

# ТЕХНІЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-7-83-26>

УДК 621.396.969

Лошицкий П.П., Устенко К.С.

Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

## ДИСТАНЦИОННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ СЫПУЧИХ ВЕЩЕСТВ В ЗАКРЫТЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЕМКОСТЯХ

**Аннотация.** Рассматриваются методика и измерительная установка для дистанционной идентификации сыпучих веществ, помещенных в закрытых диэлектрических емкостях (таре), препятствующей доступу к этим веществам для непосредственного измерения их параметров. Измерение параметров сыпучих веществ осуществляется косвенно через определение флуктуаций дифференциальной температуры дистиллированной воды (промежуточной среды), в которую погружены емкости с исследуемыми сыпучими веществами. Методика измерений основывается на флуктуационно-диссипативной теореме, где учитывается принцип (теорема) Онсагера, согласно которому как малое отклонение системы от термодинамического равновесия, вызванное внешней силой, так и флуктуации релаксируют к равновесию одинаковым образом. В качестве внешней силы, влияющей на среду (дистиллированную воду), используются тепловые излучения исследуемых сыпучих веществ.

**Ключевые слова:** коэффициент Фурье, дифференциальная температура, угол скоса, дисперсия, сыпучесть.

Loshitskiy Pavlo, Ustenko Kyrylo

National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

## REMOTE IDENTIFICATION OF BULK MATERIALS IN CLOSED DIELECTRIC VESSELS

**Summary.** A technique and a measuring device for the remote identification of bulk substances placed in closed dielectric containers (containers), which prevent access to these substances for direct measurement of their parameters, are considered. The measurement of the parameters of bulk solids is carried out indirectly by determining the fluctuations in the differential temperature of distilled water (intermediate medium), in which the containers with the bulk solids under study are immersed. The measurement technique is based on the fluctuation-dissipation theorem, which establishes a relationship between the spectrum of fluctuations of physical quantities in an equilibrium dissipative medium and the parameters characterizing the reaction of this medium to external influences. This takes into account Onsager's principle (theorem), according to which both a small deviation of the system from thermodynamic equilibrium caused by an external force and fluctuations relax to equilibrium in the same way. As an external force acting on the environment (distilled water), the thermal radiation of the investigated bulk substances is used. To increase the sensitivity (contrast) of the technique, "backlighting" is used – broadband noise radiation of non-thermal intensity. The obtained experimental values of differential temperature fluctuations for various bulk materials are difficult to compare directly due to small differences, therefore, the dispersion values and the Fourier transform coefficients for each of these values were determined. Comparison of the dispersion values and the Fourier transform coefficients makes it possible to visually distinguish both each of the bulk substances and mixtures of such substances. The identification of free-flowing substances is carried out by comparing the obtained data of the investigated substance with the data library for known substances ("standards"), obtained on one measuring device under the same conditions. The use of additional external "illumination" makes it possible to distinguish substances that have close physicochemical values of the parameters.

**Keywords:** Fourier coefficient, differential temperature, bevel angle, dispersion, flowability.

**Постановка проблемы.** В настоящее время большое внимание уделяется изучению неупорядоченных систем, то есть конденсированных макроскопических систем, в которых отсутствует дальний порядок в расположении частиц, но при этом ближний порядок может сохраняться. Поэтому неупорядоченные системы обладают свойством пространственной однородности в среднем и отсутствием корреляции между значениями величин, характеризующих неупорядоченность системы, в достаточно удаленных друг от друга точках, что приводит к самоусреднению удельных экстенсивных величин. К таким системам относятся практически все реальные материалы за исключением идеальных кристаллов [1].

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работах [2; 3] показана принципиальная возможность дистанционно идентифицировать различные жидкости, в том числе, взрывоопасные, находящиеся в закрытых диэлектрических емкостях (таре), методом измерения и обработки значений величин флуктуаций дифференциальной температуры промежуточной среды (дистиллированной воды), в которую помещается емкость с исследуемым раствором. В том случае, когда исследуемым объектом является жидкость в диэлектрической таре, то ее влияние на промежуточную среду определяется структурными волнами, проходящими через диэлектрическую преграду [4]. Поэтому представ-

ляет интерес выяснение возможности дистанционного определения и идентификации этим же методом различных сыпучих материалов, в том числе, и пищевых продуктов.

Известно, что любые материальные объекты окружены флуктуирующими электромагнитными полями, возникающими за счет тепловых и квантовых флуктуаций плотности тока внутри объекта. За счет существования неоднородных электромагнитных волн эти флуктуирующие поля сильно возрастают вблизи поверхности. Увеличение поля особенно велико в случае, когда на поверхности объекта имеются поверхностные моды типа колебательных мод адсорбентов, поверхностных плазмонов или поляронов. Тепловое излучение в этом случае может обладать пространственной и временной когерентностью. При уменьшении размеров объекта, особенно на наномасштабе роль флуктуаций значительно возрастает. Например, теоретически предсказано и экспериментально подтверждено, что радиационный поток тепла между телами с разной температурой в области ближнего поля возрастает во много миллионов раз по сравнению с величиной, определяемой законом Стефана – Больцмана [5].

