

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ТЕРМОВОЛЮМОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА АНАЛИЗА ВЕЩЕСТВ

Д. М. Мордасов✉, П. А. Шерстеникин,
Н. А. Харитонов, Е. Б. Панченко

*Кафедра «Материалы и технология», mit@istu.ru,
ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия*

Ключевые слова: барботаж; газовое состояние; объем выделяющегося газа; повышение точности; термоволунометрия; термический анализ.

Аннотация: В результате проведенных исследований осуществлен анализ процессов, происходящих в термоволунометрической измерительной системе. Определены функции влияния объема измерительной емкости, степени ее заполнения исследуемым веществом, температуры жидкости в барботажной емкости и температуры в измерительной емкости на систематическую погрешность измерения объема выделяющегося газа, осуществлена оценка вклада каждой из них в общую погрешность. Показано, что наибольшее влияние на общую погрешность оказывает степень заполнения измерительной емкости исследуемым веществом. Получена зависимость, учитывающая влияние объема измерительной емкости, степени ее заполнения исследуемым веществом, температуры жидкости в барботажной емкости и температуры в измерительной емкости на результат измерений объема выделяющегося газа, позволяющая повысить точность термоволунометрического метода анализа веществ путем введения поправки в результат измерений.

Введение

Термический анализ является распространенным физико-химическим методом исследования. Термоаналитические методы применяют для исследования процессов, происходящих в веществах или многокомпонентных системах при термическом воздействии на них [1 – 3]. В большинстве случаев термическое воздействие на материал приводит к изменению его массы. Данный эффект положен в основу широко распространенных методов термогравиметрии [4].

Изменение массы образца при его нагреве происходит за счет протекания реакций дегидратации, дегидроксиляции, разложения веществ с выделением газообразных продуктов, приводящих к увеличению количества газовой фазы в реакционном пространстве. Термические методы анализа, основанные на определении объема выделяющихся газов, называют термоволунометрическими [1, 5 – 8]. В научной литературе можно встретить другие названия данного метода – метод определения объема выделившихся газов (**ОВГ**) или EGD (*англ.* Evolved Gas Detection).

Основным преимуществом термоволунометрических методов анализа является простота их реализации, оперативность получения измерительной информации, а также возможность анализа образцов, массы которых в десятки и сотни раз превышают рекомендованные значения для термогравиметрии. Применение об-

разцов большей массы особенно важно при исследовании смесей минералов, композитов сложного состава, выборе порошковых катализаторов для обеспечения представительности проб. Кроме того, особенности конструктивной реализации термоволюмометрических методов позволяют эффективно решать задачи исследования смесей, переходящих при нагревании в пену и значительно увеличивающихся в объеме.

Обнаружение и регистрация выделяющихся при нагреве веществ газов могут быть реализованы при помощи различных методик (измерения давления, создаваемого выделяющимися газами, измерения теплопроводности ячейки при прохождении через нее выделяющихся газов, подсчета пузырьков газа, выделяющихся из барботажной трубки, соединенной с измерительной емкостью и др.).

При реализации любой измерительной методики возникают погрешности, которые носят случайный или систематический характер. Повышение точности измерений возможно путем выявления, изучения источников систематической погрешности и введения поправок в результат измерений.

Цель работы – повышение точности термоволюмометрического метода анализа веществ на основе изучения влияния температуры на состояние реализующей его измерительной системы.

Материалы и методы исследований

При проведении экспериментальных исследований использовался пентагидрат сульфата меди (II) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, применяемый многими исследователями в качестве образцового вещества для демонстрации точности термических методов анализа [9 – 14].

На рисунке 1 показана термоволюмометрическая измерительная система. Измерительная емкость 1 с навеской исследуемого вещества 2 размещена в трубчатой печи 3, в стенку которой встроены термоэлектрический преобразователь 4. Выход преобразователя 4 соединен с цифровым показывающим прибором 5. Измерительная емкость 1 соединена через капилляр 6 с барботажной трубкой 7, размещенной в барботажной емкости 8, заполненной водой, в верхнюю крышку которой вмонтирован электромеханический преобразователь 9. Выход преобразователя 9 подключен к счетчику импульсов 10. Барботажная емкость 8 с целью поддержания в ней постоянной температуры помещена в термостатирующую емкость 11.

