

**О МЕТОДАХ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ**

© **Дадашев Райком Хасимханович (а), Джамбулатов Роман Суламбекович (б),  
Элимханов Джабраил Зайндиевич (с)**

- (а) Академия наук Чеченской Республики. Российская Федерация, г. Грозный; центр проблем материаловедения, директор, профессор, д.ф.-м.н., raykom50@mail.ru  
 (б) Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова РАН. Российская Федерация, г. Грозный; отдел физико-математических исследований, заведующий отделом, научный сотрудник, asldzam@mail.ru  
 (с) Чеченский государственный университет. Российская Федерация, г. Грозный; кафедра теоретической физики, доцент, к.ф.-м.н., edzhabrail@mail.ru

**Аннотация.** В работе представлена предложенная нами методика измерения плотности дисперсных систем. Показано, что данная методика воспроизводит табличные данные по плотности чистых веществ и позволяет измерить плотность водных суспензий бентонита при концентрации твердой фазы до 30 масс. %. Кроме того, представлен запатентованный метод измерения истинной плотности дисперсных веществ, который позволяет значительно сократить трудозатраты и расширить область определения плотности твердой фазы в дисперсных системах.

**Ключевые слова:** Суспензия бентонита, плотность, пикнометр, ареометр, седиментация, дисперсная система.

**ON METHODS FOR MEASURING THE DENSITY OF DISPERSED SYSTEMS**

© **Dadashev Raykom Hasimkhanovich (a), Dzhambulatov Roman Sulambekovich (b),  
Elimkhanov Dzhabrail Zayndievich (c)**

- (a) Academy of Sciences of the Chechen Republic. Russian Federation, Grozny; Center for Materials Science Problems, director, professor, doctor of Physics and Mathematics, raykom50@mail.ru  
 (b) Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Science, Russian Federation, Grozny; Department of Physical and Mathematical Research, Department Head, Researcher, asldzam@mail.ru  
 (c) Chechen State University. Russian Federation, Grozny; Department of Theoretical Physics, Associate Professor, Ph.D., edzhabrail@mail.ru

**Abstract.** The paper presents our proposed method for measuring the density of disperse systems. It is shown that this technique reproduces tabular data on the density of pure substances and allows you to measure the density of aqueous suspensions of bentonite at a concentration of solid phase up to 30 mass. %. In addition, a patented method for measuring the true density of dispersed substances is presented, which can significantly reduce labor costs and expand the range of determination of the density of the solid phase in dispersed systems.

**Key words:** Bentonite suspension, density, pycnometer, hydrometer, sedimentation, dispersed system.

Известно, что плотность является важнейшим параметром, который непосредственно связан с фундаментальными параметрами дисперсной системы (вязкость, поверхностное натяжение, кинетическая устойчивость частиц дисперсной фазы, скорость седиментации частиц и т.д.). Поэтому усовершенствование имеющихся методик, а также разработка новых подходов измерения плотности остается нерешенной и весьма актуальной задачей.

В исследовательской практике разработано значительное количество методов измерения плотности конденсированных систем (ареометры, поплавковые (весовые), вибрационные, массовые плотномеры) [3–6]. С другой стороны, анализ методов показывает, что имеющиеся ограничения при измерении величины плотности дисперсных систем, обусловлены различными факторами (влияние вязкости и седиментации частиц твердой фазы) или вообще не подходят для измерения плотности дисперсных систем в лабораторных условиях.

Влияние перечисленных факторов на погрешность особенно чувствительно при измерении плотности суспензии бентонита, которые отличаются полидисперсностью частиц твердой фазы и наличием обменных катионов в составе минерала. Очевидно, что учет этих особенностей является важным требованием при выборе метода измерения и дальнейшей разработки методики измерения плотности.

Чаще всего, для измерения плотности суспензии в исследовательской практике применяются пикнометры (колба Ле-Шателье) или ареометры (для жидкостей с невысокой вязкостью) [4, 9].

При использовании однокапиллярных пикнометров для измерения плотности дисперсных систем возникают проблемы, связанные с неоднородным распределением дисперсной фазы в объеме суспензий, что усложняет процесс заполнения пикнометра суспензией. Кроме того, часто образуются газовые пузырьки, вероятность образования которых увеличивается с уменьшением смачиваемости материала, из которого изготовлен пикнометр, или по мере роста вязкости суспензии. Частично решение этой проблемы предложено в работе [7], в которой для этого предложен второй капилляр. При этом, облегчая проблему образования пузырьков газа, данный пикнометр [7] имеет определенные недостатки, связанные в основном со снижением точности измерения. Следовательно, указанные факты требуют повышения точности измерения и поиска новых подходов к измерению плотности суспензии.

