

ФОТОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД РЕГИСТРАЦИИ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ЗАСВЕТКИ ИССЛЕДУЕМОГО ОБЪЕМА

Д.А. Антоненков

ФГБУН «Морской гидрофизический институт РАН»,
РФ, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: dmitry_science@mail.ru

Предлагается метод фоторегистрации быстропротекающих процессов, отличающийся применением специально созданной системы импульсной подсветки с использованием схемы принудительного гашения газоразрядной лампы, позволяющий обеспечить время регистрации порядка 4 мкс даже со стандартной фототехникой.

Ключевые слова: фоторегистрация, быстропротекающие процессы, характеристики взвеси, фотографирование, газоразрядные лампы, вспышка, импульсная подсветка.

Введение. Выбор достоверного способа, позволяющего получать репрезентативные данные о процессе перемещения взвешенных наносов, их концентрации и размерном составе является одной из основных задач, без решения которой невозможно изучение процесса транспорта донных наносов.

Для того чтобы получить какую-либо репрезентативную характеристику случайного быстроменяющегося процесса, надо ее усреднить за статистически значимое время, зависящее от его временных характеристик. Так как речь идет о фотоспособе определения параметров взвешенного вещества, то понятно, что нельзя открыть затвор фотоаппарата на несколько минут и получить усредненное изображение. Значит необходимо сделать серию «быстрых» снимков, определить по ним параметры взвеси, а затем их усреднить.

Некоторые характерные черты изменчивости концентрации взвеси были описаны в работах Д. Хэйна и Д. Хатли (Hanes, Huttley, 1986; Hanes et al., 1988). Было показано, что интенсивность и высота взвешивания осадка резко увеличиваются при прохождении групп волн с периодом 2-3 мин, и значение концен-

трации в эти периоды определяет средние значения за 15–20 мин.

Далее, в работе Крыленко М.В. [1] был подробно рассмотрен характер взвешивания осадков в зоне деформации волн. Взвешивание происходит в виде серий пиков концентрации длительностью 1–5 с. С увеличением расстояния от дна частота появления пиков концентрации, и их величина снижаются. Значения концентрации взвеси в момент интенсификации взвешивания осадков превышают ее средние значения в 5–10 раз. Возникновение пиков концентрации не приурочено к определенной фазе волны и не периодически во времени.

Кроме того, форма вертикального профиля концентрации взвешенных наносов очень быстро изменяется во времени и может значительно отличаться от среднего за период наблюдения профиля концентрации взвеси. Взвешенный песок может подниматься на высоту нескольких десятков сантиметров от дна. Максимальные вертикальные градиенты концентрации проявляются в слое 20–30 см от дна. Несколько характерных типов вертикального распределения концентрации представлены на рис. 1.

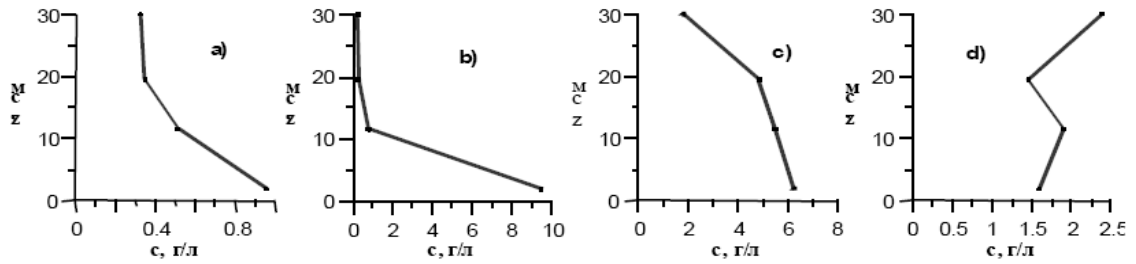


Рис. 1. Характерные типы вертикального распределения концентрации взвеси, c – концентрация, z – расстояние от дна [1]

Таким образом, основной задачей при проведении измерений является определение именно мгновенных значений концентрации и размерного состава взвеси на разных горизонтах.

