

УДК 53084823

## ЛАЗЕРНЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВА ЖИДКИХ СРЕД

Пересторонин Александр Владимирович

*Студент 4 курса,  
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана.*

*Научный руководитель: Кортаева М.А.,  
инженер кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»*

В настоящее время в различных областях человеческой деятельности требуется точно и быстро определять состав различных жидкостей. В технике требуется определять состав масел, нефтепродуктов, в медицине – лекарств, крови, суставной жидкости, мочи, в пищевой промышленности – молока, соков, спиртосодержащих жидкостей. Актуальной является задача контроля чистоты воды.

Выбор оптимального метода определения состава жидкости зависит от различных факторов: физико-химических свойств образца, концентрации определяемого компонента, а также от постановки задачи – требуемой точности, допустимых времени и стоимости анализа.

Наша работа, направлена на создание методик и технических средств экспресс - анализа состава различных жидких сред, как технических (нефтепродукты, масла), так и биологических (например, пищевые продукты). Конечной целью работы является создание компактных приборов, позволяющих быстро и точно определять содержание определенных компонентов в исследуемой жидкости.

Разработан целый ряд методов, позволяющих определять наличие в жидкой пробе того или иного вещества и его количества. Эти методы можно разделить на химические и физические.

В основе химических методов лежит изменение химического состава веществ при добавлении в них соответствующих реагентов. В процессе химической реакции может изменяться окраска, агрегатное состояние, масса или другие объективно измеряемые параметры, на основе чего определяют содержание исследуемого вещества.

Большинство стандартизованных методов является именно химическими. Их отличает достоверность, высокая точность. Вместе с этим химическим методам присущ ряд недостатков: они требуют расхода химических реактивов, как правило, высокочистых и дорогостоящих, зачастую, опасных для здоровья, занимают длительное время, для их реализации требуется квалифицированный персонал и оборудованная лаборатория, эти методы с трудом поддаются автоматизации.

Ввиду вышеизложенного, химические методы анализа имеют весьма ограниченное применение – в стационарных лабораториях, занимающихся контролем качества определенных сред.

Применение этих методов в организациях, не занимающихся непосредственно контролем качества, а тем более в бытовых условиях крайне затруднительно. Для этих целей разработан целый ряд методов, основанных на определении физических параметров вещества: теплопроводности;

электроемкости;

плотности;

электрического потенциала;

текучести;

температуры замерзания;

взаимодействия с рентгеновским излучением;

взаимодействия с оптическим излучением;

взаимодействия с ультразвуком.

Недостатком большинства перечисленных методов является то, что макроскопические параметры вещества не всегда напрямую и однозначно связаны с содержанием конкретных веществ в пробе. Для перевода измеряемого параметра, например плотности или скорости протекания пробы, требуется применение приближенных математических методов, градуировочных характеристик, эмпирических формул. Это затрудняет процесс измерений, снижает точность анализа, делает сложной автоматизацию. Кроме того, некоторые методы имеют ограниченное количество определяемых веществ. Например, при анализе молока с использованием ультразвука можно определить только содержание жира и сухого обезжиренного вещества, другие компоненты (белок, лактоза, соли) определяются по приближенным формулам.

Многих перечисленных выше недостатков лишены оптические методы анализа.

Оптико–электронные приборы позволяют производить бесконтактные измерения. Оптические методы контроля обладают высокой чувствительностью и легко автоматизируются. Точность их во многих случаях не уступает точности других, более сложных методов химического анализа. Например, метод ИК – спектроскопии позволяет определить жирность молока с точностью до 0.01%.

Измерения с помощью оптико-электронных приборов отличаются простотой и быстротой проведения исследований. Они позволяют производить измерения автоматически, с минимальным участием оператора. Оптический сигнал преобразуется детектором в электрический сигнал, что позволяет производить автоматическую обработку данных. На выходе прибора оператор получает непосредственно требуемую количественную характеристику показателя качества, например процентное содержание жира или белка. Современная элементная база позволяет минимизировать габариты приборов и сделать их портативными. Кроме того, одна и та же оптическая схема с минимальными изменениями может быть применена как в лабораторных, так и в полевых приборах. Оптическими приборами можно управлять и получать с него данные дистанционно – через ПК, инфракрасный порт, волоконные линии связи.

Оптические методы исследований классифицируют следующим образом: рефрактометрия, люминесцентный анализ, спектроскопия, поляризационный анализ, фотометрия и нефелометрия, микроскопия, рефлектометрия, фурье – анализ.