Построение экспериментальных кривых и анализ данных осуществлялся с применением программного пакета для автоматизированной обработки инженерных и исследовательских данных TableCurve 2D [15 – 17].

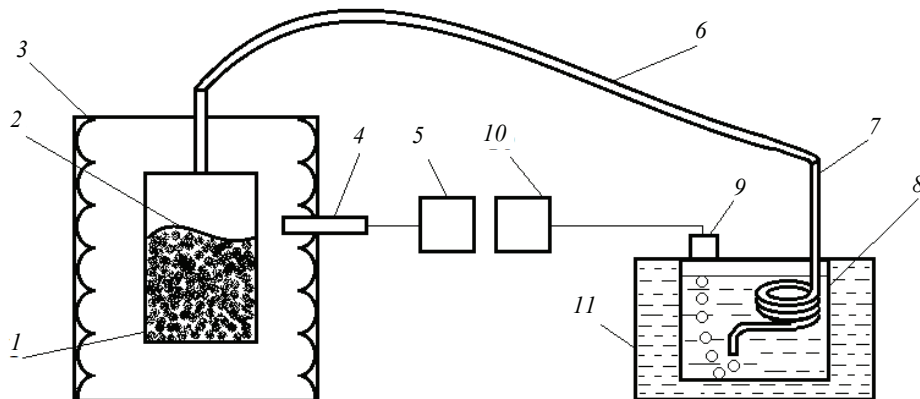


Рис. 1. Термоволюмометрическая измерительная система

Основные результаты и обсуждение

При реализации термоволнометрического метода на повторяемость воспроизводимость и точность измерений оказывают влияние факторы, присущие большинству методов термического анализа [1, 2]: скорость нагрева образца, его масса, размер частиц и насыпная плотность. Механизмы данного влияния описаны в научно-технической литературе [1, 2, 10].

Кроме указанных выше погрешностей, связанных с проведением измерений и пробоподготовкой, при использовании барботажного метода регистрации объема газа имеют место инструментальные источники погрешности. К ним относятся влияние объема газового пространства, незаполненного исследуемым материалом (свободное газовое пространство), и влияние температуры жидкости в барботажной емкости.

При нагревании измерительной емкости 1 с исследуемым веществом 2 избыточный объем газа, приводящий к появлению на выходе барботажной трубки 7 пузырька (пузырьков) объемом $V_{\text{п}}$, формируется из объема газа $\Delta V_{\text{м}}^T$, выделившегося при нагревании исследуемого вещества до температуры T , и изменения объема газа $\Delta V_{\text{г.п}}^T$ в свободном газовом пространстве при повышении температуры до T . В соответствии с законом Гей-Люссака

$$\frac{V_{\text{п}}}{\Delta V_{\text{м}}^T + \Delta V_{\text{г.п}}^T} = \frac{T_{\text{ж}}}{T},$$

откуда

$$\Delta V_{\text{м}}^T = \frac{V_{\text{п}} \cdot T}{T_{\text{ж}}} - \Delta V_{\text{г.п}}^T, \quad (1)$$

где $T_{\text{ж}}$ – температура жидкости в барботажной емкости.

При изменении температуры свободного газового пространства в измерительной емкости в изобарическом процессе состояние газа в ней подчиняется закону пропорциональной зависимости объема газа от абсолютной температуры:

$$\frac{V_{\text{г.п}}^0 + \Delta V_{\text{г.п}}^T}{V_{\text{г.п}}^0} = \frac{T}{T_0},$$

откуда

$$\Delta V_{\text{г.п}}^T = V_{\text{г.п}}^0 \left(\frac{T}{T_0} - 1 \right), \quad (2)$$

где $V_{\text{г.п}}^0$ – объем газа при начальной температуре T_0 .

После подстановки (2) в (1) получим

$$\Delta V_{\text{м}}^T = \frac{V_{\text{п}} T}{T_{\text{ж}}} - V_{\text{г.п}}^0 \left(\frac{T}{T_0} - 1 \right). \quad (3)$$

Приведем изменение объема газовой фазы, выделившейся из исследуемого образца, к температуре T_0 :

$$\frac{\Delta V_{\text{м}}^T}{\Delta V_{\text{м}}^0} = \frac{T}{T_0},$$

откуда

$$\Delta V_M^T = \Delta V_M^0 \frac{T}{T_0}, \quad (4)$$

где ΔV_M^0 – объем газа, выделившегося при нагреве исследуемого вещества, приведенный к температуре T_0 .