Материалы и методы. Для получения изображений взвеси с необходимым для дальнейшего анализа качеством (контрастностью) требуемое время экспозиции $t_{\text{эксп}}$ определяется как максимально большое, при котором погрешность измерения размеров, вследствие «смазывания», будет не более наперед заданной величины.

Так как скорость движения частиц при сильном волнении может достигать нескольких метров в секунду, то частица взвеси, двигаясь со скоростью, например, v около 2 м/с, пройдет расстояние 1 мкм за время, равное $\sim 0,5$ мкс. Для

того чтобы избежать такого эффекта, как «смазывание изображения», и обеспечить точность определения размеров частиц порядка десяти процентов, частица размером 80 мкм должна сместиться не более чем на $L = 8$ мкм. Для этого необходимо получение мгновенных снимков частиц взвеси со временем экспозиции около 4 мкс:

$$t_{\text{эксп}} = \frac{L}{v} = \frac{8 \cdot 10^{-6}}{2} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

Для получения изображений среды с необходимым временем экспозиции, которое выбрано 4 мкс, был разработан фоторегистратор, конструкция которого представлена на рис. 2.

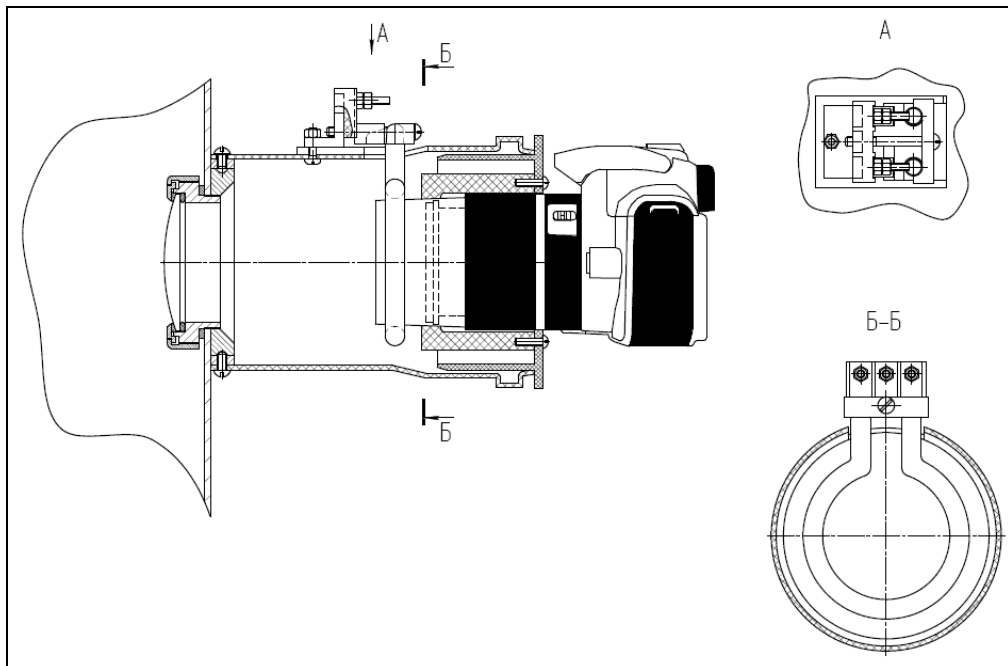


Рис. 2. Конструкция фоторегистратора

Фоторегистратор состоит из нескольких основных узлов.

Зеркальный фотоаппарат Canon EOS 300D с вариообъективом 18-55 мм. Использование данного фотоаппарата позволяет получить достаточно резкое изображение частиц, располагающихся перед иллюминатором. Однако данный фотоаппарат не позволяет регистрировать изображения с необходимым временем экспозиции. Для получения времени экспозиции порядка 4 мкс применяется специализированная система подсветки, работающая в синхронном режиме с фотоаппаратом.

Система импульсной подсветки. Основным элементом системы подсветки является импульсная лампа ИФБ-300.