Спектральный анализ, микроскопия и цитометрия позволяют получить подробную и точную информацию об исследуемом образце, но эти методы являются довольно дорогими и занимают значительное время.

Более простыми являются методы, основанные на определении интегральных характеристик оптического излучения – интенсивности прошедшего (фотометрия) и рассеянного под некоторым углом (нефелометрия) излучения.

Для проведения фотометрических измерений нужно выбрать длину волны, соответствующую наибольшему поглощению пробой. Чтобы определить эту длину волны нужно получить спектр поглощения молока. Для этого применялся спектрофотометр Lambda 850. Анализ проводился в спектральном диапазоне от 300 до 3000 нм на молоке жирностью 3,5%. Результирующий график представлен на рис. 1.

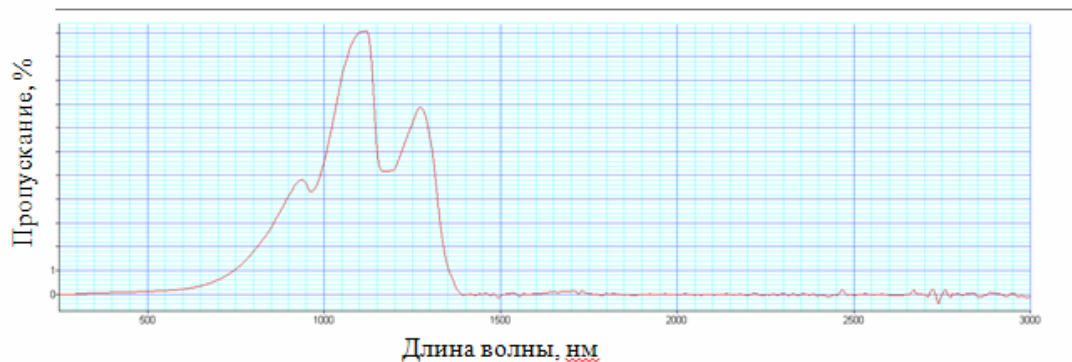


Рис. 1. Спектр пропускания молока

Как видно из графика, молоко хорошо поглощает излучение инфракрасного диапазона. Для проведения экспериментов по фотометрии выбран источник излучения с длиной волны 808 нм.

При проведении оптических измерений требуется по возможности минимизировать влияние неравномерности распределения веществ, содержащихся в исследуемой жидкости. Как показали эксперименты, с течением времени происходит изменение мощности излучения, теряемой при прохождении жидкости. Эксперименты проводились при установившемся режиме работы лазера, следовательно, это может быть связано с изменением оптических свойств образца. Для снижения влияния указанного эффекта, требуется проводить гомогенизацию исследуемо жидкости (в данном случае, молока).

Существуют несколько распространённых способов гомогенизации молока, которые можно разделить на механические и физические.

К механическим методам относятся:

- перемешивание быстро вращающимся ротором диспергатора.
- прокачивание под давлением до 5-400 атмосфер через отверстие головки гомогенизатора, возникающие при этом гидродинамические силы дробят шарики жира на более мелкие.

К физическим методам относятся:

- механическое перемешивание с высокими значениями градиента сдвига;
- кавитация, возбуждаемая в среде при помощи высокоскоростного механического перемешивания или ультразвука.

Эффект гомогенизации достигается на основе таких факторов, как:

- резкое возрастание скорости и турбулентности потока;
- кавитация, которая играет решающую роль в процессе измельчения частиц;
- ударение на большой скорости частиц продукта об отражательное кольцо и испытание ими при этом большого напряжения среза.

В рамках применения при оптических исследованиях заслуживают внимания гомогенизаторы, разработанные на базе пьезоэлектрических преобразователей. С помощью ультразвуковых гомогенизаторов удается создать в жидкости звуковое поле с контролируемыми параметрами, что позволяет эффективно проводить процесс диспергирования, поскольку при фиксированной частоте ультразвуковых колебаний существуют оптимальные для данного вида эмульсии интенсивность звуковой волны и постоянное давление. Изменяя условия протекания кавитации, можно ослаблять или усиливать кавитационные эффекты. Таким образом, с минимальными энергозатратами достигаются отличные показатели гомогенизации - размер жировых шариков меньше микрона.

Применение гомогенизации позволяет повысить точность получаемых результатов и воспроизводимость экспериментов.