При излучении электромагнитного излучения материальной средой возникает необходимость установить связь между свойствами частиц среды с угловым распределением рассеянного излучения, а так же с поглощением внешнего излучения частицами. Такие исследования сначала были выполнены в оптическом диапазоне длин волн, а затем перенесены, в том числе, и на радиодиапазон. Исходя из чисто размерных соображений, Рэлей получил приближенное решение для рассеяния излучения сферическими частицами, размеры которых малы по сравнению с длиной волны падающего на частицу излучения. Значительно позже была разработана общая теория поглощения и рассеяния излучения однородными частицами, имеющими простую геометрическую форму (Г. Ми). Результаты решения Ми полезны для определения коэффициентов поглощения и рассеяния сферических частиц, взвешенных в диэлектрической среде, при условии, что частицы достаточно удалены друг от друга. В настоящее время это единственная фундаментальная теория, хотя и разработанная для идеализированного случая [6].

В реальных условиях приходится рассматривать полидисперсные системы, содержащие частицы разных размеров, которые имеют сложную геометрическую форму и располагаются столь близко, что между ними возможна интерференция. Для объяснения свойств таких систем необходимо учитывать не только размеры частиц, но и наличие межфазовой поверхности, обуславливающей возможности разнообразных адсорбционных явлений, а также различных физико-химических реакций, которые могут протекать на поверхности частиц.

Сыпучие материалы различной дисперсности имеют ряд особенных физических свойств, например сыпучесть и передача тепла [7] и их тепловое излучение должно отличаться от теплового излучения жидких и сплошных твердых сред.

Сыпучесть – способность перемещаться по наклонным плоскостям. Все порошкообразные про-

дукты (мука, крупы, сахар-песок и др.) обладают хорошей сыпучестью. Сыпучесть характеризуют двумя показателями: углом трения и углом естественного откоса. Под углом трения понимают наименьший угол, при котором масса продукта начинает скользить по какой-либо поверхности. Под углом естественного откоса, или углом ската, понимают угол между диаметром основания и образующей конуса, получающегося при свободном падении части массы продукта на горизонтальную поверхность. На сыпучесть продукта влияет много факторов, в первую очередь форма, размер, характер и состояние поверхности единичных экземпляров продукта, а также его влажность и наличие примесей. Поэтому угол естественного откоса является обобщающим параметром характеризующего конкретное вещество в конкретных условиях окружающей среды [7].

Теплопередача в сыпучих материалах определяется комплексом тепловых процессов: радиационного, конвективного и внутренней теплопередачи.

**Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.** Для неупорядоченных систем в основном рассматриваются только их электрические, магнитные и оптические свойства соответствующими методами. Мы предлагаем совершенно новый метод, который был опробован на жидкостных веществах в качестве неупорядоченных систем. На основе данного метода и провели эксперименты для сыпучих веществ. Для увеличения чувствительности (контрастности) методики используется «подсветка» – широкополосное шумовое излучение нетепловой интенсивности.

**Цель** данной работы является исследование сыпучих материалов различной природы методом определения значений величин флуктуаций дифференциальной температуры промежуточной среды, в которую помещается закрытая диэлектрическая тара с исследуемым материалом, и определение возможности дистанционно различать эти материалы.

**Изложение основного материала исследования.** Из неупорядоченных материалов в работе были использованы дискретные среды, то есть механические системы, представляющие собой совокупность отдельных частиц, каждая из которых, взятая в отдельности, обладает всеми свойствами твердого тела. Дискретные среды занимают промежуточное положение между твердыми телами и жидкостями. Такие объекты называют сыпучими телами. Силы сцепления между отдельными частицами сыпучих систем отсутствуют вообще, либо очень малы [8]. В работе исследовались как материалы с одинаковым гранулометрическим составом, но различающимися малыми химическими добавками (соль пищевая и соль йодированная), так и материалы очень разного гранулометрического состава (сода пищевая и соль морская для ванн). Стандартные параметры исследуемых материалов приведены ниже.

1. Соль каменная поваренная пищевая. ГОСТ 13830-97 (хлорид натрия, NaCl).

Пищевой продукт, представляющий собой бесцветные кристаллы. Каменную соль добывают из недр открытым или шахтным методом.

Стандарт СТБ 1828-2008. Сорт 1. Помол № 1 Массовая доля NaCl, % не менее 98,40

Гранулометрический состав:

до 1,2 мм – не менее 85% свыше 2,5 мм – не более 3%.