После подстановки (4) в (3), приняв $T_0 = T_{ж}$, получим

$$\Delta V_M^0 = V_{п} - V_{г.п}^0 \left(1 - \frac{T_{ж}}{T} \right) = V_{п} - \Delta_{абс},$$

где $\Delta_{абс} = V_{г.п}^0 \left(1 - \frac{T_{ж}}{T} \right)$ – абсолютная погрешность измерения объема газовой фазы, выделившейся из материала, вызванная влиянием свободного газового пространства в измерительной емкости, температуры жидкости в барботажной емкости, а также изменением состояния свободной газовой фазы при нагреве измерительной емкости.

Представим объем газовой фазы при начальной температуре в виде

$$V_{г.п}^0 = (1 - K)V_1, \quad (5)$$

где $K = \frac{V_B}{V_1}$ – степень заполнения измерительной емкости; V_1 , V_B – объемы измерительной емкости и исследуемого вещества соответственно.

С учетом (5) выражение для $\Delta_{абс}$ примет вид

$$\Delta_{абс} = (1 - K)V_1 \left(1 - \frac{T_{ж}}{T} \right). \quad (6)$$

На рисунке 2 представлены термоволюмограммы разложения пентагидрата сульфата меди (II) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, построенные по результатам, полученным непосредственно в ходе эксперимента ($V_{п}(T)$) и после введения поправки в эти результаты в соответствии с формулой (6) ($\Delta V_M^0(T)$).

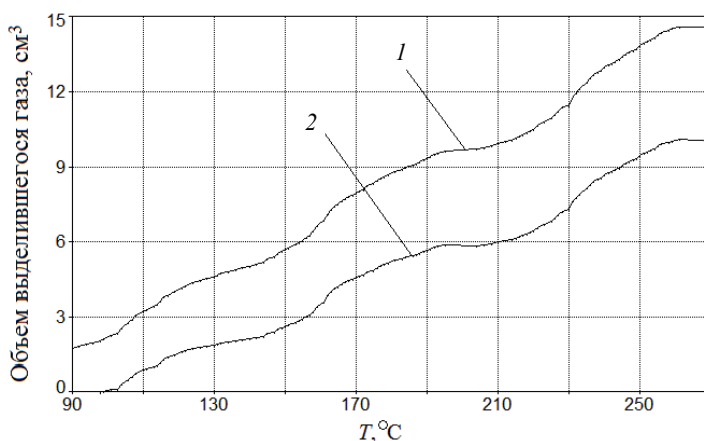


Рис. 2. Термоволюмограммы разложения пентагидрата сульфата меди (II):

$$1 - V_{п}(T); 2 - \Delta V_M^0(T)$$

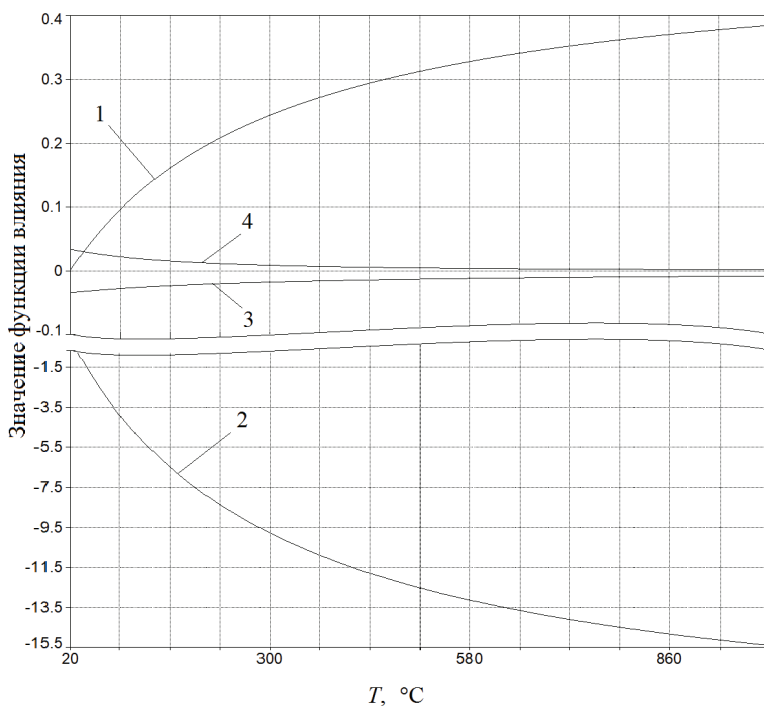


Рис. 3. Функции влияния:

$$1 - \frac{\partial \Delta_{\text{абс}}}{\partial V_1}; 2 - \frac{\partial \Delta_{\text{абс}}}{\partial K}; 3 - \frac{\partial \Delta_{\text{абс}}}{\partial T_{\text{ж}}}; 4 - \frac{\partial \Delta_{\text{абс}}}{\partial T}$$

Для анализа степени влияния величин, входящих в правую часть выражения (6), на $\Delta_{\text{абс}}$ найдем частные производные $\frac{\partial \Delta_{\text{абс}}}{\partial V_1} = (1 - K) \left(1 - \frac{T_{\text{ж}}}{T} \right)$;

$$\frac{\partial \Delta_{\text{абс}}}{\partial K} = V_1 \left(\frac{T_{\text{ж}}}{T} - 1 \right); \frac{\partial \Delta_{\text{абс}}}{\partial T_{\text{ж}}} = \frac{V_1}{T} (K - 1); \frac{\partial \Delta_{\text{абс}}}{\partial T} = V_1 \frac{T_{\text{ж}}}{T^2} (1 - K).$$

На рисунке 3 для $K = 0,5$ и $V_1 = 20 \text{ см}^3$ построены найденные выше функции влияния. Анализ значений функций показывает, что наибольшее влияние на величину $\Delta_{\text{абс}}$ оказывает степень заполнения измерительной емкости исследуемым веществом: ее вклад в общую погрешность составляет более 95 %. Заметное влияние температур T и $T_{\text{ж}}$, а также объема измерительной емкости наблюдается только на начальном этапе нагрева, где текущая температура соизмерима с температурой жидкости в барботажной емкости.

Заключение

В результате проведенных исследований выявлены источники систематической погрешности термоволюмометрического метода анализа веществ. Определены функции влияния объема измерительной емкости, степени ее заполнения исследуемым веществом, температуры жидкости в барботажной емкости и температуры в измерительной емкости на систематическую погрешность измерения объема выделяющегося газа, осуществлена оценка вклада каждой из них в общую погрешность. Наибольшее влияние на общую погрешность оказывает степень заполнения измерительной емкости исследуемым веществом. Получена зависимость, учитывающая влияние объема измерительной емкости, степени ее запол-

нения исследуемым веществом, температуры жидкости в барботажной емкости и температуры в измерительной емкости на результат измерений объема выделяющегося газа. Введение поправки в результат измерений на основе полученной зависимости позволит повысить точность термоволюмометрического метода анализа веществ. Кроме того, коррекция результата измерений объема выделившегося в ходе нагрева исследуемого вещества газа позволяет определить объем газа, приведенный к нормальным условиям, что значительно облегчает дальнейший анализ термоволюмограмм, позволяет определять потерю массы вещества и рассчитывать кинетические параметры протекающих реакций.