Применение данной лампы, излучающая часть которой расположена вокруг объектива, позволяет получить основной световой поток, направленный параллельно его оптической оси, тем самым практически устраняя появление теней от частиц на изображении. Кроме того, кольцевая форма лампы обеспечивает равномерную засветку объема. Использование специальной схемы принудительного гашения лампы дает возможность получить короткий световой импульс с требуемой длительностью порядка 4 мкс.

Основные эксплуатационные характеристики лампы представлены в табл. 1 [2].

Таблица 1. Эксплуатационные характеристики лампы ИФБ-300

Форма светящейся части	Кольцо
Размеры светящейся части, мм	Ø8×85
Сопротивление лампы, Ом	2,5
Энергия разряда, Дж	300
Средняя мощность, Вт	40
Пиковая яркость, Гкд/м ²	1,6
Срок службы, тыс. вспышек	10
Пиковое напряжение импульса зажигания, кВ	15
Минимальное напряжение зажигания, кВ	0,2
Напряжение самопробоя, кВ	1,6

Для получения длительности импульса порядка 4 мкс, учитывая внутреннее сопротивление лампы в 2,5 Ом, необходимо использовать конденсатор емкостью 1,6 мкФ и номинальным напряжением больше 200 В (минимальное напряжение зажигания). Однако при проведении экспериментов было установлено, что при такой короткой длительности вспышки (емкость конденсатора 1,6 мкФ) даже при увеличении напряжения до 1200 В, близкого к самопробоем лампы, получить световой импульс достаточной мощности для правильной экспозиции кадра невозможно. Как показали проведенные лабораторные эксперименты, удовлетворительную экспозицию кадра можно получить,

применяя конденсатор емкостью 4 мкФ и номинальным напряжением 1200 В. Однако длительность импульса при такой элементной базе составляет 8 мкс. Для уменьшения длительности импульса было принято решение использовать принудительное гашение лампы ИФБ-300 с помощью разрядника (ключа) в виде дополнительной импульсной лампы ИСК-25 (в связи с ее невысокой стоимостью в сравнении с мощными, высоковольтными полевыми или IGBT транзисторами), подключаемой к основному накопительному конденсатору через 2 мкс. Принцип действия принудительного гашения лампы иллюстрирует график, показанный на рис. 3.

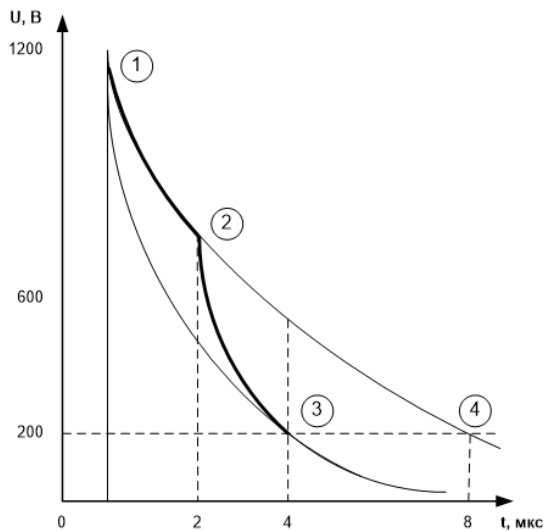


Рис. 3. Временной график разряда конденсатора

На данном рисунке кривая 1-3 иллюстрирует разряд конденсатора емкостью 1,6 мкФ, кривая 1-2-4 соответствует разряду конденсатора емкостью 4 мкФ через основную лампу ИФБ-300, без использования схемы принудительного гашения.

При включении в цепь разряда дополнительной лампы ИСК-25 конденсатор разряжается согласно кривой на графике 1-2-3. Видно, что напряжение, а, следовательно, и токи, протекающие через лампу, больше при разряде основной

лампы по кривой 1-2-3. Следовательно, энергия светового импульса, также будет выше при использовании схемы принудительного гашения и конденсатора емкостью 4 мкФ. Как показали эксперименты, применение данной методики позволяет обеспечить достаточную световую энергию для получения снимков с приемлемой экспозицией кадра.

На основании вышеизложенного, была разработана функциональная схема системы подсветки, которая представлена на рис. 4.

