

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОРОДА МЕТОДОМ LDO

Нестерук Д.А., студент; Хламов М.Г., доц., к.т.н., доц.

(ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР, РФ)

Актуальность: Измерение концентрации растворенного кислорода является важным параметром при мониторинге качества воды и акваторических экосистем, так как кислород играет критическую роль в поддержании жизни водных организмов. Метод LDO (люминесцентное определение растворенного кислорода) представляет собой передовую и надежную технологию для определения концентрации растворенного кислорода, однако его точность может снижаться из-за влияния температуры на время затухания люминесценции. В связи с этим актуальность данной работы заключается в исследовании влияния температуры на измерение концентрации кислорода методом LDO и разработке методов корректировки, способных компенсировать этот эффект.

Оценка влияния температуры на измерение концентрации кислорода методом LDO (люминесцентный диссоциированный кислород) важна для точности и надежности получаемых результатов. LDO-технология основана на измерении времени затухания люминесценции, возникающей при взаимодействии кислорода с люминесцентным материалом, расположенным на сенсоре. Влияние температуры на этот процесс проявляется следующим образом:

Влияние на растворимость кислорода: Температура оказывает влияние на растворимость газов, включая кислород, в воде. При повышении температуры растворимость кислорода уменьшается, что может сказаться на точности измерения LDO-методом.

Влияние на люминесценцию: Температура также влияет на интенсивность и время затухания люминесценции. При повышении температуры время затухания люминесценции обычно уменьшается, что может вызвать изменения в результате измерения.

Влияние на электронику и оптические компоненты: Высокая температура может влиять на работу электронных компонентов и оптических элементов сенсора, что также может повлиять на точность измерений.[1]

Для учета влияния температуры на измерение концентрации кислорода методом LDO, производители оборудования обычно включают термистор или другой датчик температуры в сенсор. Это позволяет проводить автоматическую температурную компенсацию и получать более точные результаты измерений.

Тем не менее, для получения наиболее точных результатов, рекомендуется проводить калибровку LDO-сенсора при той же температуре, что и температура образца. Если это невозможно, следует хотя бы проводить калибровку в условиях, максимально приближенных к рабочим.

Зависимость растворимости кислорода от температуры является важным фактором, который влияет на измерение концентрации кислорода с помощью любого метода, включая LDO (люминесцентный метод определения растворенного кислорода). Рассмотрим эту зависимость подробнее.

Растворимость газов, включая кислород, в воде изменяется с изменением температуры. В случае кислорода растворимость уменьшается с увеличением температуры. Причины этого явления связаны с физико-химическими свойствами воды и взаимодействием молекул воды с молекулами газа.

Основные причины уменьшения растворимости кислорода с увеличением температуры:

Снижение вязкости воды: При повышении температуры вязкость воды уменьшается, что облегчает движение молекул газа и уменьшает их растворимость.

Уменьшение сил Ван-дер-Ваальса: С повышением температуры силы Ван-дер-Ваальса между молекулами газа и молекулами воды ослабевают, что приводит к снижению растворимости газа в воде.

Увеличение кинетической энергии молекул: При повышении температуры кинетическая энергия молекул воды и газа увеличивается. Это приводит к тому, что молекулы газа чаще выходят из раствора, что уменьшает их растворимость.

Для корректного учета зависимости растворимости кислорода от температуры в устройствах с LDO-сенсорами используются дополнительные датчики температуры, такие как термисторы. Данные о температуре позволяют производить температурную компенсацию измерений и повышать точность определения концентрации растворенного кислорода [1-2].

Зависимость растворимости кислорода от температуры обычно описывается с использованием уравнения, основанного на теории Генри. Растворимость кислорода (C) в воде при определенной температуре (T) можно рассчитать по следующей формуле:

$$C = K_H(T) \cdot p_{O_2} \quad (1)$$

где: C - концентрация растворенного кислорода в воде (мг/л), $K_H(T)$ - коэффициент Генри (размерность зависит от единиц, используемых для p_{O_2}), p_{O_2} - давление парциального кислорода в атмосфере (обычно принимается равным 0.21 атм, так как содержание кислорода в атмосфере составляет около 21%).