Список литературы

1. Уэндландт, У. Термические методы анализа / У. Уэндландт ; пер. с англ. под ред. В. А. Степанова, В. А. Берштейна. – М. : Мир, 1978. – 526 с.
2. Шестак, Я. Теория термического анализа: Физико-химические свойства твердых неорганических веществ / Я. Шестак. – М. : Мир, 1987. – 456 с.
3. Изучение кинетики топохимических процессов в неизотермическом режиме дериватографическим методом / Ю. А. Ферапонтов, С. Б. Путин, Л. Л. Ферапонтова, П. Ю. Путин // Вестник Тамб. гос. техн. ун-та. – 2009. – Т. 15, № 4. – С. 826 – 835.
4. Губайдуллина, А. М. Теоретические и прикладные аспекты применения методов термического анализа при изучении природных неорганических систем / А. М. Губайдуллина // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – № 8. – С. 250 – 256.
5. Новые данные о фазовой диаграмме системы метан-диоксид углерода (биогаз) / В. Г. Колобродов, А. А. Шейнина, Л. В. Карнацевич [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. – 2007. – № 4. – С. 44 – 48.
6. Ishikawa, T. Evolved Gas Detection of Iron Oxyhydroxides / T. Ishikawa, K. Inouye // Journal of Thermal Analysis. – 1976. – No. 10. – P. 399 – 410. doi: 10.1007/BF01909892
7. Moutushi, T. Investigation of reactions occurring in waste combustion ash using thermal analysis coupled with gas analysis and characterization / T. Moutushi, M. J. Castaldi // Waste Management & Research. – 2023. – Vol. 41, No. 4. – P. 871 – 880. doi: 10.1177/0734242X221134966
8. Эффект самоконсервации газовых гидратов: влияние вмещающей среды / А. С. Стопорев, А. А. Сизиков, Т. В. Чешкова [и др.] // Актуальные проблемы нефти и газа. – 2018. – № 3(22). – С. 1 – 6. doi: 10.29222/ipng.2078-5712.2018-22.art25
9. Шипунов, Б. П. Изменения энергетики процесса дегидратации кристаллогидрата сульфата меди как результат полевого воздействия / Б. П. Шипунов // Евразийский союз ученых. – 2016. – № 3-4(24). – С. 113 – 118.
10. Thermal Analysis and Decomposition Kinetics of the Dehydration of Copper Sulfate Pentahydrate / L. Cheng, W. Li, Y. Li, Y. Yang, Y. Li, Y. Cheng, D. Song // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2018. – No. 135(2). – P. 1 – 7. doi:10.1007/s10973-018-7595-y
11. El-Houte, S. Dehydration of $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ Studied by Conventional and Advanced Thermal Analysis Techniques / S. El-Houte, A. M. El-Sayed, O. T. Sørensen // Thermochemica Acta. – 1989. – Vol. 138, No. 1. – P. 107 – 114. doi: 10.1016/0040-6031(89)87245-4
12. Kaniewski, M. Thermal Stability of Systems Containing Ammonium Nitrate and Sulfate Salts: an Experimental Study / M. Kaniewski, M. Biegun, J. Hoffmann // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2023. – No. 148. – P. 1 – 14. doi: 10.1007/s10973-023-12328-5

13. Preetha, N. Optical and Thermophysical Properties of Copper Sulphate Pentahydrate Single Crystal for Transmission Ultra-Violet Filter and Optical Communication Applications / N. Preetha, S. Muthu, Dr. Thirupathy // *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. – 2023. – Vol. 34, No. 11. doi: 10.1007/s10854-023-10358-1

14. Лидин, Р. А. Химические свойства неорганических веществ / Р. А. Лидин, В. А. Молочко, Л. Л. Андреева. – М. : Химия, 2000. – 480 с.

15. Сытин, А. В. Применение программного пакета Table Curve 3D для аппроксимации теплофизических свойств неона при моделировании смазочных процессов в подшипниках скольжения / А. В. Сытин, В. О. Тюрин, Ф. А. Мамонтов // *Современные материалы, техника и технологии*. – 2015. – № 1(1). – С. 193 – 196.

16. Deliiski, N. Applying the Software Package Table Curve 2D for Computation of Processing Air Medium Temperature During Freezing in a Freezer and Defrosting of Logs / N. Deliiski, N. Tumbarkova, // *Innovation in Woodworking Industry and Engineering Design: International Conference Automatics and Informatics (Sofia, Bulgaria, October 4 – 6, 2017)*. – 2017. – Vol. 11. – P. 69 – 76.

17. Кузнецов, А. С. Компьютерное моделирование кинетики термоокисления эластомерного композита в программах Table Curve 2D/3D / А. С. Кузнецов // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2018. – № 3(69). – С. 42 – 45. doi: 10.23670/IRJ.2018.69.027

Improving the Accuracy of the Thermovolumetric Method of Substance Analysis

D. M. Mordasov✉, P. A. Sherstenikin, N. A. Kharitonov, E. B. Panchenko

*Department of Materials and Technology, mit@tstu.ru,
TSTU, Tambov, Russia*

Keywords: thermal analysis; thermovolumetry; bubbling; precision enhancement; volume of gas evolved; gas state.

