

УДК 621.317
doi: 10.21685/2307-5538-2024-1-6

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ МУТНОСТИ ЖИДКОСТИ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ ИЗ-ЗА ОСАЖДЕНИЯ ЧАСТИЦ

С. О. Ахмедова¹, Б. Р. Джаббарлы²

¹ Азербайджанский государственный экономический университет, Баку, Азербайджанская Республика

² Азербайджанский технический университет, Баку, Азербайджанская Республика

¹ Axmedovasevda111@gmail.com, ² Cabbarli.bibixanim@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Отмечено, что процесс оседания частиц приводит к разным результатам измерения мутности воды. Процесс оседания частиц создает методическую неопределенность при интерпретации результатов измерений. *Материалы и методы.* Предложены два метода проведения измерения мутности воды, в которых данная неопределенность частично устраняется. В первом методе, названном дифференциальным методом, рекомендуется измерения проводить на фиксированном коротком временном интервале. Оценена относительная погрешность дифференциального метода в сравнении с результатом, получаемым по базовой формуле, без учета оседания частиц. Показано, что указанная погрешность уменьшается с увеличением времени оседания. Также исследована относительная погрешность второго предлагаемого интегрального метода измерения мутности, суть которого заключается в проведении интегрального измерения мутности за весь период оседания частиц и дальнейшего усреднения за время проведения измерений. *Результаты и выводы.* Показано, что погрешность среднеинтегральных измерений уменьшается с увеличением регрессионного показателя. Определен порядок проверки достоверности полученных результатов оценки соответствующих погрешностей.

Ключевые слова: мутность, погрешность, измерения, методическая погрешность, седиментация

Для цитирования: Ахмедова С. О., Джаббарлы Б. Р. Исследование погрешности измерения мутности жидкости, возникающей из-за осаждения частиц // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2024. № 1. С. 47–52. doi: 10.21685/2307-5538-2024-1-6

INVESTIGATION OF THE MEASUREMENT ERROR OF THE TURBIDITY OF THE LIQUID ARISING FROM THE DEPOSITION OF PARTICLES

S.O. Ahmedova¹, B.R. Jabbarli²

¹ Azerbaijan State Economic University, Baku, Republic of Azerbaijan

² Azerbaijan Technical University, Baku, Republic of Azerbaijan

¹ Axmedovasevda111@gmail.com, ² Cabbarli.bibixanim@mail.ru

Abstract. *Background.* It is noted that the process of settling of particles leads to different results of measuring the turbidity of water. The process of settling of particles creates methodological uncertainty in the interpretation of measurement results. *Materials and methods.* Two methods of measuring the turbidity of water are proposed, in which this uncertainty is partially eliminated. In the first method, called the differential method, it is recommended that measurements be carried out on a fixed short time interval. The relative error of the differential method is estimated in comparison with the result obtained by the basic formula, without taking into account the settling of particles. It is shown that this error decreases with increasing settling time. The relative error of the second proposed integral turbidity measurement method is also investigated, the essence of which is to carry out an integral turbidity measurement for the entire period of particle settling and further averaging during the measurements. *Results and conclusions.* It is shown that the error of the average integral measurements decreases with an increase in the regression index. The procedure for verifying the reliability of the obtained results of the assessment of the corresponding errors is determined.

Keywords: turbidity, error, measurements, methodological error, sedimentation

For citation: Ahmedova S.O., Jabbarli B.R. Investigation of the measurement error of the turbidity of the liquid arising from the deposition of particles. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2024;(1):47–52. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2024-1-6

Введение

С увеличением населения планеты растет потребность в чистой воде, что в свою очередь выдвигает требование разработки более совершенных технологий очистки воды. Как отмечается в работах [1–3], в современном обществе проблема очистки использованных вод является одной из первоочередных задач, решение которой на терпит отлагательства.