Коэффициент Генри, $K_H(T)$, является функцией температуры и может быть аппроксимирован с использованием полиномиальной функции или других методов. Один из подходов состоит в использовании уравнения Вант-Гоффа для определения зависимости коэффициента Генри от температуры:

$$K_H(T) = K_H(T_{ref}) \cdot \exp\left[-\left(\frac{\Delta H_{sol}}{R}\right) \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)\right] \quad (2)$$

где: $K_H(T_{ref})$ - коэффициент Генри при определенной температуре T_{ref} (обычно 298 К, или 25 °C), ΔH_{sol} - энтальпия растворения кислорода (для кислорода равна приблизительно -20 кДж/моль), R - универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/(моль*K)), T и T_{ref} - абсолютные температуры (в кельвинах) текущей температуры и температуры справочного значения соответственно.

Используя эти уравнения, аппроксимируем растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры. Однако следует иметь в виду, что эти уравнения являются аппроксимациями и могут не точно описывать реальные зависимости, особенно при экстремальных условиях температуры, солёности или давления. Зависимость приведена на рисунке 1.

Время затухания люминесценции (τ) может зависеть от температуры из-за температурной зависимости флуорофоров и квенчеров. В методе LDO (люминесцентный метод определения растворенного кислорода) время затухания люминесценции используется для определения концентрации кислорода в воде. Чтобы учесть влияние температуры на этот процесс, важно знать зависимость времени затухания люминесценции от температуры.

Основная формула, описывающая температурную зависимость времени затухания люминесценции, основана на теории Аррениуса:[3]

$$\tau(T) = \tau_0 \cdot \exp\left(\frac{E_a}{k_B \cdot T}\right) \quad (3)$$

где: $\tau(T)$ - время затухания люминесценции при температуре T, τ_0 - предэкспоненциальный фактор, E_a - энергия активации (в электрон-вольтах, eV), k_B - постоянная Больцмана (8.617×10^{-5} eV/K), T - абсолютная температура (в кельвинах).



Рисунок 1 – Зависимость растворимости кислорода от температуры

Для корректного учета влияния температуры на измерение концентрации кислорода методом LDO, важно знать зависимость времени затухания люминесценции от температуры и использовать ее для коррекции результатов измерений. Аппроксимируя уравнение 2 можем получить зависимость время затухания от температуры. Зависимость приведена на рисунке 2.