2. Соль поваренная пищевая каменная йодированная.

Сорт 1. Помол № 1

Гранулометрический состав

до 1,2 мм – не менее 85% свыше 2,5 мм – не более 3%.

калий йодат (массовая доля йода)  $(40 \pm 15) \cdot 10^{-4} \%$ .

3. Соль для ванн натуральная морская.

Природная морская соль содержит в своем составе уникальный комплекс микроэлементов. Размер кристаллов 0,8–6 мм.

4. Сода пищевая. ГОСТ 2156-76 (натрий двууглекислый, бикарбонат натрия, гидрокарбонат натрия,  $\text{NaHCO}_3$ )

Бикарбонат натрия представляет собой кристаллический порошок белого цвета со средним размером кристаллов 0,05–0,20 мм. Молекулярная масса соединения равна 84,01, плотность составляет  $2200 \text{ кг/м}^3$ .

Известные сыпучие материалы исследовались с помощью измерительного комплекса, позволяющего дистанционно определять флуктуации дифференциальной температуры промежуточной среды (дистиллированной воды), в которую помещались емкости с исследуемым материалом и эталоном. В пробирки диаметром  $\varnothing = 16 \text{ мм}$ , заполненные дистиллированной водой, помещались пробирки  $\varnothing = 7.5 \text{ мм}$ , в одной из которых находилось исследуемое вещество, а другая – пустая и являлась эталоном.

Материалы помещались в емкость (пробирку) без дополнительного механического усилия (не трамбовались).

На рис. 1 приведена схема измерительного комплекса, подробно описанная в работах [2].

В каждую из одинаковых емкостей с дистиллированной водой (6) помещаются меньшая емкость (пробирка) (3,4) и термомпара (5). В емкости (3) находится исследуемый материал, а в емкости (4) эталон. Измерительный блок (1) представляет собой модернизированный пирометр Курнакова, соединенный с персональным компьютером. Комплекс позволяет регистрировать температуру с точностью  $0,03^\circ\text{C}$ .

Заданную абсолютную погрешность измерительный комплекс, имеющий 12-разрядный АЦП, при размере выборки в несколько тысяч данных, обеспечивает снятием информации с периодичностью 1-2 секунды. Измерительный комплекс, помещался в экранированный бокс, что позволяет за счет статистической обработки результатов измерений исключить случайные составляющие погрешности, в том числе выбором продолжительности и значений времени опроса данного канала, исходя из заданной погрешности в зависимости от уровня внешних помех [2]. Термомпары (медь – константан) имели микроспаи, которые создавались лазерной пайкой, площадь каждого микроспая  $S \approx 0,015 \text{ мм}^2$ .

Для увеличения значений флуктуаций дифференциальной температуры (контрастности) в измерительном комплексе используется широкополосный шумовой сигнал, генерируемый твердотельным генератором шума «Оратория – IV» с техническими характеристиками:

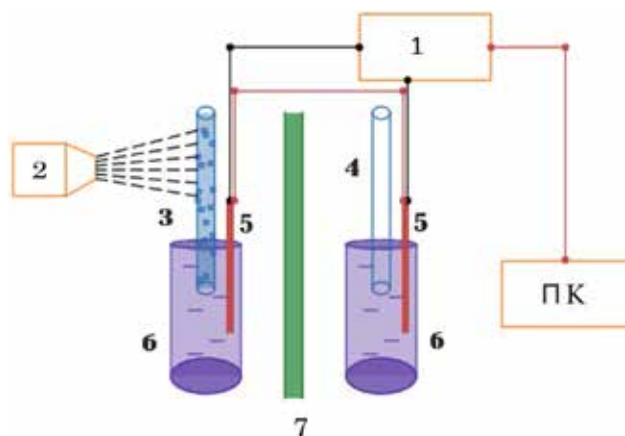


Рис. 1. Блок – схема измерительного комплекса:

ПК – персональный компьютер;

1 – измерительный дифференциальной

и простой термомпар; 2 – генератор шума;

3 – пробирка с исследуемым веществом;

4 – пробирка с эталоном; 5 – термомпары;

6 – пробирки с дистиллированной водой;

7 – разделительная перегородка

– рабочая полоса частот –  $56 \dots 68 \text{ ГГц}$ ;

– спектральная плотность мощности шума (СПМШ) –  $10^{-18} \text{ Вт/Гц}$ ;

– неравномерность СПМШ –  $\pm 1,5 \text{ дБ}$ ;

– интегральная мощность –  $10^{-10} \text{ Вт/см}^2$ .

Флуктуации дифференциальной температуры измерялись в течение 25 минут без воздействия на исследуемый образец внешнего шумового излучения, 25 минут при воздействии внешнего шумового излучения и 25 минут после внешнего шумового воздействия. Полученные значения флуктуаций дифференциальных температур визуально различать (идентифицировать) сложно из-за малых различий, поэтому определялись значения дисперсии, автокорреляции и коэффициентов преобразований Фурье для каждого из этих значений. При этом максимальная погрешность результатов не превышает 18%.