**1. Усовершенствованный пикнометр для измерения плотности суспензий.** С целью увеличения точности и сокращения трудоемкости измерения плотности нами

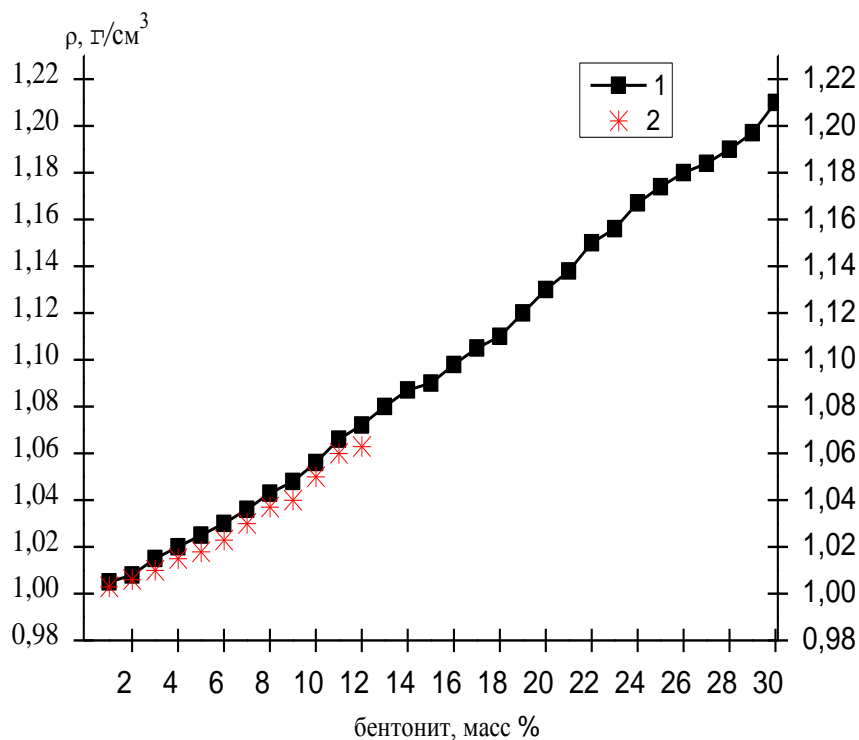
предложена и успешно апробирована усовершенствованная методика измерения плотности дисперсных систем.

Отличительной особенностью данной методики является использование пикнометра с подвижным поршнем, который практически исключает вероятность образования газовых пузырьков. С этой целью, после набора небольшого количества исследуемого образца необходимо интенсивным движением поршня вытеснить жидкость, находящейся в полости пикнометра, что приводит к удалению появившихся пузырьков газа в полости пикнометра и предотвращает их дальнейшее образование. После этого происходит набор новой порции исследуемой жидкости и осуществляется измерение плотности.

Данная методика измерения плотности прошла успешную апробацию на различных образцах. Результаты измерения концентрационной зависимости плотности водного раствора этанола (293К) в пределах ошибки эксперимента совпали со справочными данными.

Используя данную методику проведены измерения плотности образцов водных суспензий бентонита в диапазоне 1–30 масс. % твердой фазы (рис 1).

Как видно из представленного графика, сравнительный анализ результатов измерений плотности суспензии бентонита, проведенные ареометрическим методом (ввиду ограничения возможности измерения в связи с повышением вязкости образца удалось измерить в диапазоне 0–12 масс. %) с результатами измерения плотности, полученными с помощью усовершенствованного пикнометра, показало наличие расхождений между этими данными, не превышающие  $10^{-2}$  г/см<sup>3</sup> (рис. 1).



**Рис. 1.** Изотермы плотности водной суспензии бентонита при 298 К.  
1 – усовершенствованный метод; 2 – ареометрический метод

Выделим главные преимущества данной методики:

- 1) простота операции измерения;
- 2) отсутствие необходимости точной фиксации мениска;
- 3) до минимума снижена вероятность образования газовых пузырьков.

Следовательно, по указанным критериям предложенная методика измерения плотности обладает значительным преимуществом при измерении плотности суспензий или эмульсий, обладающих высокой вязкостью и низкой кинетической или агрегативной устойчивостью.

**2. Метод определения истинной плотности твердой фазы.** Анализ литературы, посвященный методам измерения истинной плотности, показывает, что имеющиеся способы определения обладают определенными недостатками. В связи с этим разработка новых и совершенствование имеющихся подходов измерения истинной плотности остается актуальной задачей. В связи с этим нами была разработана и защищена патентом Российской Федерации метод измерения истинной плотности дисперсных веществ [5].

Суть предложенного метода измерения истинной плотности заключается в использовании двух взаимно растворимых рабочих жидкостей.

Для осуществления измерения истинной плотности необходимо:

- использовать жидкости, обладающие оптической прозрачностью и химической инертностью по отношению к частицам вещества определяемого вещества;
- подобрать жидкость (рабочая жидкость №1) с меньшей плотностью, чем плотность измеряемого вещества;
- подобрать вторую жидкость, с неограниченной растворимостью с рабочей жидкостью №1, но имеющую плотность выше, чем у измеряемого вещества (рабочая жидкость №2).

С помощью последовательного добавления этих жидкостей в исследуемое вещество добиваются выравнивания плотности между дисперсионной средой и анализируемым веществом за счет смешивания рабочих жидкостей в определенных соотношениях.

Недостаток указанного метода заключается в необходимости большого количества времени для проведения серий измерений, что обусловлено, в ряде случаев, низкой скоростью достижения равновесного распределения частиц в объеме жидкости.

Для решения этого вопроса нами использован метод деления отрезка пополам или метод бисекции, используемый для решения нелинейных уравнений [1].

Суть этого метода заключается в том, что на первом этапе готовится 50%-ный раствор из базовых жидкостей. В зависимости от того всплывают или оседают частицы измеряемой дисперсии отрезок от 0 до 50% или от 50 до 100% делят пополам. Таким образом, готовится 25%-ный или 75%-ный раствор базовых жидкостей. Указанный алгоритм действий продолжается до тех пор, пока не получают взвешенное состояние частиц в объеме жидкости. В таком состоянии истинная плотность дисперсионной среды равна плотности исследуемого вещества, а значение плотности полученной суспензии определяется ареометрическим методом.

Если речь идет о небольших частицах, которые визуальным способом трудно определяемы, можно использовать катетометр или фото- и видеокамеры с большой разрешающей способностью.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алентьев А.Н. Ильченко А.Г., Токов А.Ю. Статистические методы обработки результатов физического эксперимента: уч. пособие. Иваново, 2007. 143 с.
2. Алчагиров Б. Б., Карамурзов Б. С., Хоконов Х. Б. Методы и приборы для определения плотности металлов и сплавов Нальчик: КБГУ, 2000. 91 с.
3. Алчагиров Б.Б., Дадашев Р. Х. Метод большой капли для определения плотности и поверхностного натяжения металлов и сплавов: учеб. пособие Нальчик: КБГУ, 2000. 260 с.
4. Дадашев Р.Х. Термодинамика поверхностных явлений М.: Физматиздат, 2008. 278 с.
5. Дадашев Р.Х. Элимханов Д.З., Джамбулатов Р.С., Мусханова И.В. Способ определения истинной плотности твердой фазы дисперсной системы// Патент. 2014. 2572295.
6. Ибрагимов Х.И., Дадашев Р.Х. Комбинированный прибор для комплексных исследований металлических расплавов // К изучению поверхностных явлений в металлических расплавах. Орджоникидзе: СОГУ, 1975. С. 62–68.
7. Ибрагимов Х.И., Покровский Н.Л., Пугачевич П.П. Вакуумный двухкапиллярный пикнометр для измерения плотности металлических расплавов // ЖФХ. 1966. Т. 40. № 4. С. 957–959.
8. Ибрагимов Х.И., Саввин В.С., Дадашев Р.Х. Прибор для определения плотности жидких металлических растворов // ЖФХ. 1976. Т. 50. №8. С. 2158–2159.
9. Кивилис С.С. Плотномеры М., 1980. 278 с.

## REFERENCES

1. Alentiev A.N. Ilchenko A.G., Tokov A.Yu. Statistical methods for processing the results of a physical experiment: studies. allowance. Ivanovo, 2007. 143 p.
2. Alchagirov B. B., Karamurzov B. S., Khokonov H. B. Methods and devices for determining the density of metals and alloys Nalchik: KBSU, 2000. 91 p.
3. Alchagirov BB, Dadashev R. Kh. The method of a large drop to determine the density and surface tension of metals and alloys: textbook. allowance Nalchik: KBSU, 2000. 260 p.
4. Dadashev R.Kh. Thermodynamics of surface phenomena M.: Fizmatizdat, 2008. 278 p.
5. Dadashev R.Kh. Elimkhanov D.Z., Dzhambulatov R.S., Muskhanova I.V. A method for determining the true density of the solid phase of a dispersed system // Patent. 2014. 2572295.
6. Ibragimov Kh.I., Dadashev R.Kh. Combined device for complex research of metal melts // To the study of surface phenomena in metal melts. Ordzhonikidze: SOGU, 1975. Pp. 62–68.
7. Ibragimov H.I., Pokrovsky N.L., Pugachevich P.P. Vacuum two-capillary pycnometer for measuring the density of metal melts // ZhFKh. 1966. T. 40. No. 4. Pp. 957–959.
8. Ibragimov H.I., Savvin V.S., Dadashev R.Kh. A device for determining the density of liquid metal solutions // ZhFH. 1976. V. 50. No. 8. Pp. 2158–2159.
9. Kivilis S.S. Density meters M., 1980. 278 p.