

УДК 621.9

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ СЫПУЧИХ ТЕЛ

**Понамарев Е.С., Гаврилов А.И., Тарасенко Н.А.**

*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет»,  
Краснодар, e-mail: natagafonova@mail.ru*

Свойства сыпучих материалов характеризуются рядом показателей, из которых наиболее информативным и важным является плотность. Она зависит от влажности, величины частиц и соотношения различных фракций. Знание плотности необходимо при измерении теплофизических свойств сыпучих материалов различного назначения. Кроме того, плотность оказывает существенное влияние на различные технологические процессы. Целью работы является разработка удобного в эксплуатации и обслуживании устройства для экспресс-измерений плотности сыпучих тел и усовершенствование устройств данного типа. Техническим результатом является повышение точности и обеспечение оперативности измерений. Преимуществом устройства является то, что методом компенсации производится непосредственное определение объема без каких-либо вычислений. При этом не требуется знания атмосферного давления и уравнения состояния газа. Сравнение объемов производится в ходе одного измерения для различных давлений, что повышает точность и снижает влияние неизотермичности. Заявленное техническое решение реализовано с использованием промышленно выпускаемых средств и может быть изготовлено в лабораторных и промышленных условиях.

**Ключевые слова:** устройство, измерение, плотность, сыпучее тело

## DEVELOPMENT OF THE DEVICE FOR MEASUREMENT OF DENSITY OF LOOSE BODIES

**Ponamarev E.S., Gavrilov A.I., Tarasenko N.A.**

*FGBOU VPO «Kuban State Technological University», Krasnodar, e-mail: natagafonova@mail.ru*

Properties of bulks are characterized by a number of indicators from which the most informative and important is density. It depends on humidity, the size of particles and a ratio of various fractions. The knowledge of density is necessary at measurement of heatphysical properties of bulks of different function. Besides, density has essential impact on various technological processes. The purpose of work is development convenient in operation and service of the device for express measurements of density of loose bodies and improvement of devices of this type. Technical result is increase of accuracy and ensuring efficiency of measurements. Advantage of the device is that the method of compensation makes direct scoping without any calculations. Thus it isn't required knowledge of atmospheric pressure and the equation of a condition of gas. Comparison of volumes is made during one measurement for various pressure that increases accuracy and reduces influence of a neizotermichnost. The declared technical solution is realized with use of industrially let out means and can be made in laboratory and industrial conditions.

**Keywords:** device, measurement, density, loose body

В современном промышленном производстве и сельском хозяйстве широко применяются вещества в сыпучем состоянии, представляющие собой совокупность большого количества твердых частиц, пространство между которыми заполнено газом.

Производственный контроль плотности веществ, представляющих собой гетерогенную систему, состоящую из различных по физическим свойствам фаз, актуален для многих производств. Наиболее распространены гетерогенные системы, содержащие твердую и газовую фазы. К таким системам относятся, например, сыпучие, волокнистые и пористые материалы. Плотность любого материала, независимо от агрегатного состояния, одна из основных физических характеристик. Задача контроля плотности твердой фазы гетерогенных систем значительно сложнее задачи контроля плотности однородных сред [3].

Свойства и поведение сыпучих тел необходимо учитывать при осуществлении ряда механических процессов – измельчение, гранулирование, транспортировка и хранение. Пренебрежение или недоучет свойств сыпучих материалов приводит к нарушению технологического режима, ухудшению качества продукции, нарушению режимов работы оборудования. Поэтому необходимо помнить, что выпуск продукции высокого и стабильного качества зависит не только от использования современного технологического оборудования, но и от методов получения оперативной информации о составе и свойствах используемых веществ.

Для оценки сыпучих материалов используют ряд косвенных характеристик, свойственных сыпучим материалам как дисперсным. К числу таких характеристик, не связанных с определенной плотностью упаковки частиц, относятся уплотняемость,

текучесть, сыпучесть, слипаемость, углы естественного откоса и обрушения [2, 5]. Эти характеристики зависят одновременно от аутогезионных и фрикционных свойств, а также от плотности сыпучих материалов (рис. 1).

между его частицами остается воздух, который очень трудно удалить.

