

УДК 541.18

М. А. Сазановец, аспирант (БГТУ);

А. В. Игнатенко, кандидат биологических наук, доцент (БГТУ)

МЕТОД АНАЛИЗА СКОРОСТИ СЕДИМЕНТАЦИИ ЧАСТИЦ В ВОДНЫХ СРЕДАХ

В статье проведен анализ скорости седиментации частиц в водных средах с использованием видеоинформации и обработки цифровых изображений. Кинетику седиментации частиц в модельных суспензиях и сточной воде изучали методом гравиметрии, а также методом видеозаписи осаждения частиц с помощью цифровой фотокамеры с последующей обработкой изображений в компьютерной программе *Adobe Photoshop CS3*. В результате проведенной работы установлено, что анализ гистограмм изменения яркости изображений позволяет быстро и с меньшей трудоемкостью, чем в гравиметрическом методе, определять скорость седиментации частиц в водных средах.

In this article is fulfilled the analyses of particles sedimentation velocity in water media with application of video information and pictures management. Kinetics of particles sedimentation in model suspensions and in wastewater were studied by gravimetric method and also by method of video recording of sedimentation with digital photo camera and pictures processing in computer program *Adobe Photoshop CS3*. In the result of research it was found that analyses of histograms of brightness make it possible to determine particles sedimentation velocity in water media with less time and labor expenditures than in gravimetric method.

Введение. Определение параметров гранулометрического состава частиц является важной задачей в разных областях науки и производства [1, 2].

Седиментационный анализ взвешенных частиц широко используется для характеристики уровня загрязнения сточных вод и оценки эффективности их очистки [3]. Сточные воды являются сложной гетерогенной системой, включающей водные растворы, коллоидные смеси, взвешенные вещества, разнообразные формы живых организмов: вирусы, бактерии, дрожжи, мицелиальные грибы, микроводоросли, простейшие и их ассоциаты [3, 4].

По размеру частиц дисперсные системы сточных вод разделяют на группы:

- молекулярно-дисперсные системы с размером частиц менее 10^{-7} см. К ним относятся гомогенные молекулярные и ионные растворы органических и неорганических веществ. Их содержание в сточных водах городских очистных сооружений находится на уровне 10–50 мг/л;

- коллоидные системы с размером частиц 10^{-7} – 10^{-5} см; как и растворы веществ, обладают кинетической устойчивостью и не расслаиваются в воде. Их содержание в сточных водах может достигать сотен миллиграмм на литр;

- суспензии, эмульсии (частицы размером более 10^{-5} см) (нефтепродукты: мазут, минеральные масла, растворители и т. п.), которые присутствуют в сточных водах в концентрации 50–300 мг/л;

- грубодисперсные системы с размером частиц более 10^{-3} см (волокна, песок, глина и др.), могут находиться в сточных водах в концентрациях от 200–400 до 1000–3000 мг/л;

- микроорганизмы, а также паразиты. Они имеют размеры от 10^{-6} до 10^{-1} см и по дисперсным

свойствам относятся к биологическим коллоидам, суспензиям и взвесям. Содержание микроорганизмов в сточных водах оценивается общим микробным числом (ОМЧ), варьирующим в интервале 10^6 – 10^8 кл/см³. Загрязненность паразитами определяется по количеству цист лямблий и жизнеспособных гельминтов в единице объема воды и изменяется в интервале 10^0 – 10^2 частиц/дм³ [4].

Согласно классификации Л. А. Кульского [5], взвешенные компоненты сточных вод делятся на оседающие и не оседающие. Знание скоростей оседания взвешенных частиц позволяет определять их дисперсные, сорбционные, реакционные свойства. Поскольку крупные частицы медленно окисляются микроорганизмами, от них стараются избавиться на ранних стадиях очистки воды.

Седиментация – наиболее простой способ выделения из сточных вод грубодисперсных примесей, которые под действием гравитационной силы оседают на дне отстойника или всплывают на его поверхности при двухчасовом отстаивании воды.

Для анализа дисперсного состава сточных вод широкое применение получили гравиметрический и оптический методы анализа [2].

К недостаткам весового метода относится его высокая трудоемкость. Метод светорассеивания частиц обладает меньшей трудоемкостью, чем весовой метод, но требует специального оборудования и не позволяет анализировать слишком мутные среды.