Решение вышеуказанной задачи неразрывно связано с задачей оценки степени загрязненности воды, оценкой содержания в ней минеральных или органических веществ. Как отмечается в работе [4], минералы или органические вещества в воде могут содержаться в трех дисперсных состояниях:

- растворенные вещества,
- коллоидальная суспензия,
- взвешенная суспензия.

Весь технологический цикл очистки загрязненных вод неизбежным образом включает процедуру осаждения или седиментации указанных частиц [5]. Физически процесс осаждения может быть охарактеризован как удаление с воды частиц с более высокой плотностью, чем вода под воздействием гравитационных сил [6,7]. Если рассматривать некоторую колонну грязной воды, вследствие движения указанных частиц в направлении вниз концентрация этих веществ с приближением ко дну будет увеличиваться. Как результат, мутность воды в такой колонне будет увеличиваться с приближением ко дну колонны [8].

Для учета влияния оседания частиц на результат оценки мутности жидкости в настоящей работе предложены дифференциальный и среднеинтегральный методы измерений. Суть дифференциального метода заключается в проведении измерений в определенный короткий промежуток времени. Суть среднеинтегрального метода заключается в проведении интегральных измерений за время оседания частиц и дальнейшего усреднения за весь временной промежуток измерений.

Целью настоящего исследования является:

- исследование погрешности дифференциальных измерений мутности воды;
- исследование погрешности среднеинтегрального измерения мутности воды;
- определение порядка проверки достоверности полученных результатов измерений по предложенным методам.

Материалы и методы

В настоящее время широко применяется метод статической седиментации, который состоит из заполнения некоторой колонны грязной водой и наблюдения за процессом осаждения загрязняющих воду частиц [9–11]. Схематическое представление такой колонны приведено на рис. 1.

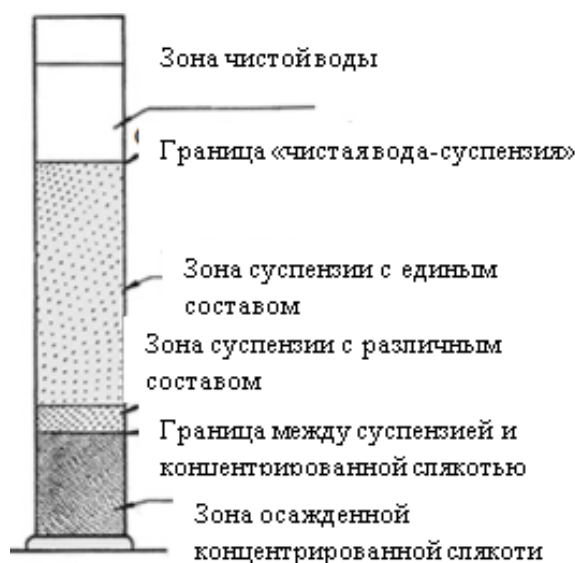


Рис. 1. Схематическое представление седиментационной колонны жидкости с указанием характерных зон [11]

Как видно из рис. 1, существует три зоны, которые формируются в процессе осаждения частиц: зона чистой воды, зона суспензии и зона концентрированной массы загрязнителя в направлении сверху вниз.

Основными физическими факторами, влияющими на процесс седиментации, являются плотность твердых частиц, форма и размеры этих частиц, температура и вязкость жидкости.

Как было показано в работе [11], мутность жидкости, содержащей CaCO_3 определенной концентрации и заполненной в колонну фиксированной высоты, изменяется по степенному закону

$$T_b = at^b, \quad (1)$$

где T_b – мутность, мг/мл; t – время, с; a, b – регрессионные постоянные.

Проанализируем погрешность дифференциального метода измерения мутности. С учетом выражения (1) имеем

$$\frac{dT_b}{dt} = abt^{(b-1)}. \quad (2)$$

Следовательно, заменив дифференциалы на приращения, запишем

$$\Delta T_b = abt^{(b-1)} \Delta t. \quad (3)$$

Относительную погрешность γ_g дифференциального метода измерения мутности определим как

$$\gamma_g = \frac{\Delta T_b}{T_b} = \frac{\Delta t}{t}. \quad (4)$$

Как видно из выражения (4), относительная погрешность дифференциального метода обратно пропорциональна величине t . Таким образом, дифференциальные измерения целесообразно проводить при больших значениях t . Рассмотрим метод среднеинтегральных измерений мутности. С учетом (1) имеем

$$\frac{1}{t_0} \int_0^{t_0} at^b dt = \frac{a}{t_0(b+1)} t_0^{b+1} = \frac{at_0^b}{b+1}. \quad (5)$$

Относительную погрешность интегрального метода вычислим как

$$\gamma_{ин} = \frac{1}{1+b}. \quad (6)$$

Сравним погрешности дифференциального и среднеинтегрального методов измерения. С учетом (4) и (6) условие преобладания дифференциальных измерений с позиции достижения высокой точности имеет вид

$$\frac{\Delta t}{t_0} < \frac{1}{1+b}. \quad (7)$$

Проанализируем взаимосвязь основных показателей вышеуказанных двух методов измерений при условии равенства относительных погрешностей. Логарифмируя выражение (1), получаем

$$\ln T_b = \ln a + b \ln t. \quad (8)$$

Из выражения (8) находим

$$b = \frac{\ln T_b - \ln a}{\ln t}. \quad (9)$$

С учетом уравнений (4) и (6) условие равенства относительных погрешностей имеет вид

$$\frac{\Delta t}{t_0} = \frac{1}{1+b}. \quad (10)$$

Из выражения (10) находим

$$b = \frac{t_0}{\Delta t} - 1. \quad (11)$$

С учетом выражений (9) и (11) получаем

$$\frac{\ln T_b - \ln a}{\ln t_0} = \frac{t_0}{\Delta t} - 1. \quad (12)$$

Таким образом, контроль достоверности результатов проведенных дифференциальных и среднеинтегральных измерений может быть осуществлен по следующей методике:

- 1) определение мутности T_b ;
- 2) результаты дифференциальных и среднеинтегральных измерений могут быть сочтены верными при выполнении условия (12).

Результаты

Для вычисления численных значений вышеуказанных погрешностей воспользуемся некоторыми результатами экспериментального исследования динамики седиментации твердых частиц CaCO_3 , полученных в работе [11]. В этой работе была использована прозрачная колонна высотой 940 мм с вместимостью 1850 мл. В эту колонну была заполнена жидкость с определенной концентрацией CaCO_3 . Измерения мутности проводились на восьми высотных зонах: 1 – 940–840 мм; 2 – 840–740 мм; 3 – 740–640 мм; 4 – 640–540 мм; 5 – 540–440 мм; 6 – 440–340 мм; 7 – 340–240 мм; 8 – 240–140 мм.

В качестве примера на рис. 2 приведены графики уменьшения мутности в восьми высотных зонах в течение интервала (0–100 мин) при заполнении колонны жидкостью с концентрацией 2 % [11].

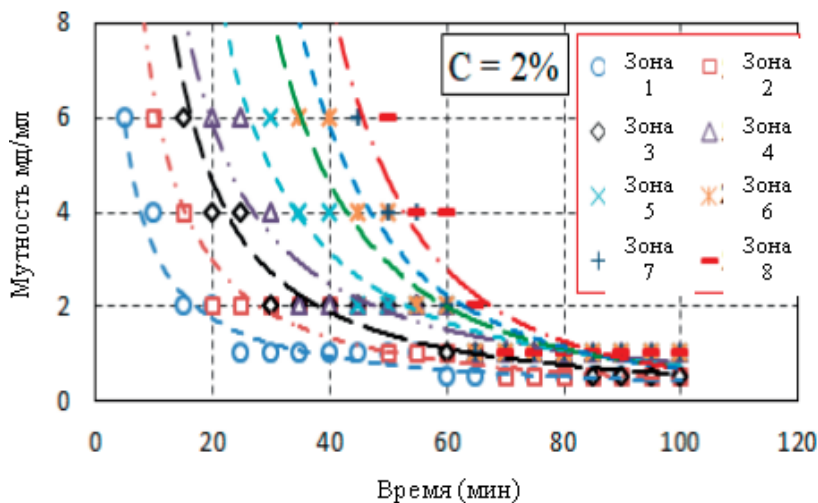


Рис. 2. Графики уменьшения мутности в восьми высотных зонах

Вычисленные значения относительных погрешностей a регрессионных показателей приведены на табл. 1.

Таблица 1

Зоны	Вычисленные показатели					
	a	b	t (мин)	$\gamma_{\text{инт}}$	$\gamma_{\text{г}}$	
$C_{2\%}$	1	24,008	0,875	85	0,5333	0,117
	2	87,203	1,13	80	0,4694	0,125
	3	222,82	1,294	77	0,4359	0,129
	4	226,24	1,223	74	0,4498	0,135
	5	979,49	1,556	67	0,3912	0,149
	6	8936	2,052	61	0,327	0,164
	7	31902	2,335	57	0,299	0,175
	8	234137	2,768	52	0,265	0,192

Обсуждение и заключение

Проведенный нами анализ известных экспериментальных результатов динамики временного изменения мутности воды из-за процесса оседания имеющихся в ней частиц показал, что процесс оседания приводит к разным результатам измерения мутности. Это в свою очередь приводит к методической неопределенности при интерпретации результатов измерений. Во избежание указанной неопределенности в данной статье были предложены два метода проведения измерения мутности воды. В первом методе рекомендуется измерения проводить на фиксированном коротком временном интервале. Оценена относительная погрешность дифференциального метода в сравнении с результатом, получаемым по базовой формуле. Показано, что указанная погрешность уменьшается с увеличением времени оседания частиц. Также исследована относительная погрешность второго предлагаемого среднеинтегрального метода измерения мутности. Согласно полученному результату указанная погрешность постоянна и определяется величиной регрессионного показателя. Разработана методика проверки достоверности полученных результатов по двум предложенным методам измерений.

Список литературы

1. Gleeson T., Cuthbert M., Ferguson G., Perrone D. Global groundwater sustainability, resources, and systems // *Anthropocene Ann. Rev. EarthPlanetary Sci.* 2020. Vol. 48. P. 431–463.
2. Jones E., Qadir M., Vliet M. T. H. [et al.]. The state of desalination and brine production // *Sci. Total Environ.* 2019. Vol. 657.
3. Parkinson S. [et al.]. Balancing clean water-climate change mitigation trade-offs // *Environ. Res. Lett.* 2019. Vol. 14.
4. Ciobanu M. G. *General chemistry. Vol. I.* Bucharest, RO : Performance publishing house, 2010.
5. Anjum M. N., Rasheed H. U., Ahmed W. Impact of waste water treatment on quality of influent & effluent water // *International journal of impotence research.* 2016. Vol. 2.
6. Von Sperling M. *Basic principles of wastewater treatment.* Brazil, Federal University of Minas Gerais, 2007.
7. Hasim A. M. H., El-Hafiz A. A., El Baz A. R., Farghaly S. M. Study the performance circular clarifier in existing potable water treatment plant by using computational fluid dynamics // *World water congress. Cancun, 2017.*
8. Gian J. Improving the testing of sedimentation processes development of a large column and observations of solid concentration using turbidity measurements // *Bachelor of engineering thesis. Queensland, Australia : The University of Queensland, 2016.*
9. Ipate G., Musuroi G., Constantin G. A. [et al.]. Experimental and numerical simulation research of sedimentation process in stationary column of aqueous suspension of solids // *Thermal Equipment. Renewable energy and rural development : web of conferences.* 2019. Vol. 112. P. 03028.
10. Safta V. V., Toma M. L., Ungureanu N. Experiments in the field of water treatment // *Durable Agriculture – Agriculture of the Future : Scientific International Conferences The 12th Annual Meeting.* Bucharest, RO : Printech publishing house, 2012.
11. Zabava B. S., Voice G., Tudor P. [et al.]. Variation of turbidity of liquid-solid mixtures in the wastewater settling process // *Earth observation & surveying, environmental engineering.* 2021. Vol X. URL: https://www.researchgate.net/publication/356388854_VARIATION_OF_TURBIDITY_OF_LIQUID-SOLID_MIXTURES_IN_THE_WASTEWATER_SETTLING_PROCESS

References

1. Gleeson T., Cuthbert M., Ferguson G., Perrone D. Global groundwater sustainability, resources, and systems. *Anthropocene Ann. Rev. EarthPlanetary Sci.* 2020;48:431–463.
2. Jones E., Qadir M., Vliet M.T.H. et al. The state of desalination and brine production. *Sci. Total Environ.* 2019;657.
3. Parkinson S. et al. Balancing clean water-climate change mitigation trade-offs. *Environ. Res. Lett.* 2019;14.
4. Ciobanu M.G. *General chemistry. Vol. I.* Bucharest, RO: Performance publishing house, 2010.
5. Anjum M.N., Rasheed H.U., Ahmed W. Impact of waste water treatment on quality of influent & effluent water. *International journal of impotence research.* 2016;2.
6. Von Sperling M. *Basic principles of wastewater treatment.* Brazil: Federal University of Minas Gerais, 2007.
7. Hasim A.M.H., El-Hafiz A.A., El Baz A.R., Farghaly S.M. Study the performance circular clarifier in existing potable water treatment plant by using computational fluid dynamics. *World water congress.* Cancun, 2017.

8. Gian J. Improving the testing of sedimentation processes development of a large column and observations of solid concentration using turbidity measurements. *Bachelor of engineering thesis*. Queensland, Australia: The University of Queensland, 2016.
9. Ipate G., Musuroi G., Constantin G.A. et al. Experimental and numerical simulation research of sedimentation process in stationary column of aqueous suspension of solids. *Thermal Equipment. Renewable energy and rural development: web of conferences*. 2019;112:03028.
10. Safta V.V., Toma M.L., Ungureanu N. Experiments in the field of water treatment. *Durable Agriculture – Agriculture of the Future: Scientific International Conferences The 12th Annual Meeting*. Bucharest, RO: Printech publishing house, 2012.
11. Zabava B.S., Voice G., Tudor P. et al. Variation of turbidity of liquid-solid mixtures in the wastewater settling process. *Earth observation & surveying, environmental engineering*. 2021;X. Available at: https://www.researchgate.net/publication/356388854_VARIATION_OF_TURBIDITY_OF_LIQUID-SOLID_MIXTURES_IN_THE_WASTEWATER_SETTLING_PROCESS

Информация об авторах / Information about the authors

Севда Омар гызы Ахмедова

старший преподаватель кафедры химии,
Азербайджанский государственный
экономический университет
(Азербайджанская Республика, г. Баку,
ул. Истиглалият, 6)
E-mail: Axmedovasevda111@gmail.com

Sevda O. Ahmedova

Senior lecturer of the sub-department of chemistry,
Azerbaijan State University of Economics
(6 Istiglaliyat street, Baku,
The Republic of Azerbaijan)

Бибиханым Раваят гызы Джаббарлы

докторант,
Азербайджанский технический университет
(Азербайджанская Республика, г. Баку,
пр-кт Джавида, 25)
E-mail: Cabbarli.bibixanim@mail.ru

Bibikhanym R. Jabbarli

Doctoral student,
Azerbaijan Technical University
(25 Djavid avenue, Baku,
The Republic of Azerbaijan)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 20.12.2023

Поступила после рецензирования / Revised 18.01.2024

Принята к публикации / Accepted 16.02.2024