На рис. 2, в качестве примера, показаны коэффициенты преобразований Фурье флуктуаций дифференциальных температур промежуточной среды (дистиллированной воды) для соли каменной поваренной пищевой и пищевой соды. Из визуального сравнения спектров Фурье разложения можно легко идентифицировать исследуемые объекты.

Полученные экспериментальные значения флуктуаций дифференциальных температур для разных сыпучих веществ непосредственно сравнивать сложно из-за малых различий, поэтому определялись значения дисперсии и коэффициентов преобразований Фурье для каждого из этих значений. Сравнение значений дисперсий и коэффициентов преобразований Фурье позволяет визуально различать как каждое из сыпучих веществ, так и смеси таких веществ. Идентификация сыпучих веществ осуществляется сравнением полученных данных исследуемого вещества с библиотекой данных для известных веществ («эталон»), полученных на той же измерительной установке при таких же условиях.

На рис. 3 приведены гистограммы дисперсии (а) и относительной величины первых гармоник

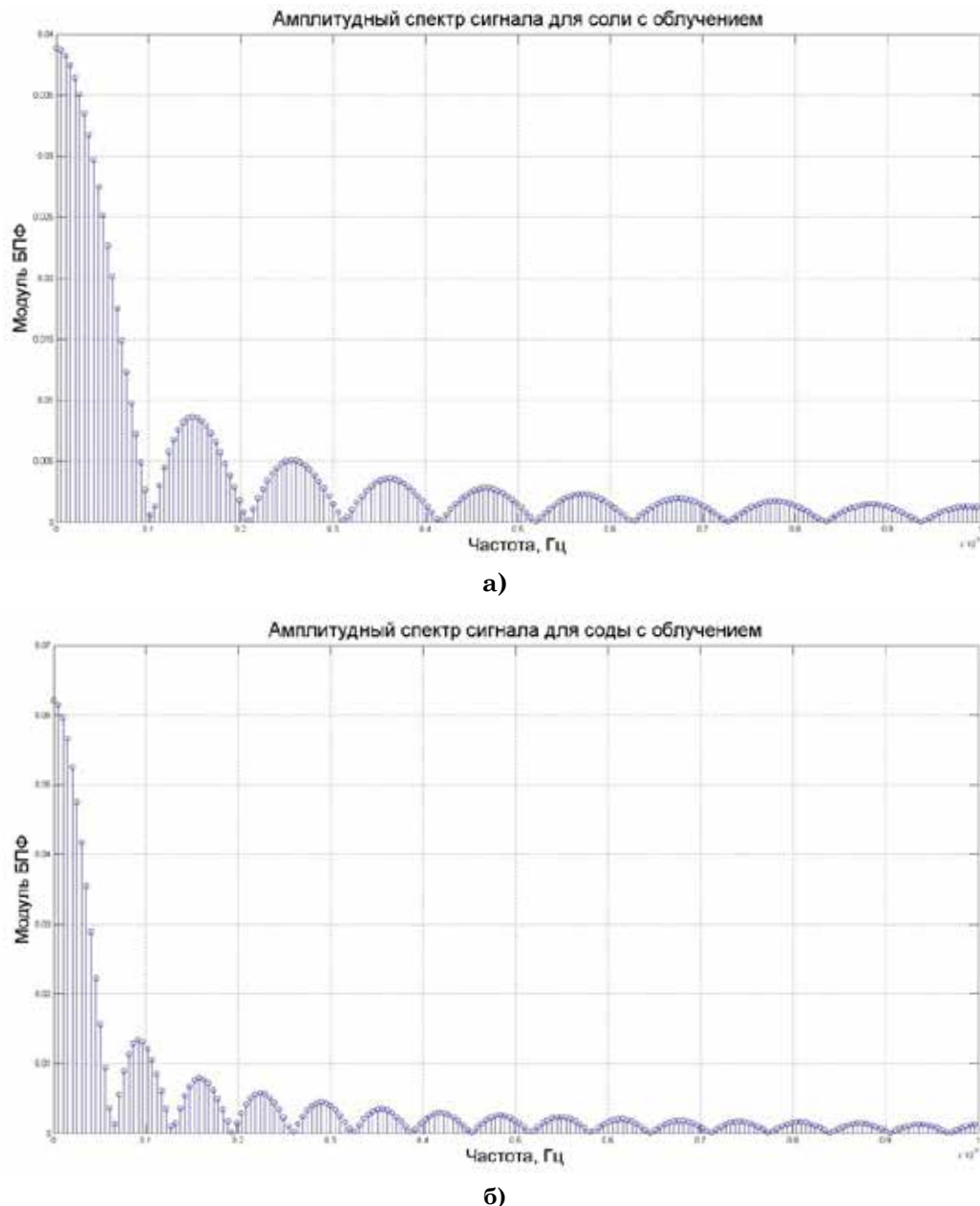


Рис. 2. Спектры Фурье разложения флуктуаций дифференциальных температур промежуточной среды: а – соль каменная поваренная пищевая; б – сода пищевая