Экспериментальный стенд для проведения измерений (рис. 2) включает в себя лазерный модуль, излучение которого подается на кювету с исследуемым веществом, где оно частично поглощается, а затем детектируется приемником излучения. Результаты измерений передаются для обработки на компьютер.

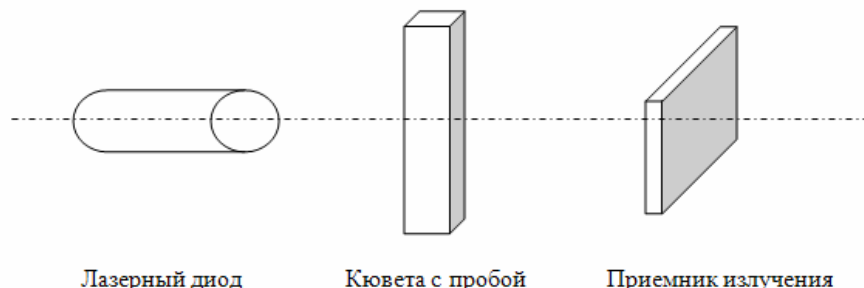


Рис. 2. Схема экспериментального стенда

Для исследования были приготовлены 5 смесей молока с водой. Использовалось стерилизованное питьевое молоко жирностью 3,5%. С помощью автодозатора было сделано 5 проб с содержанием молока 100, 50, 33, 25, 12.5 %.

Измерения состояли из следующих этапов:

- ✓ Измерение мощности лазерного модуля;
- ✓ Измерение мощности лазерного излучения, прошедшего сквозь кювету с дистиллированной водой;
- ✓ Измерение мощности лазерного излучения, прошедшего сквозь кювету с пробой молока.

На рисунке 3 представлен график зависимости мощности излучения, прошедшего сквозь пробу молока от степени разбавления молока. Как видно из результатов измерений, с помощью лазерного фотометрического анализа, можно производить оценку степени разбавления молока. Использование при измерениях таких узлов, как формирующая оптическая система, система термостабилизации, система пробоподготовки могут обеспечить высокую точность измерений. А точный подбор длины волны источника излучения позволит определить содержание конкретных компонентов в молоке, например жира или белка.

На рисунке 4 представлен график зависимости мощности прошедшего излучения от концентрации молока.

Расчет содержания веществ в пробе производится на основании закона Ламберта – Бугера, который устанавливает зависимость между поглощающей способностью и толщиной контролируемого раствора и имеет следующий вид (1):

$$F = F_0 \cdot 10^{-KCL} \quad (1)$$

Где  $F$  – световой поток, прошедший через контролируемую среду,  $F_0$  – первичный световой поток, падающий на поверхность контролируемого раствора,  $K$  – молярный коэффициент поглощения,  $C$  – концентрация растворенного вещества,  $L$  – толщина слоя раствора.

Коэффициент поглощения зависит от длины волны падающего света, природы анализируемого вещества и температуры раствора. При  $\lambda = \text{const}$ ,  $t = \text{const}$ ,  $l = \text{const}$ , для определенного вещества  $K_l = \text{const}$ . То есть, если исследуемый раствор подчиняется закону Ламберта – Бугера, то его оптическая плотность пропорциональна концентрации анализируемого вещества.

Указанному закону подчиняются главным образом растворы малой концентрации: истинные, коллоидные, а так же эмульсии.

Как видно из графика 4, для молока зависимость пропускания от концентрации не является линейной.

