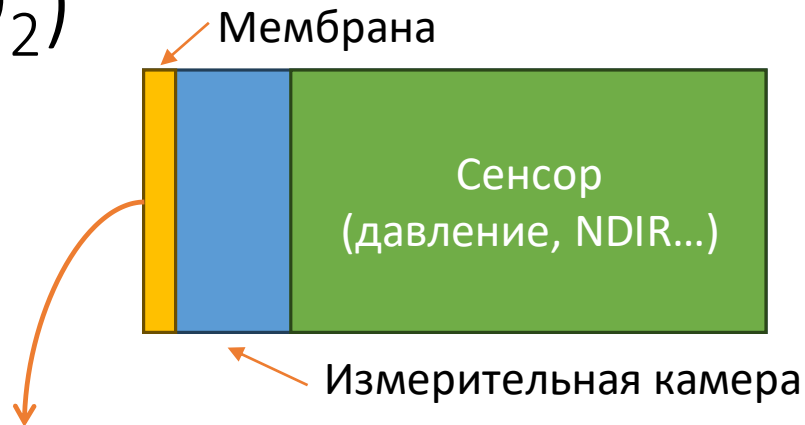
Газ	Тип поведения	Риск перенасыщения	Доминирующий механизм вреда
O ₂	метаболически активный	>180 % → окислительный стресс	токсичный избыток, радикалы
N ₂ (а Ar)	инертный	> 105 % → GBD	физическая эмболия
CO ₂	реактивный, буферный	если >20–30 mg/L ядовито	ацидоз, блокировка высвобождения CO ₂

Trvalé měření TDGP v reálném čase nelze provádět ponornými sondami

Ключевой фактор TDGP (и CO₂)

Почему погружные зонды ненадежны?

- Быстрое прохождение газов означает, что мембрана не может быть газоселективной — она также пропускает водяной пар.
- Если водяной пар проходит через мембрану, он конденсируется в измерительной камере. Нагрев замедляет этот процесс, но не останавливает его.
- Без осушения камеры (регенерации) срок её службы ограничен.
- Регенерация в погружном зонде невозможна.



Gas	Silicone (Barrer)	Teflon (Barrer)	Microporous Polypropylene (Barrer)
O ₂	600 – 800	0.02 – 0.04	1 – 3
CO ₂	3000 – 4000	0.1 – 0.2	5 – 10
N ₂	200 – 400	0.01 – 0.02	0.5 – 1
Water vapor (H ₂ O)	15,000 – 30,000	1 – 10	1 – 3

„Ахиллсова пята“
измерительных камер.

1 Баррер означает, что через материал площадью 1 см² и толщиной 1 см в секунду проходит 10⁻¹⁰ см³ газа (при стандартных условиях и разнице давления 1,3 гПа между обеих сторон).

Ключевым фактором является не селективно проницаемая мембрана, а регенерация измерительной камеры.

Прохождение газа через мембраны

Теория и реальность

Молекула	Кинетическое среднее (пм)	% H ₂ O	Примечание
H ₂	289 пм	107%	очень маленькая, чрезвычайно быстрая диффузия
H ₂ O	270 пм	100%	полярный, сильно взаимодействует с материалом
O ₂	346 пм	128%	ссылка для большинства газовых мембран
N ₂	364 пм	135%	немного больше, чем O ₂
CO ₂	330 пм	122%	линейный, но эффективный диаметр меньше N ₂
Ar	340 пм	126%	инертный, подобный O ₂