спектров Фурье (б) флуктуаций дифференциальных температур промежуточной среды для исследуемых веществ: 1 – Соль поваренная пищевая каменная йодированная; 2 – Соль для ванн натуральная морская; 3 – Соль каменная поваренная пищевая; 4 – Сода пищевая.

Характерной особенностью сыпучих материалов является способность образовывать естественную насыпь в виде конуса. Угол, образованный поверхностью насыпи к горизонту, называется углом естественного откоса, который тем меньше, чем лучше сыпучесть материала. Учитывая, что угол естественного откоса является обобщающим параметром характеризующего конкретное вещество в конкретных условиях окружающей среды, то были определены эти углы исследуемых сыпучих материалов. На рис. 4 приведены фотографии конусов исследуемых материалов.

На рис. 5 приведена зависимость относительных величин первых гармоник разложения Фурье от угла естественного откоса. Видно, что изменение угла естественного откоса  $\varphi$  от  $34^\circ$  до  $38^\circ$  связано с изменением (увеличением в 7 раз) относительной величины первой гармоники.

Учитывая, что угол естественного откоса, измеряется с точностью не более  $\pm 1,5^\circ$ , то этот параметр не может быть использован для идентификации сыпучих веществ с относительно близкими физико-химическими параметрами.

Некоторые сыпучие материалы, сильно отличающиеся гранулометрическим составом, могут быть идентифицированы сравнительно легко, особенно при помощи дополнительной шумовой подсветки. Поэтому в работе проведены исследования смеси сыпучих материалов, которые отличаются по гранулометрическому составу, а именно, соли каменной пищевой и соды пищевой.

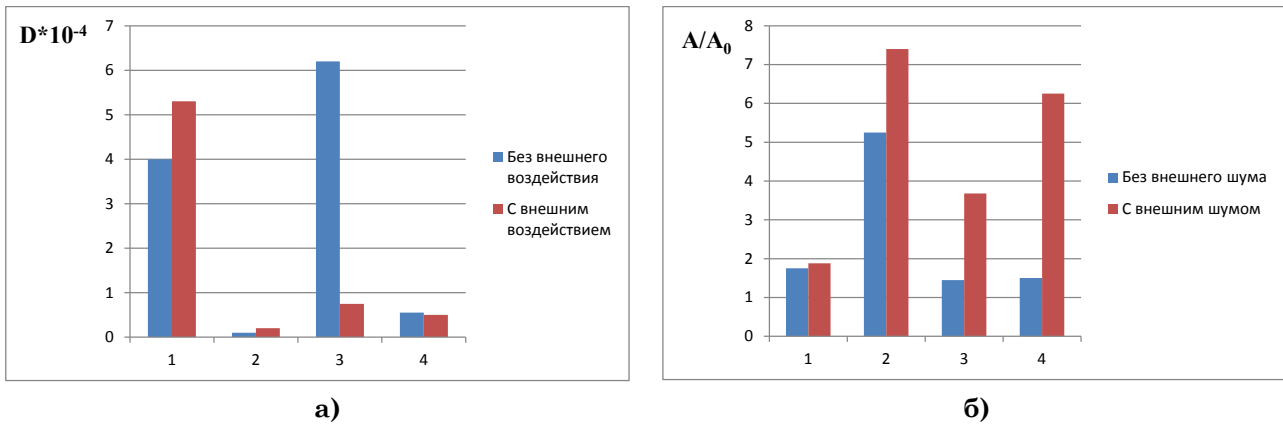


Рис. 3. Гистограммы дисперсии (а) и относительной величины первых гармоник спектров Фурье (б) флуктуаций дифференциальных температур промежуточной среды для исследуемых веществ. Гистограммы, окрашены в красный цвет – с внешним шумовым сигналом, гистограммы синим цветом – без внешнего воздействия

