

**ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ  
В ЛАБОРАТОРИЯХ**

УДК 681.562.42 + 681.123 + 621.928.8

**ПРИБОР–АНАЛИЗАТОР КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ  
МАГНИТОАКТИВНЫХ ЧАСТИЦ (ПРИМЕСЕЙ) СЫПУЧИХ СРЕД**

© 2025 г. А. А. Сандуляк, М. Н. Полисмакова, Д. А. Сандуляк,  
А. В. Сандуляк, В. А. Ершова, А. С. Харин

Поступила в редакцию 17.09.2024 г.

После доработки 06.11.2024 г.

Принята к публикации 16.12.2024 г

Для извлечения магнитоактивной фракции частиц из дисперсной среды (пищевой или технологической) при помощи сепараторов, описанных в работах [1–3], необходимо обладать сведениями о количественном содержании такого рода фракции [4, 5]. Такая информация наиболее достоверно может быть получена согласно новому, специально разработанному, опытно-расчетному методу операционного экстраполируемого выделения примесей [6, 7]. Концепцией этого метода предусматривается проведение пооперационного взвешивания выделяемых из пробы магнитоактивных частиц (вместо их аддитивного накопления) для получения зависимости массы выделенных примесей  $m$  от порядкового номера  $n$  операции, а с дальнейшим применением соответствующего математического аппарата – определение любой из операционных масс магнитоактивных частиц  $m$  (в том числе за пределами фактического эксперимента) и, как следствие, их суммарной массы  $\Sigma m$  в пробе.

На основе метода из работ [6, 7] создан прибор-анализатор (рис.1) операционно-цифрового контроля частиц (примесей), обеспечивающий возможность автоматического расчета операционных  $m$  и суммарной  $\Sigma m$  масс магнитоактивных частиц [8]. Прибор состоит из емкостей для подачи и приема анализируемой пробы среды, между которыми расположены четыре магнитоактивных блока (важно, что эти блоки должны быть идентичны друг другу). При прохождении пробы от подающей до приемной емкости в каждом из блоков

обеспечивается возможность поступательного (от блока к блоку) осаждения магнитоактивных примесей. Корпус прибора выполнен прозрачным, что позволяет визуально отслеживать интенсивность накопления выделяемых частиц в приборе в режиме реального времени управляя процессом. Габариты прибора таковы: длина – 500 мм, ширина – 300 мм, высота – 974 мм; индукция магнитного поля у поверхности блока и градиент – соответственно 180 мТл и 55 мТл/мм.

**Рис. 1.** Фото прибора-анализатора с четырьмя магнитоактивными блоками для контроля содержания магнитоактивных частиц в сыпучей среде.

После того как вся проба среды подверглась такому магнитному воздействию, производится вывод осажденных (на каждом блоке) примесей из магнитных блоков с последующим сбросом частиц на четыре лотка весов, т.е. под каждым из блоков. Показания массового содержания примесей на каждом блоке (операции  $n$ ) автоматически передаются на ПК, а при помощи специально разработанной программы для ЭВМ [9], которая основана на ранее упоминаемом методе полиоперационного магнитоконтроля, проводится расчет операционных и суммарной масс магнитоактивных примесей по формулам  $m = a \cdot e^{-kn}$ ,  $\sum m = a / (e^k - 1)$ , где  $a$  и  $k$  – эмпирические параметры (они являются для одной пробы среды константами, автоматически устанавливаемыми программой для ЭВМ).

Разработанный прибор прошел пробное тестирование: исследовались различные среды стекольной и керамической промышленности. О значимости контроля строительных сред свидетельствует тот факт, что нормируемые показатели содержания именно металломагнитной фракции примесей (железистых) фигурируют в самой маркировке той или иной среды. Например, для изготовления изделий высокой светопрозрачности используется песок первого сорта марки ВС-040-1, где “040” означает нормируемое содержание железистых примесей (не более 0.04%), а доломит с нормируемым содержанием железистых примесей не более 0.1% маркируется как ДК-19-0.10.

Результат пробного тестирования созданного прибора показал соответствие полученных данных разработанной методике (рис. 2) – эти данные хорошо описываются функциональной зависимостью экспоненциального типа, поскольку они квазилинеаризуются в полулогарифмических координатах (в соответствии с программой величина достоверности аппроксимации составляет 0.98 и 0.99 для зависимостей 1 и 2 соответственно). Согласно расчетной формуле по определению суммарных масс примесей, содержащихся в изучаемых образцах, установлены следующие значения данного показателя: 0.14 г/кг (0.014%) в песке и 0.062 г/кг (0.0062%) в доломите, что соответствует нормируемым значениям этих показателей.