Так, известно устройство, содержащее емкость с контролируемым веществом, к верхней части которой присоединен цилиндр с поршнем и подключен измеритель

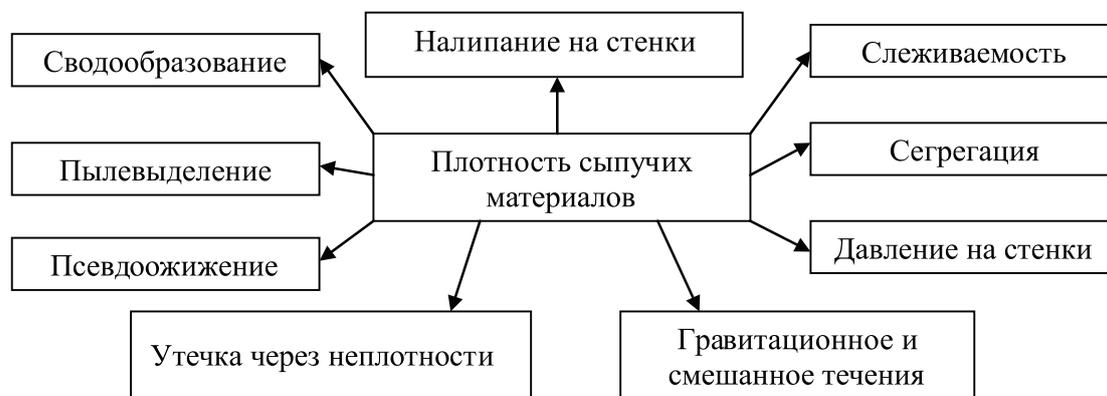


Рис. 1. Влияние плотности сыпучих материалов на различные технологические процессы

Таким образом, свойства сыпучих материалов характеризуются рядом показателей, из которых наиболее информативным и важным является плотность. Она зависит от влажности, величины частиц и соотношения различных фракций. Знание плотности необходимо при измерении теплофизических свойств сыпучих материалов различного назначения. Кроме того, плотность оказывает существенное влияние на различные технологические процессы [3, 6].

Измерение плотности твердых тел значительно сложнее, чем жидкостей, так как измерить объем тела, ограниченный поверхностью неправильной формы, трудно. Кроме того, на поверхности и в объеме твердого тела всегда имеются дефекты. Методы определения плотности твердых тел основываются чаще всего на погружении тела в жидкость с известной плотностью – воду или органический растворитель (этанол, гексан, тетрагидрофуран и др.) и расчете объема вытесненной исследуемым телом жидкости. Рабочая (пикнометрическая, или иммерсионная) жидкость не должна взаимодействовать с изучаемым веществом. Для получения точных результатов иммерсионная жидкость должна иметь большую плотность и хорошо смачивать поверхность вещества. При измерениях необходимо тщательное удаление пузырьков воздуха с поверхности образца. Хорошие результаты получаются в случае измерения плотности монокристаллов, имеющих правильную форму.

Твердые тела обычно менее однородны, чем жидкости. В случае сыпучего вещества

давления [4]. Недостатком данного устройства является сложность расчета плотности и использование уравнения состояния идеального газа.

Известно также авторское свидетельство СССР № 147018 «Устройство для определения истинной плотности дисперсных и пористых тел гелиевым методом», состоящее из сосуда для помещения навески, масляного дифференциального манометра, форвакуумного насоса, источника гелия с ловушкой примесей, бюретки с манометрической жидкостью и коммуникационных трубопроводов с кранами, причем одно колено масляного дифференциального манометра соединено с сосудом для размещения навески и сосудом, образующим дополнительный объем, а другое колено – с сосудами, образующими второй дополнительный и компенсирующий объемы. Суммарные объемы сосудов, присоединенных к левому и правому коленам дифференциального манометра, примерно равны. Недостатками этого устройства являются невысокая оперативность, жесткие требования к герметичности системы и точности воспроизведения состояний при последовательных измерениях.

**Целью работы** является разработка удобного в эксплуатации и обслуживании устройства для экспресс-измерений плотности сыпучих тел и усовершенствование устройств данного типа. Техническим результатом изобретения является повышение точности и обеспечение оперативности измерений.

Технический результат достигается тем, что устройство для измерения плотности

сыпучих тел, включающее два одинаковых по объему цилиндрических сосуда со встроенными подвижными поршнями, содержащих шкалы, один из которых служит для помещения исследуемой навески, и соединенные между собой подводными трубками в виде колен с установленной между ними контрольной трубкой, внизу которой размещен кран для выпуска жидкости из системы, при этом трубопровод, соединяющий между собой подводные и контрольную трубки, соединен гибким шлангом с компенсирующим сосудом.