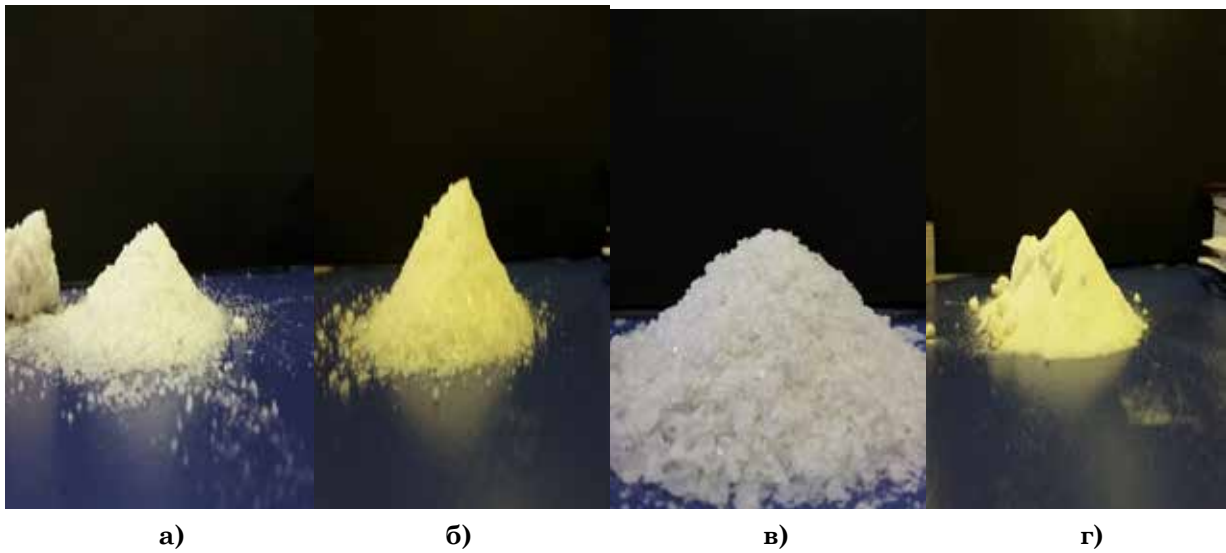


Рис. 4. Естественные насыпи а) – соль каменная поваренная пищевая; б) – соль поваренная пищевая каменная йодированная; в) – соль для ванн натуральная морская; г) – сода пищевая

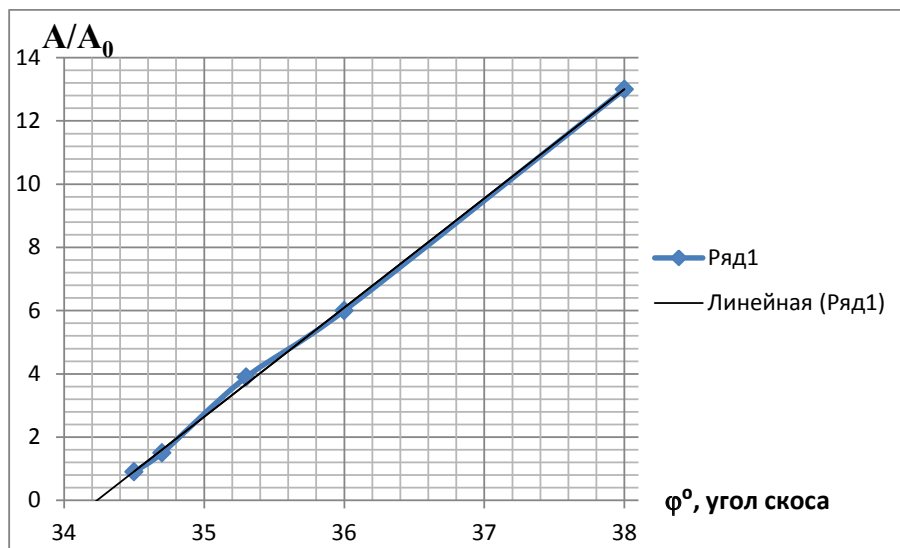


Рис. 5. Относительные величины первых гармоник разложения Фурье для флуктуаций дифференциальной температуры промежуточной среды от угла естественного откоса исследуемых материалов