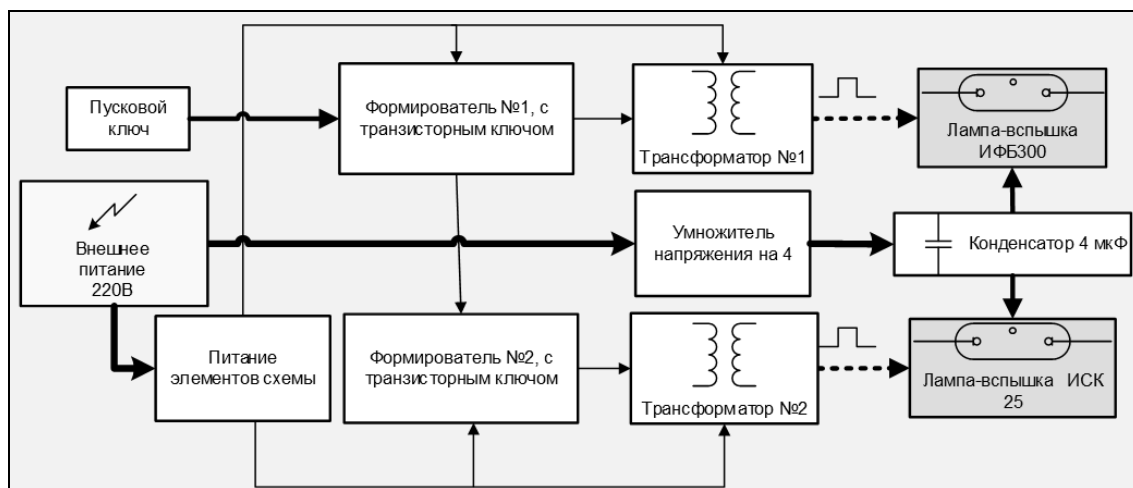


Рис. 4. Функциональная схема системы подсветки фоторегистратора

Схема условно разделена на высоковольтную цепь заряда накопительного конденсатора и цепи формирования

поджигающих импульсов. Питание схемы осуществляется от сети 220 В. После подачи питания, через симметричный

умножитель, заряжается накопительный конденсатор до напряжения 1200 В. Далее, по команде оператора, с помощью формирователя № 1 генерируется импульс длительностью 2 мкс. С помощью данного импульса открывается транзисторный ключ, собранный на полевых транзисторах. При открывании транзисторного ключа добавочная емкость начинает разряжаться через импульсный трансформатор № 1, который формирует высоковольтный импульс 15 кВ для зажигания лампы ИФБ-300. После подачи поджигающего импульса на выводы лампы накопительный конденсатор начинает разряжаться через лампу, вследствие чего происходит свечение лампы, продолжающееся до момента, когда напряжение на конденсаторе станет меньше минимального напряжения зажигания, а именно 200 В. Для получения необходимой длительности вспышки, равной 4 мкс, но при использовании конденсатора 4 мкФ, применяется дополнительная схема принудительного гашения лампы [3]. Она состоит из формирователя № 2, трансформатора № 2 и дополнительной лампы ИСК-25, работу которой обеспечивает основной накопительный конденсатор, применяемый для лампы ИФБ-300. Принцип действия схемы принудительного гашения заклю-

чается в следующем: через 2 мкс после срабатывания формирователя № 1 по его заднему фронту запускается формирователь № 2, открывающий транзисторный ключ № 2, далее трансформатором № 2 формируется поджигающий импульс для лампы ИСК-25, и данная лампа зажигается, осуществляя ускоренный разряд накопительного конденсатора. График разряда основного конденсатора с использованием схемы принудительного гашения представлен на рис. 3 (кривая 1-2-3).

Для тестирования разработанного метода создан испытательный стенд, обеспечивающий процесс перемещения взвеси с необходимыми динамическими характеристиками, конструкция которого описаны в работе [4].

Для крепления фоторегистратора к стенду и обеспечения его функционирования была разработана специальная конструкция корпуса.

После разработки соответствующей конструкторской документации, был изготовлен действующий образец испытательного стенда с фоторегистратором и получены фотографии среды с временем экспозиции порядка 4 мкс требуемого качества. Пример полученных снимков показан на рис. 5.