**Рис. 2.** Зависимость массы выделяемых из проб кварцевого песка 1 и доломита 2 магнитоактивных частиц-примесей от номера операции магнитоконтроля (от порядкового номера блока), представленная в полулогарифмических координатах.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках Госзадания в сфере науки (проект FSFZ-2024-0005).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Xu J., Chen J., Ren X., Xiong T., Liu K., Song S.* // Sep. Sci. Technol. V. 57. № 3. P. 484. <https://doi.org/10.1080/01496395.2021.1900250>
2. *Zheng X., Sun Z., Wang Y., Lu D., Xue Z.* // Sep. Sci. Technol. 2020. V. 241. P. 116687. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.116687>
3. Долгополов О. А. // Стекло и керамика. 2005. № 5. С. 33.
4. ГОСТ 22551-2019. Песок кварцевый, молотые песчаник, кварцит и жильный кварц для стекольной промышленности. Технические условия.
5. ГОСТ 26754-2017. Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия.
6. *Сандуляк А.В., Пугачева М.Н., Сандуляк А.А., Ершова В.А.* РФ Патент 2409425, 2011.
7. ГОСТ Р 55575-2013. Продукты пищевые сыпучие. Определение содержания ферропримесей опытно-расчетным магнитным методом операционного экстраполируемого выделения.
8. *Сандуляк Д.А., Сандуляк А.А., Киселев Д.О., Сандуляк А.В.* РФ Патент 2752578, 2021.
9. *Сандуляк Д.А., Киселев Д.О., Сандуляк А.А., Сандуляк А.В., Полисмакова М.Н.* Программа ЭВМ для цифровой обработки операционных масс магнитно-восприимчивых частиц, выделяемых из текучей среды. Свидетельство № 2020665261, 2020.

Адрес для справок: Россия, 107996, Москва, ул. Стромынка, 20; МИРЭА – Российский технологический университет. E-mail: [d.sandulyak@mail.ru](mailto:d.sandulyak@mail.ru)

## ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

- Рис. 1.** Фото прибора-анализатора с четырьмя магнитоактивными блоками для контроля содержания магнитоактивных частиц в сыпучей среде.
- Рис. 2.** Зависимость массы выделяемых из проб кварцевого песка *1* и доломита *2* магнитоактивных частиц-примесей от номера операции магнитоконтроля (от порядкового номера блока), представленная в полулогарифмических координатах.



**Рис. 1**

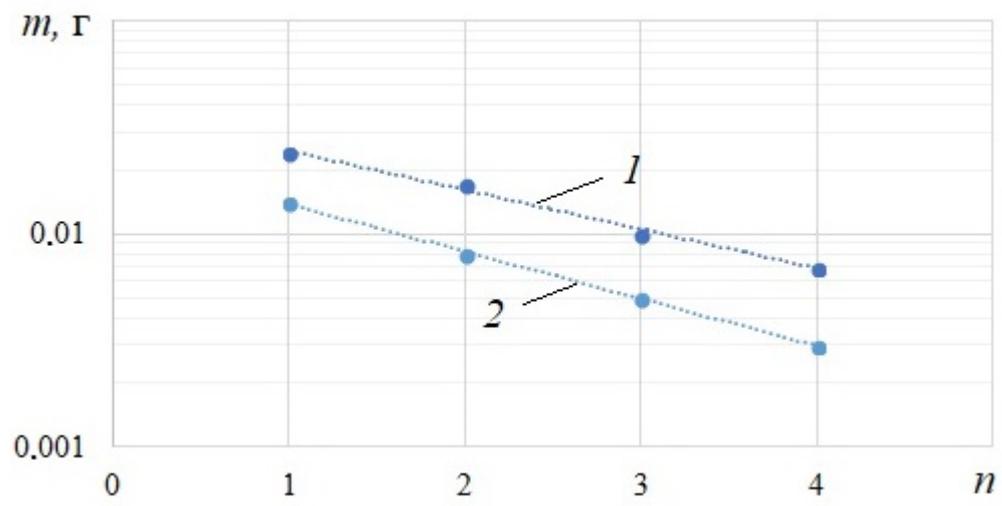


Рис. 2