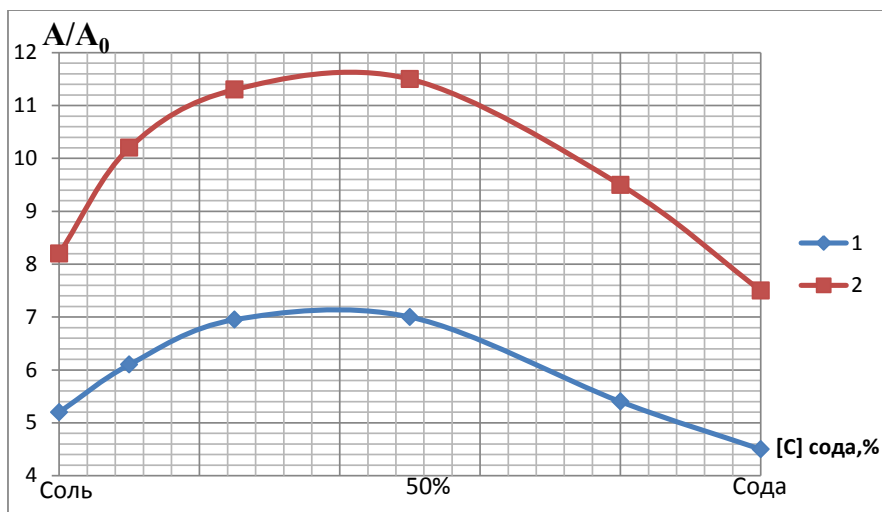


Рис. 6. Залежність відносних величин перших гармонік спектрів Фур'є флюктуацій диференціальної температури проміжочкової середовища від об'ємного вмісту солі та соди в суміші сыпучих речовин. 1 – без зовнішнього впливу; 2 – з зовнішнім впливом

На рис. 6 показані залежності відносних величин перших гармонік спектрів Фур'є флюктуацій диференціальних температур проміжочкової середовища від процентного вмісту суміші сыпучих речовин з впливом на суміш зовнішнього шумового сигналу та без нього.

На рис. 7 приведена залежність дисперсії флюктуацій диференціальної температури проміжочкової середовища від процентного вмісту солі та соди в суміші сыпучих речовин при наявності зовнішнього шумового впливу.

**Висновки з даного дослідження.** Отримані експериментальні результати визначаються флюктуаціями проміжочкової середовища, в яку поміщаються досліджувані речовини в діелектричній тарі. Самі флюктуації залежать, в тому числі, і від характерних теплових випромінювань, властивих конкретному сыпучему речовині. Тому на флюктуації проміжочкової середовища повинні впливати (через теплове випромінювання) гранулометричний склад речовини,

відстані між частинками, щільність упаковки та інші властивості дисперсної середовища, а крім того і електрофізичні властивості його речовини. В тому випадку, коли досліджувані речовини значущо відрізняються за своїми параметрами, то їх можна ідентифікувати без застосування підсвітки. Але якщо параметри мало відрізняються одне від одного, то необхідно збільшити величини флюктуацій проміжочкової середовища. Ураховуючи, що для збільшення флюктуацій (контрастності) використовується зовнішнє шумове випромінювання (підсвітка), яке взаємодіє з досліджуваною речовиною. При цьому розпорядок речовини (дисперсія) при використанні підсвітки може як збільшуватися, що видно на рис. 3 а для солі кухонної солі йодированной, так і зменшуватися – для решти речовин. Амплітуда гармонік спектра Фур'є для всіх речовин при зовнішньому впливі тільки збільшується. Дисперсність речовини визначає, наскільки амплітуда збільшується. При мінімальному розмірі частинок речовини та їх однорідності (сода харчова) це збільшення максимальне, а при великих частинках з великим розкидом за розмірами – збільшення амплітуди гармонік при зовнішньому впливі зменшується.

Для суміші сыпучих речовин з різними розмірами частинок існують такі пропорції цих частинок, при яких їх взаємодія впливає значущо більше на флюктуації проміжочкової середовища і відповідно на амплітуду гармонік спектрів Фур'є, ніж для однорідних сыпучих матеріалів (рис. 5). З іншої сторони, можна вибрати пропорції компонентів суміші з частинок різних розмірів, при яких розпорядок речовини буде максимальним (рис. 6).

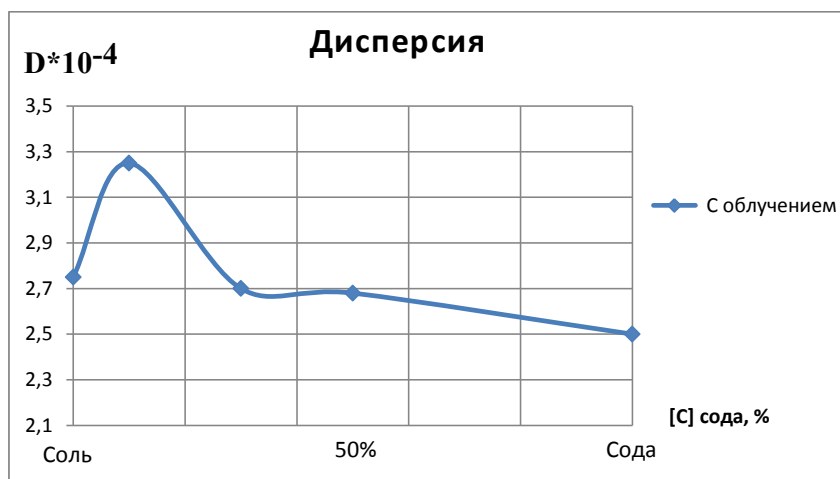


Рис. 7. Залежність дисперсії від процентного вмісту солі та соди в суміші сыпучих речовин при наявності зовнішнього шумового впливу

1. Показано, что методика дистанционной идентификации различных веществ, основанная на измерениях флуктуаций дифференциальной температуры промежуточной среды (дистиллированной воды), в которую помещены исследуемый образец и эталон, находящиеся в одинаковой диэлектрической таре, может быть использована для сыпучих веществ. Использование дополнительной внешней «подсветки» позволяет различать вещества, имеющие близкие физико-химические значения параметров. Идентификация осуществляется сравнением параметров исследуемого образца с библиотекой «портретов» известных веществ, измеренных при одинаковых условиях.