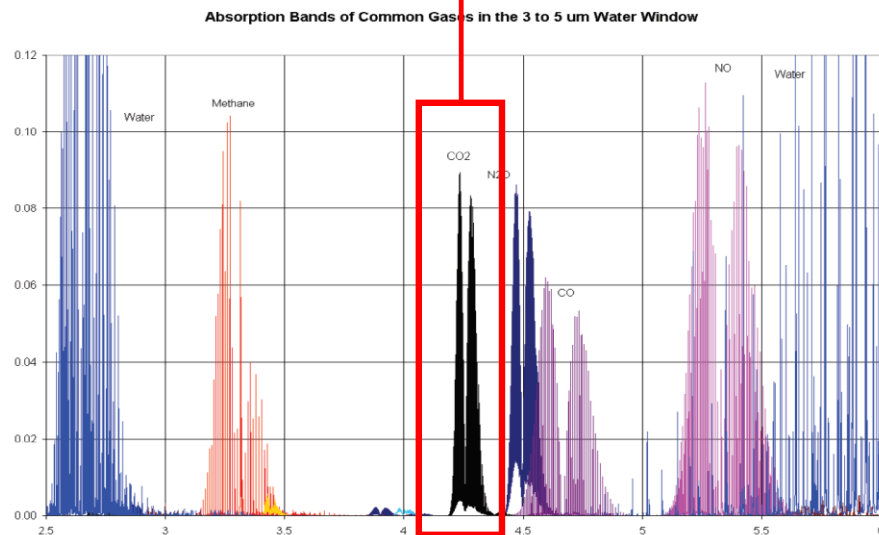
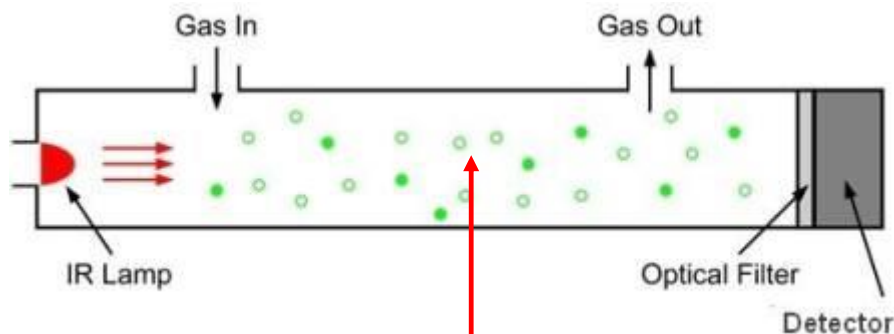
Кинетический диаметр определяет не размер молекулы, а то, какое «пространство вокруг неё» она фактически занимает при движении благодаря силовым взаимодействиям.

H₂O обладает способностью проникать в более узкие поры благодаря своей полярности, в то время как H₂, хотя и меньше по размеру, встречает более сильный отталкивающий барьер и, таким образом, «ведёт себя как более крупная молекула».

Реальность: H₂O пройдет через мембрану легче, чем любой другой газ, включая водород, из-за своей полярности.

Измерение CO₂

Датчики NDIR (НЕ-Дисперсионные инфракрасные)



Физический принцип

Свет с длиной волны 4,26 мкм ($\pm 0,05$ – $0,10$ мкм) не может пройти через молекулу CO₂, молекула поглощает его.

Поскольку, в отличие от многих других газов, эта длина волны специфична для CO₂, мы используем её для (очень точных) измерений, не только в аквакультуре.

Как и в случае с TDGP, принцип прост. Однако на практике возникает проблема «затопления» датчика/камеры водой, поэтому погружные зонды непригодны для непрерывных измерений.

Азот и аргон (далее именуемые азотом)

Инертный и смертоносный

- Оба газа очень сложно измерить.
- С точки зрения их важности для аквакультуры, разделять их не имеет смысла, поэтому, когда мы говорим об азоте, мы, как правило, подразумеваем оба газа.
- Азот имеет большое значение, поскольку он является продуктом химического превращения аммиака в биофильтрах и в значительной степени поступает в наш ТГ.
- Его концентрация описывается следующим образом:

Сточные воды биофильтра «бедны» кислородом, но содержат большое количество свободного азота (N₂), который часто перенасыщен.

Прежде чем начать эффективное насыщение кислородом, необходимо избавиться от азота.

Энергопотребление систем дегазации составляет около 10% от общей стоимости интенсивной системы УЗВ.