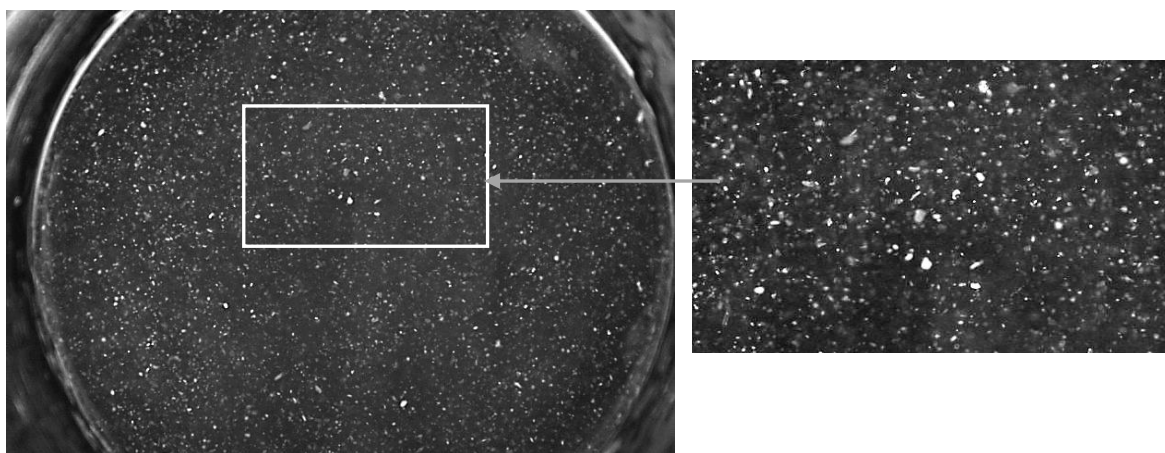


Рис. 5. Полученное фоторегистратором изображение и его увеличенный фрагмент

Заключение. Таким образом, разработанный метод фоторегистрации быстротекущих процессов, отличающийся применением специально созданной системы импульсной подсветки с использованием схемы принудительного гашения газоразрядной лампы, позволяет обеспечить время регистрации порядка 4 мкс даже с применением стандартной фототехники, что в свою очередь позволяет использовать полученные снимки для дальнейшей обработки, в частности для определения концентрации и размерного состава взвешенного в воде вещества. Для данной цели может быть применен метод и специализированное программное обеспечение, описанное в работе [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крыленко М.В. Исследование механизмов формирования поля кон-

центрации взвешенных песчаных наносов в береговой зоне: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Геленджик, 2007. 22 с.

2. *Импульсные газоразрядные лампы 2* [Электронный ресурс]. 2017. Режим доступа:

<http://photonik.ru/index.php/kamery/123-tsifrovye-tekhnologii/123-impulsnye-gazorazryadnye-lampy-2> (дата обращения: 14.03.2018).

3. Зельдин Е.А. Импульсные газоразрядные лампы и схемы их включения. М.: Энергия, 1964. 51 с.

4. Антоненков Д.А. Метод определения характеристик взвешенного в воде вещества // Датчики и системы. 2016. № 5 (203). С. 48–52.

5. Антоненков Д.А. Метод обработки фотоизображений водной среды для определения параметров минеральной взвеси // Морской гидрофизический журнал. 2016. № 5. С. 38–47.

THE PHOTOGRAPHIC METHOD OF SUSPENDED SEDIMENTS CARRYING PROCESS RECORDING BY USING SHORT-TIME LIGHT OF TEST-VOLUME

D.A. Antonenkov

Marine Hydrophysical Institute of RAS,
Russian Federation, Sevastopol, Kapitanskaya St., 2

The article deals with the developed method of photographic registration of high-speed process, characterized by the use of a specially developed pulse illumination system applying a scheme for forced extinction of a gas-discharge lamp, which makes it possible to provide a registration time of about 4 μ s, even with standard photo equipment.

Keywords: photo registration, high-speed process, suspension characteristics, photographing, gas-discharge lamps, flash, pulse illumination.