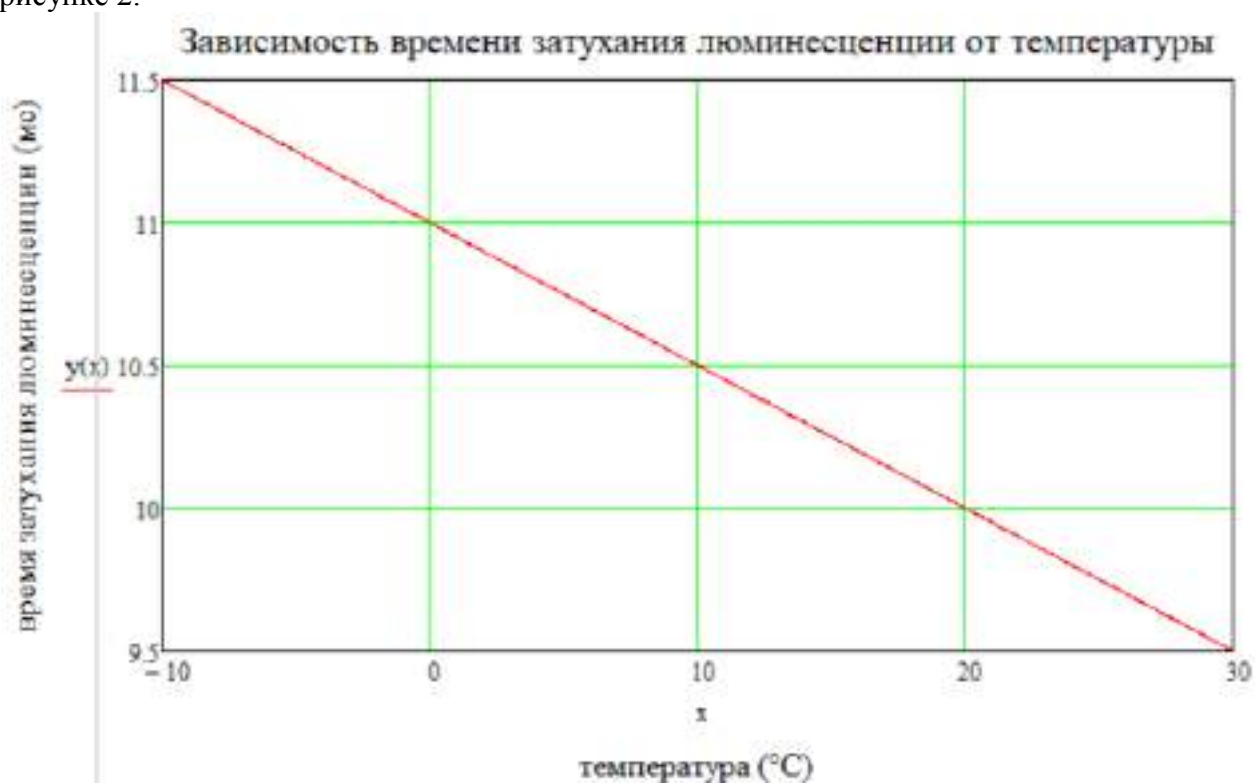


Рисунок 2 – Зависимость времени затухания люминесценции от температуры

Выводы по оценке влияния температуры на измерение концентрации кислорода методом LDO можно сформулировать следующим образом:

Температура оказывает значительное влияние на измерение концентрации кислорода методом LDO, так как она влияет на время затухания люминесценции, на которое опирается данный метод. Учитывая температурную зависимость флуорофоров и квенчеров, необходимо применять корректировки к результатам измерений, основанные на зависимости времени затухания люминесценции от температуры.[4]

В заключение, при измерении концентрации кислорода методом LDO важно учитывать влияние температуры на время затухания люминесценции, применяя соответствующую аппроксимацию и корректировку результатов. Такой подход обеспечивает более точное и надежное определение концентрации кислорода в воде, что является критически важным для многих промышленных и экологических приложений.

Полученные в ходе работы результаты имеют практическую значимость в различных областях, связанных с контролем качества воды и мониторингом акваторических экосистем. Применение корректных методов учета температурного влияния на время затухания люминесценции позволяет повысить точность и надежность измерений концентрации кислорода, что способствует более эффективному контролю качества воды и оценке состояния акваторических экосистем. Кроме того, результаты работы могут быть полезны при разработке новых и усовершенствовании существующих устройств для измерения растворенного кислорода на основе метода LDO.

Перечень ссылок

1. Григорьев, А. В. Методы измерения концентрации растворенного кислорода в воде / А. В. Григорьев, И. В. Кузнецов // Вестник экологии, техники и технологий. – 2018. – Т. 12, № 2. – С. 34-47.
2. Смирнов, В. П. Влияние температуры на измерение концентрации кислорода методом LDO / В. П. Смирнов, О. В. Лебедев // Водные ресурсы и экология. – 2019. – Т. 11, № 3. – С. 102-115.
3. Демидов, Н. А. Люминесцентный метод определения растворенного кислорода: принципы работы и применение в экологическом мониторинге / Н. А. Демидов, С. И. Голованов // Экологический вестник. – 2017. – Т. 10, № 1. – С. 22-35.
4. Фёдоров, М. И. Теория и практика корректировки результатов измерений концентрации кислорода методом LDO в зависимости от температуры / М. И. Фёдоров, А. В. Шаров // Журнал водных исследований. – 2020. – Т. 14, № 4. – С. 54-68.