Abstract: As a result of the conducted research, the analysis of the processes occurring in the thermovolumetric measuring system was carried out. The functions of the influence of the volume of the measuring container, the degree of its filling with the test substance, the temperature of the liquid in the bubble container and the temperature in the measuring container on the systematic error in measuring the volume of the evolved gas are determined, and the contribution of each of them to the total error is assessed. It was shown that the degree of filling of the measuring container with the substance being studied has the greatest influence on the total error. A dependence was obtained that takes into account the influence of the volume of the measuring container, the degree of its filling with the test substance, the temperature of the liquid in the bubble container and the temperature in the measuring container on the result of measuring the volume of the evolved gas, which makes it possible to increase the accuracy of the thermovolumetric method for analyzing substances by introducing a correction to the measurement result.

References

1. Wendlandt, W. W. *Thermal Methods of Analysis*, New York : Wiley, 2018, 505 p.
2. Shestak Ya. *Teoriya termicheskogo analiza: Fiziko-khimicheskiye svoystva tverdykh neorganicheskikh veshchestv* [Theory of thermal analysis: Physicochemical properties of solid inorganic substances], Moscow: Mir, 1987, 456 p. (In Russ.)

3. Ferapontov Yu.A., Putin S.B., Ferapontova L.L., Putin P.Yu. [Study of the kinetics of topochemical processes in a non-isothermal regime by the derivatographic method], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2009, vol. 15, no. 4, pp. 826-835. (In Russ., abstract in Eng.)
4. Gubaydullina A.M. [Theoretical and applied aspects of the application of thermal analysis methods in the study of natural inorganic systems], *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan Technological University], 2010, no. 8, pp. 250-256. (In Russ., abstract in Eng.)
5. Kolobrodov V.G., Sheynina A.A., Karnatsevich L.V. [et al.], [New data on the phase diagram of the methane-carbon dioxide (biogas) system] *Voprosy atomnoy nauki i tekhniki* [Issues of Atomic Science and Technology], 2007, no. 4, pp. 44-48. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Ishikawa T., Inouye K. Evolved Gas Detection of Iron Oxyhydroxides, *Journal of Thermal Analysis*, 1976, no. 10, pp. 399-410. doi: 10.1007/BF01909892
7. Moutushi T., Castaldi M.J. Investigation of reactions occurring in waste combustion ash using thermal analysis coupled with gas analysis and characterization, *Waste Management & Research*, 2023, vol. 41, no. 4, pp. 871-880. doi: 10.1177/0734242X221134966
8. Stoporev A.S., Sizikov A.A., Cheshkova T.V. [et al.], [The effect of self-preservation of gas hydrates: the influence of the host environment], *Aktual'nyye problemy nefiti i gaza* [Actual problems of oil and gas], 2018, no. 3(22), pp. 1-6. doi: 10.29222/ipng.2078-5712.2018-22.art25 (In Russ., abstract in Eng.)
9. Shipunov B.P. [Changes in the energy of the dehydration process of copper sulfate crystal hydrate as a result of field action], *Yevraziyskiy soyuz uchenykh* [Eurasian Union of Scientists], 2016, no. 3-4(24), pp. 113-118. (In Russ., abstract in Eng.)
10. Cheng L., Li W., Li Y., Yang Y., Li Y., Cheng Y., Song D. Thermal Analysis and Decomposition Kinetics of the Dehydration of Copper Sulfate Pentahydrate, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2018, no. 135(2), pp. 1-7. doi:10.1007/s10973-018-7595-y
11. El-Houte S., El-Sayed A.M., Sørensen O.T. Dehydration of $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ Studied by Conventional and Advanced Thermal Analysis Techniques, *Thermochimica Acta*, 1989, vol. 138, no. 1, pp. 107-114. doi: 10.1016/0040-6031(89)87245-44
12. Kaniewski M., Biegun M., Hoffmann J. Thermal Stability of Systems Containing Ammonium Nitrate and Sulfate Salts: an Experimental Study, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2023, no. 148, pp. 1-14. doi: 10.1007/s10973-023-12328-5
13. Preetha N., Muthu S., Thirupathy Dr. Optical and Thermophysical Properties of Copper Sulphate Pentahydrate Single Crystal for Transmission Ultra-Violet Filter and Optical Communication Applications, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 2023, vol. 34, no. 11. doi: 10.1007/s10854-023-10358-1
14. Lidin R.A., Molochko V.A., Andreyeva L.L. *Khimicheskiye svoystva neorganicheskikh veshchestv* [Chemical properties of inorganic substances], Moscow: Khimiya, 2000, 480 p. (In Russ.)
15. Sytin A.V., Tyurin V.O., Mamontov F.A. [Application of the TableCurve 3D software package for approximating the thermophysical properties of neon in modeling lubrication processes in plain bearings], *Sovremennyye materialy, tekhnika i tekhnologii* [Modern materials, engineering and technology], 2015, no. 1(1), pp. 193-196. (In Russ., abstract in Eng.)
16. Deliiski N., Tumbarkova N. Applying the Software Package Table Curve 2D for Computation of Processing Air Medium Temperature During Freezing in a Freezer and Defrosting of Logs, *Innovation in Woodworking Industry and Engineering Design: International Conference Automatics and Informatics* (Sofia, Bulgaria, October 4 – 6, 2017), 2017, vol. 11, pp. 69-76.