При этом диаметры и длины подводных трубок одинаковы, а цилиндрические сосуды закрыты герметическими свинчивающимися крышками и снабжены кранами для сообщения с атмосферой.

Объем исследуемого тела определяется непосредственно методом сравнения с компенсирующим объемом в некотором диапазоне давлений в едином измерительном процессе.

На рис. 2 изображена схема устройства для измерения плотности сыпучих тел.

линдрические сосуды 1 и 2. Длины и диаметры подводных трубок 13 и 14 одинаковы, так что измерительная система состоит из двух одинаковых колен.

Принцип работы устройства заключается в следующем.

Откручивается крышка 4, и в сосуд 2 помещается исследуемое тело. Поршень 5 устанавливается так, чтобы объемы 1 и 2 были одинаковыми. Краны 7 и 8 открыты, в цилиндрических сосудах 1, 2 атмосферное давление. Сосуд 10 опускается до нулевого уровня и система заполняется жидкостью. Перемещением сосуда 10, в котором поддерживается атмосферное давление, устанавливается нулевой уровень жидкости в подводных трубках 13 и 14. Закрываются краны 7 и 8. Сосуд 10 перемещается вверх; при этом происходит сжатие газа в сосудах 1 и 2, и жидкость в трубках 13 и 14 поднимается на высоту  $H_1$  и  $H_2$  соответственно. Измерение повторяют, каждый раз уменьшая объем сосуда 1 перемещением поршня 5 вдоль мерной шкалы 15, и добиваются равенства высот  $H_1$  и  $H_2$  для любых

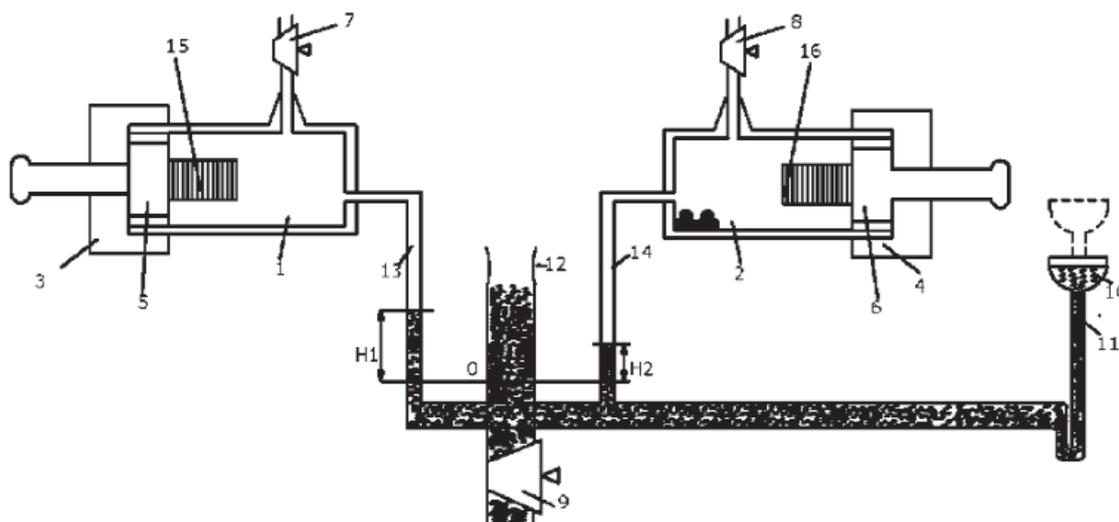


Рис. 2. Схема устройства для измерения плотности сыпучих тел

Устройство [1] состоит из имеющих одинаковые объемы цилиндрических сосудов 1 и 2, закрытых герметическими свинчивающимися крышками 3 и 4 со встроенными подвижными поршнями 5 и 6 и шкалами 15 и 16. Сосуды имеют краны 7 и 8 для сообщения с атмосферой. Кран 9 служит для выпуска жидкости из системы. Изменение уровня жидкости происходит при перемещении по вертикали сосуда 10, соединенного с системой гибким шлангом 11. Контрольная трубка 12 служит для предотвращения попадания жидкости в ци-

допустимых значениях давлений, создаваемых перемещением сосуда 10. Объем исследуемого тела  $V$  равен уменьшению объема в цилиндрическом сосуде 1 и определяется непосредственно по шкале 15.