2. Непосредственное сравнение параметров флуктуаций дифференциальной температуры для различных исследуемых веществ затруд-

нено, поэтому сравнение и идентификация осуществляется по значениям дисперсии или по спектрам Фурье разложения этих флуктуаций.

3. Показано, что использования для дистанционной идентификации сыпучих веществ углов естественного откоса проблематично, из-за того, что эти углы могут быть измерены с точностью не более  $\pm 1,5^\circ$ , а для большинства самых различных веществ значения углов естественного откоса находятся в диапазоне  $33...39^\circ$ . Таким образом по углам естественного откоса можно различать только вещества, предельно большие различия по гранулометрическому и химическому составу.

4. Показана возможность различать не только однородные сыпучие вещества, но и смеси таких веществ. При этом сравнение проводится по дисперсии и по спектрам Фурье одновременно.

### Список литературы:

1. Лифшиц И.М., Градескул С.А., Пастур Л.А. Введение в теорию неупорядоченных систем : монография. Москва, 1982. С. 360.
2. Лошицкий П.П., Мамаев В.Н. Дослідження змін властивостей води і водних розчинів хлориду натрію при дії ВВЧ-випромінювання нетеплової інтенсивності. *Медична інформатика та інженерія*. 2008. № 1. С. 53–60.
3. Лошицкий П.П., Устенко К.С. Дистанционная идентификация жидкостей в закрытых диэлектрических емкостях. *Modern engineering and innovative technologies*. 2020. Выпуск № 12–03. С. 15–24. URL: <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit12-03/meit12-03>
4. Уоттерсон Д.Г. Роль воды в функции клетки. *Биофизика*. 1991. Т. 36. Выпуск 1. С. 5–30.
5. Волокитин А.И. Тепловое излучение на наноуровне. Теория и приложения : монография. Самара, 2009. С. 240.
6. Шарков Е.А. Радиотепловое дистанционное зондирование Земли: физические основы : в 2 т. Москва, 2014. Т. 1. С. 438–477.
7. ОФС 1.4.2.0016.15. Степень сыпучести порошков. Москва, 2020.
8. Горбачев К.П., Краснов Е.Г., Субботницкий В.В. Основы механики деформируемого твердого тела. Владивосток, 1998. С. 26.

### References:

1. Lifshits, I.M., Gradeskul, S.A., & Pastur, L.A. (1982). Vvedenie v teoriyu neuporyadochennyih sistem [Introduction to the theory of disordered systems]. Moscow. (in Russian)
2. Loshitskiy, P.P., & Mamaev, V.N. (2008). Doslidzhennya zmin vlastivostey vodi i vodnih rozchiniv hloridu natriyu pri diyi VVCh-viprominyuvannya neteplovoyi intensivnosti [Investigation of changes in the properties of water and aqueous solutions of sodium chloride under the action of UHF radiation of non-thermal intensity]. *Medichna Informatika ta Inzheneriya*, vol. 1, pp. 53–60.
3. Loshitskiy, P.P., & Ustenko, K.S. (2020). Distantcionnaya identifikatsiya zhidkostey v zakrytyih dielektricheskikh emkostyah [Remote identification of liquids in closed dielectric containers]. *Modern engineering and innovative technologies*, vol. 12–03, pp. 15–24. URL: <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit12-03/meit12-03>
4. Uotterson, D.G. (1991). Rol vodyi v funktsii kletki [Role of water in cell function]. *Biofizika*. T. 36, vol. 1, pp. 5–30.
5. Volokitin, A.I. (2009). Teplovoe izluchenie na nanourovne. Teoriya i prilozheniya: monografiya [Thermal radiation at the nanoscale]. Samara. (in Russian)
6. Sharkov, E.A. (2014). Radioteplovoe distantsionnoe zondirovanie Zemli: fizicheskie osnovyi [Thermal radio remote sensing of the Earth: physical foundations]. Moscow, T. 1, pp. 438–477. (in Russian)
7. OFS 1.4.2.0016.15. Stepen syipuchesti poroshkov [The degree of flowability of powders]. Moscow, 2020. (in Russian)
8. Gorbachev, K.P., Krasnov, E.G., & Subbotnitskiy, V.V. (1998). Osnovy mehaniki deformiruемого tverdogo tela [Fundamentals of Solid Mechanics]. Vladivostok. (in Russian)