

## ЛАЗЕРНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ПРОЗРАЧНОСТИ ВОДЫ

Занкина А.И. (Университет ИТМО), Федорова Ю.В. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Беликов А.В.

(Университет ИТМО)

При исследовании придонных слоев морей и океанов используются подводные системы видеофиксации, снабженные мощными источниками подсветки. Взвешенные в воде частицы, рассеивая излучение источника подсветки, ухудшают качество изображения (контраст, разрешение и пр.) в этих системах. Точные знания о прозрачности воды позволяют определить положение снабженного системой видеофиксации подводного аппарата и мощность источника подсветки, при которых качество изображения достигает заранее заданного уровня. В работе обсуждается конструкция и результаты оптического моделирования, разработанного авторами лазерного измерителя прозрачности воды.

**Введение.** Прозрачность воды в гидрологии и океанологии — это отношение интенсивности света, прошедшего через слой воды, к интенсивности света, входящего в этот слой воды. Прозрачность воды — величина, косвенно обозначающая количество взвешенных частиц и коллоидов в воде. Классическим методом качественного измерения прозрачности воды является метод измерения глубины прозрачности с помощью диска Секки. Диск опускают на такую глубину, на которой он полностью исчезает из виду. Эта глубина и считается глубиной прозрачности воды. Также известен цилиндр Снеллена. Его используют при количественном определении прозрачности питьевой воды. В этом случае за прозрачность принимается толщина слоя воды в градуированной стеклянной трубке или цилиндре Снеллена, через который различим стандартный шрифт с высотой букв 3.5 мм или юстировочная метка. Также используется спектральный анализ проб воды. Прозрачность обусловлена коэффициентом ослабления, который представляет собой сумму коэффициентов поглощения и рассеяния. Прозрачность природных вод индивидуальна для каждого водоема и зависит от времени года, погоды, течения, ветров и пр. Из доступных в литературе описаний конструкции измерителей прозрачности воды можно выделить несколько. Прежде всего, это спектрофотометр для измерения оптического коэффициента ослабления морской воды, в котором, как и во всех остальных аналогах, основной пучок света делится на два, при помощи которых и происходит измерение необходимых параметров. Минусом данной конструкции является то, что оба канала находятся вне корпуса прибора, что увеличивает его габариты и стоимость. Внутри корпуса расположено большое количество дополнительных оптических деталей. Интересным является прибор для определения спектрального показателя ослабления направленного света в морской воде, отличительной чертой которого можно назвать наличие двухэлементного фотоприемника, n-канального источника излучения, а также датчика солености, расположенного снаружи корпуса, преобразованные значения с которого позволяют внести поправочные коэффициенты. Также известен прозрачномер морской воды, отличительной особенностью которого является использование в качестве источника света белого светодиода, что вынуждает использовать интерференционный фильтр для выделения определенной длины волны из всего спектра излучения светодиода. Целью настоящей работы является разработка оптической схемы, конструкции и оптическое моделирование лазерного измерителя прозрачности воды, лишенного недостатков известных аналогов.

**Основная часть.** Предложен и разработан лазерный измеритель прозрачности воды. Его работа обеспечивается следующим образом: лазерный диод посылает излучение, которое, проходя по воздуху, попадает на стоящую за ним светоделительную пластину и разделяется на два луча – опорный и измерительный. Опорный луч, проходя по воздуху через трипель-призму 1 и светоделительную пластину, попадает на фотоприемник. При этом обтюратор блокирует подачу лазерного излучения в измерительный канал. Измерительный луч,

распространяясь по воздуху, достигает иллюминатора и, пройдя через иллюминатор, попадает в слой воды толщиной 0.5 м, пройдя который он возвращается триппель-призмой 2 и опять проходит через этот же слой воды и иллюминатор, далее, распространяясь в воздухе, измерительный луч отражается от светоделительной пластинки и попадает на общий с опорным лучом фотоприемник. При этом обтюратор блокирует подачу лазерного излучения в опорный канал. Прозрачность воды соответствует отношению мощности лазерного излучения, регистрируемой фотоприемником в измерительном луче, к мощности в опорном луче. Лазерный диод излучает на длине волны 550 нм. Данная длина волны попадает в зону прозрачности воды и соответствует пику чувствительности глаза, что облегчает работу оператора, а также позволяет избавиться от интерференционного фильтра. Две триппель-призмы наилучшим образом позволяют концентрировать световой пучок вдоль оптической оси измерителя. Разработана оптическая схема, и в программном пакете TracePro®Expert 7.0.1 Release («Lambda Research Corporation», США) создана компьютерная оптическая модель лазерного измерителя прозрачности воды. В программном пакете Autodesk Inventor («Autodesk, Ink.», США) разработана конструкция лазерного измерителя прозрачности воды. Корпус измерителя возможно выполнить как из металла, так и сделать на 3D принтере, выбор материала зависит от глубины погружения подводного аппарата, на котором планируется разместить измеритель. К посадочному отверстию иллюминатора прикручивается перфорированная трубка, на конце которой (на расстоянии 0.5 м от посадочного отверстия) располагается триппель-призма 2. Перфорация стенки трубки нужна для того, чтобы вода могла легко попадать и перемещаться внутри трубки при движении подводного аппарата с измерителем. Для контроля влажности внутри корпуса имеется осушающее отверстие, что помогает избавиться от использования требующего обслуживания силикагеля. В программном пакете TracePro®Expert 7.0.1 Release («Lambda Research Corporation», США) выполнено оптическое моделирование лазерного измерителя прозрачности воды. Исследовано влияние расходимости источника лазерного излучения на пространственные распределения плотности мощности опорного и измерительного лучей на поверхности фотоприемника. Исследовано влияние коэффициентов поглощения и коэффициентов рассеяния воды на пространственное распределение плотности мощности измерительного луча на поверхности фотоприемника.

**Выводы.** Продемонстрировано, что пятна опорного и измерительного лучей на поверхности фотоприемника имеют минимальный размер и соответственно максимальное значение мощности лазерного излучения, регистрируемой фотоприемником при угле расходимости лазерного излучения равном 0 градусов. При этом весь пучок попадает на приемную площадку фотоприемника. Чем больше угол расходимости, тем сильнее увеличиваются в диаметре пятна. При некотором критическом угле часть лучей не попадает на фотоприемник и поэтому регистрируемая им мощность лазерного излучения начинает уменьшаться. Определено, что мощность лазерного излучения, регистрируемая фотоприемником в опорном луче максимальна в диапазоне углов расходимости лазерного излучения 0-0.5 градусов (0-8.5 мрад), а мощность, регистрируемая в измерительном луче, максимальна в диапазоне углов 0-0.1 град (0-1.7 мрад). При увеличении угла расходимости от 0.1 до 0.5 градусов мощность, регистрируемая в измерительном луче, падает в 9 раз. Еще на порядок эта мощность падает при изменении угла расходимости от 0.5 до 1.0 градуса (8.5-17.4 мрад). Установлено, что чем больше коэффициент поглощения воды, тем сильнее ее коэффициент рассеяния влияет на прозрачность воды, и наоборот, чем меньше коэффициент поглощения воды, тем меньшее влияние ее коэффициента рассеяния на прозрачность воды.

Занкина А.И. (автор) \_\_\_\_\_

Федорова Ю.В. (автор) \_\_\_\_\_

Беликов А.В. (научный руководитель) \_\_\_\_\_