Плотность вычисляется после определения массы  $m$  тела взвешиванием по формуле

$$\rho = m/V,$$

где  $m$  – масса тела, г;  $V$  – объем тела, см<sup>3</sup>.

Поршень 6 служит для предварительного точного уравнивания объемов, занимаемых газом в левой и правой ветвях устройства,

в случае необходимости (установление нуля). Для этого поршень 5 выставляется на ноль шкалы 15 и проводятся описанные выше измерения, без помещения в сосуд 2 измеряемого тела. Если уровни жидкости в подводящих трубках 13 и 14 при сжатии газа оказываются разными, их выравнивают перемещением поршня 6. В дальнейшем положение поршня 6 не изменяется. Его положение регистрируется по шкале 16.

Преимуществом устройства является то, что методом компенсации производится непосредственное определение объема без каких-либо вычислений. При этом не требуется знания атмосферного давления и уравнения состояния газа. Сравнение объемов производится в ходе одного измерения для различных давлений, что повышает точность и снижает влияние неизоэнтальпичности.

Заявляемое техническое решение реализовано с использованием промышленно выпускаемых средств и может быть изготовлено в лабораторных и промышленных условиях.

*Публикация подготовлена в рамках Программы развития деятельности студенческих объединений «Интеграция обучающихся в международное студенчество как инструмент повышения конкурентоспособности России в глобальном мире», реализуемой при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (за 2015 год).*

#### Список литературы

1. Гаврилов А.И., Тарасенко Н.А., Шапошникова Т.Л., Топчий А.Ю. Устройство для измерения плотности сыпучих тел // Заявка на патент на изобретение № 2015122600 от 10.06.2015 г.

2. Коновалова Е.В., Красина И.Б., Тарасенко Н.А., Бузунар А.Б., Никонович Ю.Н. Особенности функционально-технологических свойств пищевых волокон в мучных кондитерских изделиях // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2012. – № 5–6 (329–330). – С. 35–37.

3. Мордасов Д.М., Мордасов М.М. Технические измерения плотности сыпучих материалов: учебное пособие. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2004. – 80 с.

4. Мордасов М.М., Мордасов Д.М., Дмитриева А.Р. Способ измерения плотности // Патент № RU 2399904 от 20.09.2009. Бюл. № 26.

5. Никонович Ю.Н., Тарасенко Н.А. Пищевые волокна из растительного сырья и особенности их применения // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2014. – № 5–6. – С. 6–9.

6. Тарасенко Н.А. Использование пищевых волокон из семян эспарцета, в производстве вафельных крисп // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2014. – № 4. – С. 53–55.

#### References

1. Gavrilov A.I., Tarasenko N.A., Shaposhnikova T.L., Topchij A.Ju. Ustrojstvo dlja izmerenija plotnosti sypuchih tel // Zajavka na patent na izobrenenie no. 2015122600 от 10.06.2015g.

2. Konovalova E.V., Krasina I.B., Tarasenko N.A., Buznar A.B., Nikonovich Ju.N. Osobennosti funkcionalno-tehnologicheskikh svojstv pishhevyyh volokon v muchnyh konditerskih izdelijah // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Pishhevaja tehnologija. 2012. no. 5–6 (329–330). pp. 35–37.

3. Mordasov D.M., Mordasov M.M. Tehnicheskie izmerenija plotnosti sypuchih materialov: uchebnoe posobie. Tambov: Izd-vo TGTU. 2004. 80 p.

4. Mordasov M.M., Mordasov D.M., Dmitrieva A.R. Sposob izmerenija plotnosti // Patent no. RU 2399904 от 20.09.2009. Bjul. no. 26.

5. Nikonovich Ju.N., Tarasenko N.A. Pishhevye volokna iz rastitelnogo syrja i osobennosti ih primeneniya // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Pishhevaja tehnologija. 2014. no. 5–6. pp. 6–9.

6. Tarasenko N.A. Ispolzovanie pishhevyyh volokon iz semjan jesparceta, v proizvodstve vafelnyh krisp // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Pishhevaja tehnologija. 2014. no. 4. pp. 53–55.