### Зависимость пропускания лазерного излучения от степени разбавления водой

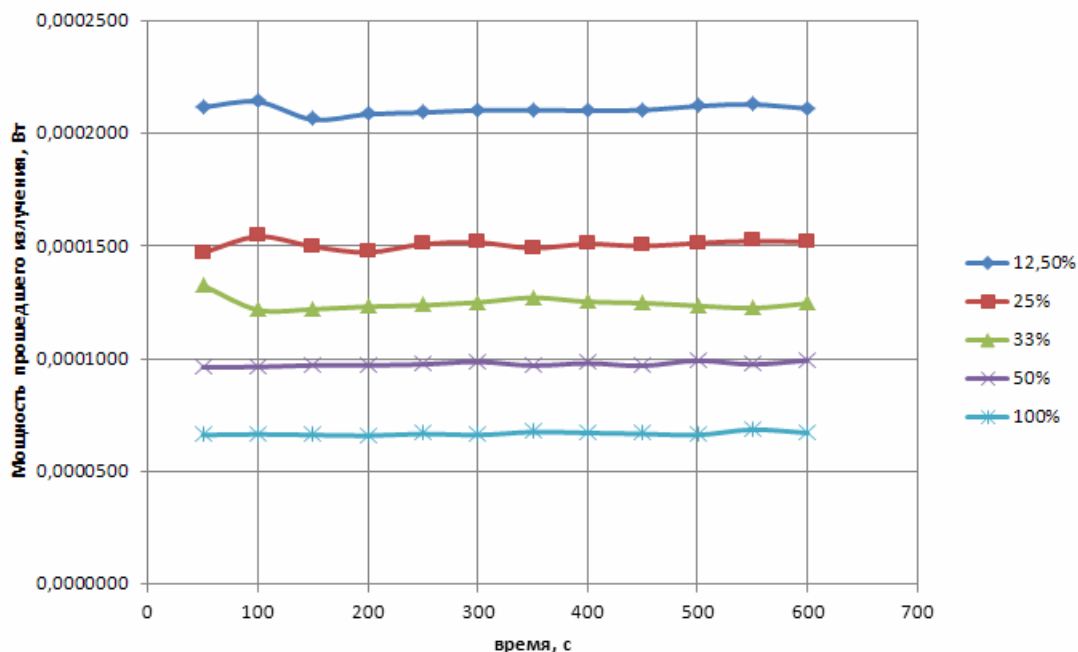


Рис. 3. Результаты измерений пропускания излучения пробой молока

### Зависимость мощность прошедшего излучения от концентрации молока в пробе

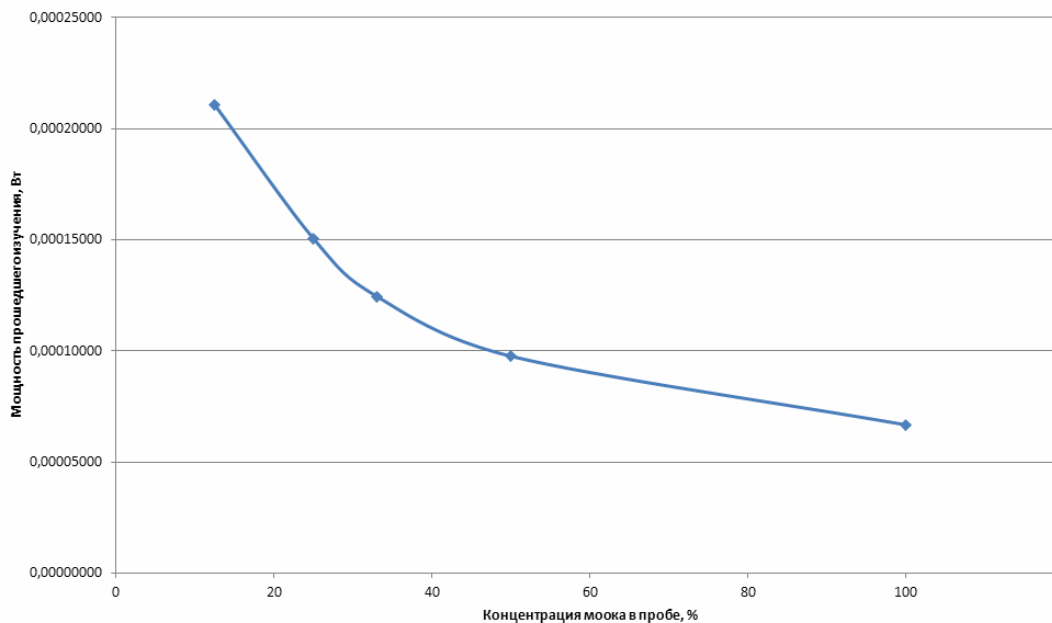


Рис. 4. Зависимость пропускания излучения пробой от концентрации

Большинство оптических приборов предназначено для измерения оптических параметров среды, например мутности, поворота плоскости поляризации и т.д. Для перехода от этих величин к интересующим потребителя показателям качества продукта часто является затруднительным. Требуется составление градуировочных характеристик, применение специализированного программного обеспечения, эмпирических формул. Все это требует временных и финансовых затрат и может сильно влиять на точность измерений. Поэтому одной из основных задач разработки

оптических измерительных приборов кроме автоматизации и увеличения точности и скорости измерений является создание адекватных методик адаптации оптических приборов к работе в определенной области хозяйства, например в молочной промышленности.