Основная часть. Целью настоящей работы была разработка нетрудоемкого экспресс-метода анализа скорости седиментации частиц в водных средах с использованием видеоинформации и обработки цифровых изображений.

В качестве объектов исследования использовали водные суспензии бентонита и почвы с концентрациями $C = 1\text{--}10$ г/л, а также сточные воды с концентрацией взвешенных частиц $0,1\text{--}0,5$ г/л, определенной методом взвешивания сухого осадка.

Кинетику седиментации частиц изучали гравиметрическим методом, основанным на измерении массы осадка, осевшего на чашку весов, погруженную в жидкость [2], а также методом видеозаписи процесса осаждения частиц в водных суспензиях с помощью цифровой камеры *Canon Power Shot A3300 IS* с последующей обработкой изображений в компьютерной программе *Adobe Photoshop CS3*.

Цифровое изображение – матрица пикселей, имеющих разную яркость в зависимости от попавшего на них излучения. Каждый пиксель – фоточувствительный элемент, имеющий характерные размеры в зависимости от технологии изготовления матрицы. Минимальные значения пикселей для CMOS технологии составляют 10×10 мкм [6–8].

Черно-белое (ахроматическое) цифровое изображение характеризуется рядом параметров: светлостью, яркостью и др. [7]. Светлость определяется долей белого света в изображении. Яркость изображения неизлучающих объектов с физической точки зрения характеризуется интенсивностью отраженного или рассеянного света, попавшего на матрицу фотоэлементов камеры от анализируемого объекта.

Гистограмма цифрового изображения характеризует зависимость числа пикселей от уровня их яркости. Она определяется величинами: общим числом пикселей в изображении; их средней яркостью; процентным содержанием числа пикселей, выбранной яркости и др.

В данной работе нами использован метод цифровой фотосъемки для анализа скорости седиментации частиц сточных вод и модельных систем.

На рис. 1 приведены цифровые изображения водной суспензии почвы в зависимости от времени ее отстаивания. Как из него видно, при осаждении частиц наблюдается осветление суспензии. Основной величиной для характеристики изображений в седиментационном анализе может служить яркость пикселей, которая отражает изменение светлости изображения в процессе осаждения взвешенных частиц.

Гистограммы изменения яркости изображений почвенной суспензии от времени оседания частиц приведены на рис. 2.

Как из него видно, вначале в изображении преобладали пиксели с яркостью черного цвета.

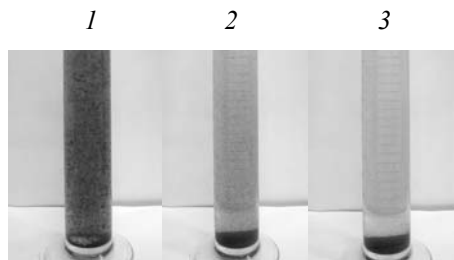


Рис. 1. Фотографии процесса седиментации частиц почвенной суспензии ($C = 4$ г/л):
1 – 30 сек; 2 – 2 мин; 3 – 5 мин

Затем в процессе осаждения взвешенных частиц доля таких пикселей снижалась, и максимум гистограммы смещался в сторону белого цвета.

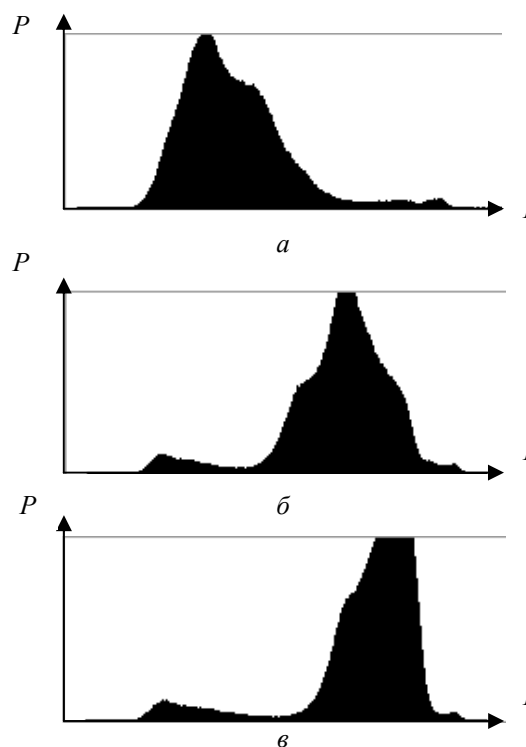


Рис. 2. Гистограммы яркости изображений почвенной суспензии от времени оседания частиц:
а – 0; б – 2 мин; в – 5 мин; P – число пикселей определенного уровня яркости; I – уровень яркости

Запись кинетики изменения яркости изображений при осаждении частиц почвенной суспензии приведена на рис. 3.