$$p_{N_2+Ar} = TDG_{wet} - p_{O_2} - p_{CO_2} - p_{H_2O}(T)$$

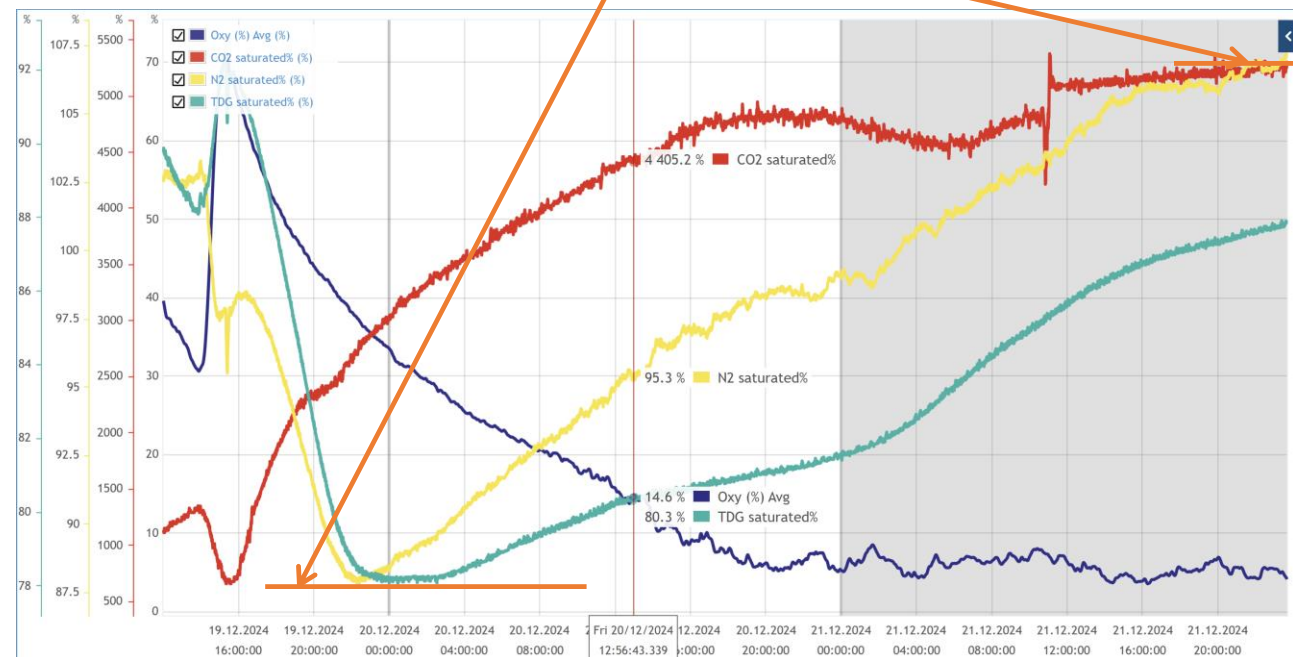
Затраты на дегазацию подтверждены эмпирически, уравнение тоже?

„Рождественский эксперимент“

Последнее слово за биологией

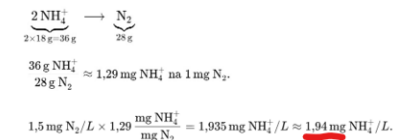
- 19.12.2024: В рамках пилотного проекта IFF Nitro мы заблокировали систему биологически активной воды на ферме MOWI Hellur для проверки точности расчётов концентраций N_2 .
- Через 60 часов концентрация O_2 упала до значения, близкого к нулю, а расчётная разница в содержании N_2 достигла 1,5 мг/л, после чего стабилизировалась.
- Для проверки мы рассчитали вероятное исходное содержание аммиака с помощью стехиометрических уравнений.
- Расчётное значение аммиака составило 1,94 мг/л NH_4^+ .
- Разница между расчётным и измеренным значением составила 6%.

$\Delta N_2 = 1,5 \text{ mg/L}$



Подтверждение клиента

Контролируемая система работала на пике производительности непосредственно перед переносом рыб. Биофильтр работал на пределе своих возможностей: независимое измерение составило 1,83 мг/л NH_4^+ .



Заключение эксперимента

С результатами, проверенными в лабораторных условиях

- Эксперимент с аммиаком был повторен в лабораторных условиях. Было установлено, что отклонение в 6% обусловлено тем, что при расчёте N_2 из TDGP, O_2 и CO_2 не учитывалось наличие аммиака.
- Если бы аммиак был корректно учтён в расчёте, расчётное значение азота было бы ниже, а последующий расчёт концентрации аммиака отличался бы от измеренного значения менее чем на 1%.
- Таким образом, можно утверждать, что:
- Измерение азота (расчётным путём) может быть внедрено в повседневную практику сельского хозяйства.
- Измерение как TDGP, так и CO_2 является достоверным и может работать непрерывно при корректировке уравнения следующим образом:

$$p_{N_2+Ar} = TDG_{wet} - p_{O_2} - p_{CO_2} \boxed{- p_{NH_3}} - p_{H_2O}(T)$$

Эксперимент помог исправить устаревшее уравнение, но самое главное — доказал точность как измерений, так и вычислений.



Завершение презентации

Спасибо за внимание

Завершение презентации

Спасибо за внимание.