17. Kuznetsov A.S. [Computer modeling of the kinetics of thermal oxidation of an elastomer composite in Tablecurve2D/3D programs], *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Research Journal], 2018, no. 3(69), pp. 42-45. doi: 10.23670/IRJ.2018.69.027 (In Russ., abstract in Eng.)

Erhöhung der Genauigkeit der thermovolumetrischen Methode zur Analyse von Stoffen

Zusammenfassung: Als Ergebnis der durchgeführten Forschung ist eine Analyse der im thermovolumetrischen Messsystem ablaufenden Prozesse durchgeführt. Dabei sind die Einflussfunktionen des Volumens des Messbehälters, seines Füllungsgrades mit der zu untersuchenden Substanz und der Temperatur der Flüssigkeit im Sprudelbehälter und Temperatur im Messbehälter auf den systematischen Fehler bei der Messung des freigesetzten Gasvolumens ermittelt. Es hat sich gezeigt, dass der größte Einfluss auf den Gesamtfehler durch den Füllungsgrad des Messgefäßes mit der untersuchten Substanz ausgeübt wird. Es ist eine Abhängigkeit ermittelt, die den Einfluss des Volumens des Messbehälters, seines Füllungsgrades mit der zu untersuchenden Substanz, der Temperatur der Flüssigkeit im Blasenbehälter und der Temperatur im Messbehälter auf das Messergebnis des Volumens des freigesetzten Gases berücksichtigt, was es ermöglicht, die Genauigkeit der thermovolumetrischen Methode zur Analyse von Substanzen durch die Einführung einer Korrektur in das Messergebnis zu erhöhen.

Élévation de la précision de l'analyse thermovolumométrique des substances

Résumé: Les études menées ont permis d'analyser les processus qui se produisent dans le système de mesure thermovolumométrique. Sont déterminées les fonctions de l'influence du volume du récipient de mesure, du degré de remplissage de la substance à l'étude, de la température du liquide dans le récipient à bulles et de la température dans la cuve de mesure pour l'erreur systématique due à la mesure du volume de gaz émis, est évaluée la contribution de chacune d'elles dans l'erreur générale. Est démontré que l'effet le plus important sur l'erreur globale est le degré de remplissage de la cuve de mesure par la matière étudiée. On obtient une dépendance tenant compte de l'influence du volume de la capacité de mesure, du degré de remplissage de la substance à l'étude, de la température du liquide dans la cuve à bulles et de la température dans la cuve de mesure sur le résultat des mesures du volume de gaz émis, ce qui permet d'améliorer la précision de la méthode thermovolumométrique d'analyse des substances en introduisant une correction dans le résultat des mesures.

Авторы: *Мордасов Денис Михайлович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Материалы и технология»; *Шерстеникин Павел Александрович* – студент; *Харитонов Николай Александрович* – аспирант кафедры «Материалы и технология»; *Панченко Евгений Борисович* – ассистент кафедры «Материалы и технология», ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия.