

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ КВАДРАТИЧНОЙ ОШИБКИ ИЗМЕРЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ВОДНЫХ СУСПЕНЗИЙ БЕНТОНИТА

© Джамбулатов Роман Суламбекович (а), Альтемиров Магомед Алхазурович (b)

(а) Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, Российская Федерация, г. Грозный; отдел физико-математических исследований, заведующий отделом, научный сотрудник. Чеченский Государственный Университет им. А.А. Кадырова, г. Грозный; asldzam@mail.ru

(b) Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, Российская Федерация, г. Грозный; отдел физико-математических исследований, младший научный сотрудник, m\_altemirov@bk.ru

**Аннотация.** В работе показано, что измерение поверхностного натяжения высокодисперсных суспензий представляет сложную задачу. Поэтому, для повышения воспроизводимости результатов экспериментальных измерений, мы апробировали новую методику измерения поверхностного натяжения дисперсных систем. Целью работы является определение средней квадратичной ошибки измерения поверхностного натяжения бентонитовой суспензии на основе результатов, полученных нами с использованием разработанной методики. Представленные результаты представляют собой соотношение случайной и систематической погрешности, полученные при измерении поверхностного натяжения водной суспензии бентонита.

**Ключевые слова:** поверхностное натяжение, ошибка измерения, суспензия бентонита, пространственные структуры, дисперсная система, случайная и систематическая ошибка измерения.

## DETERMINATION OF THE MEAN SQUARE ERROR OF MEASURING THE SURFACE TENSION OF AQUEOUS BENTONITE SUSPENSIONS

© Dzhambulatov Roman Sulambekovich (a), Altemirow Magomed Alkhazurovich (b)

(a) Kh. I. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Grozny; Department of Physical and Mathematical Research, head of department, researcher. Chechen State University. A.A. Kadyrov Chechen State University, Russian Federation, Grozny; asldzam@mail.ru

(b) Kh. I. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Grozny; Department of Physical and Mathematical Research, head of department, junior researcher, m\_altemirov@bk.ru

**Abstract.** The paper shows that measuring the surface tension of highly dispersed suspensions is a difficult task. Therefore, to improve the reproducibility of the results of experimental measurements, we tested a new technique for measuring the surface tension of dispersed systems. The purpose of the work is to determine the mean square error of measuring surface tension of bentonite suspension on the basis of the results obtained by us using the developed technique. The presented results represent the ratio of random and systematic error obtained in measuring the surface tension of an aqueous bentonite suspension.

**Key words:** surface tension, measurement error, bentonite suspension, spatial structures, disperse system, random and systematic error of measurement.

Вследствие то, что суспензии бентонита относятся к высокодисперсным системам, исследование их поверхностных свойств выходят на первое место с точки зрения актуальности. Критический анализ литературы, посвященный тематике исследования, часто имеет противоречивый характер [1,6-8].

По нашему мнению, количественное и качественное несоответствие получаемых экспериментальных результатов, прежде всего, может быть обусловлено следующими объективными причинами:

- бентонит – это минерал (основным компонентом является монтмориллонит), который способен диспергироваться в водной среде вплоть до образования частиц коллоидных размеров, при этом подобное диспергирование, по-видимому, протекает с различной скоростью для разных частиц, поскольку в обычных условиях суспензия представляет из себя полидисперсию. Поэтому, в таких системах наблюдается непрерывное осаждение грубодисперсных частиц, не достигших кинетической устойчивости что прямо или косвенно влияет на:

- величину поверхностного натяжения;
- способность образовывать коагуляционные структуры в водной дисперсионной среде;
- количество ионов, переходящих из твердой фазы в дисперсионную среду [7,8].

Таким образом, становится очевидным, что прецизионное измерение величины  $\sigma$  бентонитовых суспензий, являющейся чрезвычайно сложной системой по своей структуре, составу и степени дисперсности, является трудной задачей, в процессе решения которой необходимо учитывать совокупность факторов.

Из полученных данных определено, что наибольшее значение имеет правильный выбор метода измерения величины  $\sigma$  суспензии. В [5] было показано, что при измерении  $\sigma$ , по ряду факторов, более приемлемы статические методы. Связано это, прежде всего с тем, что в случае использования динамических методов измерения  $\sigma$ , например, метода максимального давления в газовом пузырьке, отрыва кольца или пластины, может нарушаться целостность коагуляционных структур [4]. Нарушение целостности подобных структур приводит к неправильной оценке энергетического состояния поверхностного слоя водной дисперсии, так как содержащиеся в данных структурах коллоидные частицы способны влиять на величину  $\sigma$ .

С этой целью нами был разработана методика измерения  $\sigma$  [5] дисперсных систем, основанная на учете влияния процесса седиментации на значение  $\sigma$ . Предложенная методика основана на использовании суперпозиции значений  $\sigma$ , полученных двумя методами измерения  $\sigma$  (метод висящей и метод лежащей капли). В то же время остается открытым вопрос о суммарной погрешности измерения  $\sigma$  по данной методике.

Ошибки, возникающие при измерениях, классифицируются как: систематические и случайные ошибки. По данным производителя, систематическая погрешность измерения кольца на тензиометре DSA-100 не превышает 1% [3]. Поэтому, учитывая, что значения  $\sigma$  измеряемых образцов в диапазоне 70-50 мН/м, то очевидно, что систематическая погрешность измерения по абсолютной величине не превысит 0,7 мН/м. Мы намеренно приводим максимальное значение погрешности и не учитываем тот факт, что большое количество измерений по этим двум методикам (около сотни измерений для одной концентрации) и дальнейшее арифметическое усреднение результатов, очевидно, должно приводить к уменьшению систематической ошибки измерения погрешности  $\sigma$ . Следовательно, указанное значение систематической погрешности (0,7 мН/м) является максимальным.

Поскольку систематическая погрешность является постоянной величиной в процессе измерения (при выполнении на одном оборудовании), разброс экспериментальных точек будет определяться случайной погрешностью.

Существует несколько методов оценки случайной погрешности [1]. Для этой цели чаще всего пользуются методом определения средней квадратичной погрешности измерения. Этот метод характеризуется тем, что с увеличением числа измерений погрешности измерений достигается определенный статистический предел за счет сведения случайных флуктуаций измеряемой величины до постоянного значения.

Как было показано в работе [3], используя программу DSA-1 интегрированной с тензометром DSA-100, можно обработать большой объем данных о зависимости концентрации от  $\sigma$  при малых значениях времени образования поверхности, приводящее к уменьшению случайной погрешности и упрощению процедуры определения погрешности измерения. Поэтому для определения случайной ошибки измерения  $\sigma$  водных суспензий бентонита с различной концентрацией твердой фазы были использованы результаты множества измерений образцов (3-4 серии измерений по 30 измерений в каждой или 100 - 120 измерений для одной концентрации).

Таблица 1

**Поверхностное натяжение бентонитовой суспензии  
3% от плотности твердой фазы (N количество измерений)**

N	$\sigma$ , мН/м	N	$\sigma$ , мН/м	N	$\sigma$ , мН/м
1	59,30	11	59,40	21	59,43
2	59,27	12	59,27	22	59,32
3	59,23	13	59,26	23	59,20
4	59,25	14	59,23	24	59,70
5	59,40	15	59,20	25	59,50
6	58,90	16	58,74	26	58,80
7	58,70	17	58,73	27	58,65
8	58,40	18	58,44	28	58,42
9	58,10	19	58,12	29	58,15
10	57,46	20	57,80	30	57,71

Среднее значение	59,10 мН/м
------------------	------------

Полученные экспериментальные результаты по концентрационной зависимости твердой фазы суспензии бентонита от величины  $\sigma$  (таблица 1) были использованы для определения погрешности измерения величины  $\sigma$  по следующей формуле:

$$S_n^2 = \sqrt{\frac{\sum(x-x_i)^2}{n(n-1)}}$$

где  $x-x_i$  – погрешность одного измерения;  $n$  – общее число измерений. Расчеты показали, что значение этой ошибки равна  $S_n = 0.31$  мН/м. Поскольку коэффициент Стьюдента при 30 измерениях равен 2, то средняя квадратичная ошибка измерения ( $\Delta\sigma$ ) (при концентрации 3% твердой фазы бентонита) равна  $\pm 0,62$  мН/м.

Согласно полученным экспериментальным результатам наибольший разброс значений  $\sigma$  наблюдался при концентрации твердой фазы 3 мас. % твердой фазы.

Следовательно, анализ полученных результатов позволяет утверждать, что суммарная погрешность измерения  $\sigma$  бентонитовой суспензии будет определяться, прежде всего, систематической погрешностью измерения  $\sigma$  на тензиометре DSA -100.

### Выводы

Таким образом, влияние седиментации и диспергирования на величину  $\sigma$  можно учесть при использовании двух независимых методов. При этом основными требованиями, предъявляемыми к этим методам, являются: разнонаправленность в них процесса седиментации твердых частиц относительно поверхности и статистический характер измерения  $\sigma$ .

На наш взгляд, большая часть остальных факторов, оказывающих влияние на измеряемое значение  $\sigma$ , можно отнести к случайным ошибкам. И погрешность измерения  $\sigma$ , вызванная этими факторами, является случайной. Величину случайной погрешности можно снизить увеличением числа измерений до тех пор, пока она не станет существенно ниже систематической.

Как показано выше, при определении  $\sigma$  суспензии бентонитов, для снижения случайной составляющей до незначительной величины, необходимо проводить значительно большее число повторных измерений, чем при исследовании  $\sigma$  растворов органических веществ.

Таким образом, анализ основных факторов, оказывающих влияние на измеряемое значение  $\sigma$ , методических особенностей измерения  $\sigma$ , а так же расчет погрешности измерения  $\sigma$ , показывают, что использование разработанной нами методики измерения  $\sigma$  суспензии позволяет значительно повысить точность и воспроизводимость получаемых экспериментальных данных. Как показали представленные результаты, суммарная ошибка измерения  $\sigma$  суспензии бентонитов при числе повторных измерения равном 30 при 3-х масс. % будет определяться систематической ошибкой измерения  $\sigma$  прибором DSA-100.

ЛИТЕРАТУРА

1. Витюгин В.М., Фукс О.А., Сомова Т.Н. Исследование влияния концентрации бентонитовых суспензий на поверхностное натяжение и реологические свойства // Известия Томского политехнического института имени С.М. Кирова. 1977. Т. 214. С. 106-108.
2. Дадашев Р.Х., Джамбулатов Р.С., Дадашева З.И., Талхигова Х.С. Влияние некоторых факторов на изотермы поверхностного натяжения водных суспензий бентонита // Известия Кабардино-Балкарского университета. 2019. Т.9. №2. С.48-52.
3. Дадашев Р.Х., Джамбулатов Р.С., Элимханов Д.З. Измерение поверхностного натяжения методом висящей капли на тензиометре DSA-100 // Сборник Труды КНИИ РАН, Грозный, 2012. № 5. С. 3-7
4. Дадашев Р.Х., Джамбулатов Р.С., Элимханов Д.З. О влиянии пространственных структур на свойства поверхности суспензий бентонита // Вестник Академии наук Чеченской республики. № 2 (49). 2020. С. 21-24.
5. Дадашев Р.Х., Джамбулатов Р.С., Элимханов Д.З., Дадашев И.Н. Методика измерения поверхностного натяжения суспензии бентонитов // Журнал физической химии. 2020. Т. 94. № 7. С. 1114-1118.
6. Пономарев В.В., Бакун В.Г., Кононенко С.А., Савостьянов А.П., Изучение структуры и адсорбционных свойств природного и модифицированных бентонитов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия технические науки, 2008. № 3. С. 94-97.
7. Федорова, А. А. Поверхностное натяжение и адсорбция электролитов на границе раздела фаз водный раствор-газ // Журнал физической химии. 2007. Т. 81. № 7. С. 1279-1281.
8. Шантарин В.Д., Войтенко В.С. Физико-химия дисперсных систем. М.: Недра, 1990. 315 с.

REFERENCES

1. Vitiugin V.M., Fuchs O.A., Somova T.N. Study of the effect of the concentration of bentonite suspensions on the surface tension and rheological properties // Proceedings of the Tomsk Polytechnic Institute named after S.M. Kirov. 1977. T. 214. C. 106-108.
2. Dadashev R.Kh., Dzhambulatov R.S., Dadasheva Z.I., Talhigova H.S. The influence of some factors on the surface tension isotherms of aqueous suspensions of bentonite // Proceedings of the Kabardino-Balkarian University. 2019. T.9. № 2. C. 48-52.
3. Dadashev R.Kh., Dzhambulatov R.S., Elimkhanov D.Z. Measurement of surface tension by hanging drop method on tensiometer DSA-100 // Proceedings of KNII RAS, Grozny, 2012. № 5. C. 3-7.
4. Dadashev R.H., Dzhambulatov R.S., Elimkhanov D.Z. The influence of spatial structures on the surface properties of bentonite suspensions // Bulletin of the Academy of Sciences of the Chechen Republic. № 2 (49). 2020. C. 21-24
5. Dadashev R.H., Dzhambulatov R.S., Elimkhanov D.Z., Dadashev I.N. Methods for measuring the surface tension of bentonite suspensions // Journal of Physical Chemistry. 2020. T. 94. № 7. C. 1114-1118.
6. Ponomarev V.V., Bakun V.G., Kononenko S.A., Savostyanov A.P., The study of the structure and adsorption properties of natural and modified bentonites // Proceedings of higher

- educational institutions. North-Caucasian region. Technical Sciences Series, 2008. № 3. С. 94-97.
7. Fedorova, A. A. Surface tension and the electrolyte adsorption on the interface of the aqueous solution-gas phase (in Russian) // Journal of Physical Chemistry. 2007. Т. 81. № 7. С. 1279-1281.
  8. Shantarin V.D., Voytenko V.S. Physico-chemistry of dispersed systems. Moscow: Nedra, 1990. 315 p.