Как из него видно, яркость светлых пикселей изображения с течением времени возрастает.

Это связано с тем, что частицы почвы имеют черный цвет и хорошо поглощают падающее на них излучение всех цветов. В результате в начальный момент времени в гистограмме изображения преобладают темные тона. По мере осаждения взвешенных частиц в изображении увеличивается содержание светлых тонов.

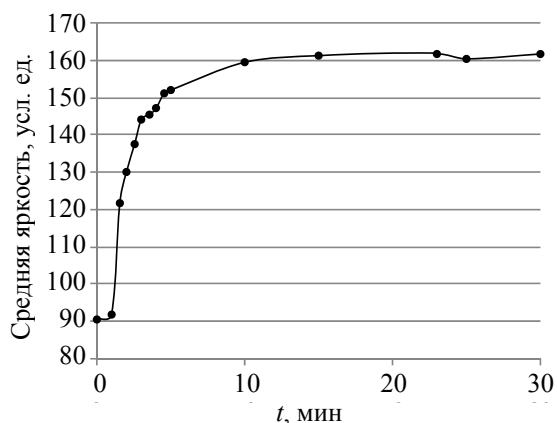


Рис. 3. Зависимость яркости изображений почвенной суспензии ($C = 0,4\%$) от времени оседания частиц

В таблице приведены результаты анализа скорости оседания частиц в водной среде, определенной гравиметрическим методом и по данным изменения яркости цифровых изображений.

Характеристика скорости седиментации частиц гравиметрическим методом и методом анализа яркости изображений

Объект	Скорость оседания частиц, мин^{-1}		Коэффициент корреляции
	Гравиметрический метод	Изменение яркости изображений	
1. Почвенная суспензия			
v_1	0,180	0,709	0,966
v_2	0,092	0,412	
v_3	0,046	0,310	
v_4	0,016	0,018	
2. Сточная вода			
v_1	0,044	0,022	0,955
v_2	0,038	0,014	
v_3	0,018	0,006	

Скорость изменения яркости изображения определялась по тангенсу угла наклона полученных кривых для различных фракций, отличающихся скоростью седиментации частиц.

Как видно из таблицы, между показаниями гравиметрического метода и данными анализа яркости изображений существует сильная прямая корреляционная зависимость, указывающая на достоверность полученных результатов и возможность их использования для анализа седиментационных свойств взвешенных частиц сточных вод.

Заключение. Проведен анализ цифровых изображений процесса седиментации взвешенных частиц и предложен экспресс-метод оценки скорости их осаждения по изменению яркости изображений. Метод отличается высокой оперативностью, низкой трудоемкостью и сопоставим по точности с гравиметрическим методом анализа.

Метод может найти применение для контроля уровня загрязненности сточных вод, а также оценки эффективности их очистки от взвешенных частиц.

Литература

1. Романовский, С. И. Физическая седиментология / С. И. Романовский. – Л.: Недра, 1988. – 240 с.
2. Порошки металлические. Методы седиментационного анализа: ГОСТ 22662–77. – Введ. 01.01.79. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 8 с.
3. Очистка производственных сточных вод / С. В. Яковлев [и др.]. – М.: Стройиздат, 1979. – 320 с.
4. Жмур, Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н. С. Жмур. – М.: АКВАРОС, 2003. – 512 с.
5. Справочник по свойствам, методам анализа и очистки воды / Л. А. Кульский [и др.]. – Киев: Наукова думка, 1980. – 1206 с.
6. Прэт, У. Цифровая обработка изображений: в 2 т. / У. Прэт. – М.: Мир, 1982. – Т. 1. – 317 с.; Т. 2. – 479 с.
7. Кэлби, С. Цифровая фотография: в 2 т. / С. Кэлби. – Вильямс, 2011. – Т. 1. – 224 с.; Т. 2. – 258 с.
8. Шапиро, Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М.: Бином, 2006. – 762 с.

Поступила 28.02.2013