

Поточное измерение плотности хлебных полуфабрикатов при выпечке хлеба с использованием закваски и опары

Антон Владимирович Соболев

Исследователь
ООО «Свеба Дален Рус»
Россия, Москва
Sobolev@sveba-dahlen.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Игорь Николаевич Москалев

Доктор физико-математических наук
ООО «ГЛОБУС»
Белгород, Россия
igor.moskalev.2015@mail.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Александр Вячеславович Семенов

Доктор экономических наук
Московский университет им. С.Ю. Витте
Москва, Россия
Semenov@muiv.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Юрий Александрович Горбунов

Директор
ООО «ГЛОБУС»
Белгород, Россия
Gorbunov@irga.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Рамазан Магомедшапиевич Нажмудинов

Кандидат физико-математических наук
ООО «ГЛОБУС»
Белгород, Россия
Nazhmudinov@irga.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Максим Андреевич Величко

Кандидат физико-математических наук
ООО «ГЛОБУС»
Белгород, Россия
Velichko@irga.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Поступила в редакцию 07.02.2024

Принята 24.03.2024

Опубликована 15.04.2024

УДК 664.66.047.3

EDN UENLLE

BAK 4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ (технические науки)

OECD 02.11.JY FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY

Аннотация

При выпечке хлеба и хлеба булочных изделий с использованием опары и закваски важным моментом технологии является обеспечение точной дозировки всех компонентов. Поэтому для дозировки жидких опар и заквасок используют, как правило, весовой способ измерения их массы. Однако, весовой способ приводит к большим погрешностям за счёт большого веса самой дежи. Существует и более простой способ определения массы опары с помощью измерения расхода при перекачке её объёмно-поршневыми насосами. Однако, поскольку в процессе перекачки закваски и особенно опары происходит активное образование газа CO_2 , то плотность перекачиваемой опары постоянно меняется. И это обстоятельство является принципиальным и не позволяет использовать указанный способ как приводящий к неприемлемым погрешностям. В работе описывается метод определения плотности текущей опары с помощью измерения её диэлектрической проницаемости. В качестве датчика плотности используется цилиндрический СВЧ резонатор, по центру которого протекает опара. Информационным параметром является частота резонатора, которая меняется прямо пропорционально плотности опары. Описано экспериментальное определение плотности опары, проводимое одновременно двумя методами – весовым и с помощью СВЧ резонатора. Найдено, что они с хорошей точностью совпадают. Это открывает путь к созданию тестомесильной машины, оснащённой техникой точного измерения плотности текущей опары. При этом исключается процедура взвешивания, что ведёт к упрощению всего технологического процесса подготовки теста к выпечке и сокращению её трудоёмкости.

Ключевые слова

хлеб, опара и закваска, точная дозировка, весовой метод, переменная плотность, СВЧ резонатор, измерение собственной частоты, упрощение технологии.

Введение

Как известно, вкусный, полезный, свежий хлеб, к тому же обладающий низкой себестоимостью, получают с помощью использования опары и закваски (Пащенко, 2006). При этом помимо очевидных преимуществ органолептики получаем увеличение свежести хлеба, а значит увеличиваем плечо доставки и срок хранения на полке. Высокое качество закваски и опары обеспечивается в основном сравнительно высоким содержанием воды. В этом случае в процессе ферментации быстрее происходят физические и биохимические процессы, активнее работают ферменты. И мировой и российский опыт показал, что наиболее эффективный способ приготовления опары и закваски происходит при ТА более 200 (на 100 кг муки 100 и более литров воды, в условиях контролируемого перемешивания и контроля температуры).

Вода ускоряет и улучшает физико-химические процессы в жидких компонентах теста (в английской терминологии *predough*). Чем дольше длится процесс (до 24 и даже до 36 часов при пониженных температурах), тем ярче вкус и аромат. Важное преимущество такого технологического приема – увеличение свежести готового продукта – хлеба и его выхода. Это уже экономика, логистика и маркетинг.

Дополнительный плюс – опару и закваску в жидкой фазе можно перекачивать специализированными насосами. Это уже техническое преимущество. Однако здесь есть одна проблема. В процессе производства закваски и особенно опары происходит активное газообразование – выделение CO_2 . Поэтому плотность жидких полуфабрикатов (*predough*) для производства готового теста постоянно изменяется в процессе ферментации.

Основная трудность дозирования этих жидких компонентов связана именно с необходимостью обеспечения их точной дозировки. Поэтому для дозирования жидких опар и заквасок используется в основном весовой способ дозирования.

Насос подает жидкость в дежу на тензометрической платформе или промежуточный бункер. Таким образом обеспечивается необходимая точность рецептуры, но требуется вспомогательное весоизмерительное оборудование.

При этом необходимо учитывать, что взвешивание всей дежи снижает точность, за счет большой величины погрешности, так как требуется взвешивать всю дежу. Если поставить на тензометрию всю машину и после дозирования начать замес, тензодатчики быстро выйдут из строя. Значит, нужно катать дежу на специальную дозировочную станцию. Но и использовать дополнительную емкость тоже весьма неудобно с точки зрения и стоимости, и габаритов, и вопросов гигиены.

До сегодняшнего дня не было решения, которое позволяло обеспечить подачу жидких компонентов теста с переменной плотностью непосредственно в дежу минуя стадию взвешивания. Ниже приводится техническое решение, позволяющее контролировать плотность хлебной опары. Это позволяет обойтись без процесса взвешивания и тем самым упростить и удешевить процесс приготовления теста на жидких опарах.

Материалы и методы исследования

Основная идея измерения плотности жидкой опары была подсказана работами, относящимися к созданию многофазного расходомера (МФР), определяющему компонентные расходы продуктов добычи нефтяных или газоконденсатных скважин – газа, углеводородного конденсата (или нефти) и воды (Москалев, 2019; Москалев, 2020). При этом газоконденсатная смесь пропускается через специальный цилиндрический объем, в котором возбуждаются электромагнитные колебания на сверхвысоких частотах. Выбирается какой-либо тип колебаний резонатора (обычно один из низших) и далее наблюдается реакция этого типа колебания на введение газожидкостной смеси в резонатор. В случае отсутствия смеси мы наблюдаем резонансный пик на частоте f_0 , при этом ширина этого пика на середине высоты (так называемая «полуширина») составляет величину ΔF_0 . При введении такой смеси в СВЧ резонатор из-за снижения скорости распространения электромагнитной волны в смеси, резонансная частота снижается: $f_0 \rightarrow f_1$, а из-за неизбежных потерь на нагревание полуширина ΔF возрастает: $\Delta F_0 \rightarrow \Delta F$ (рис. 1).

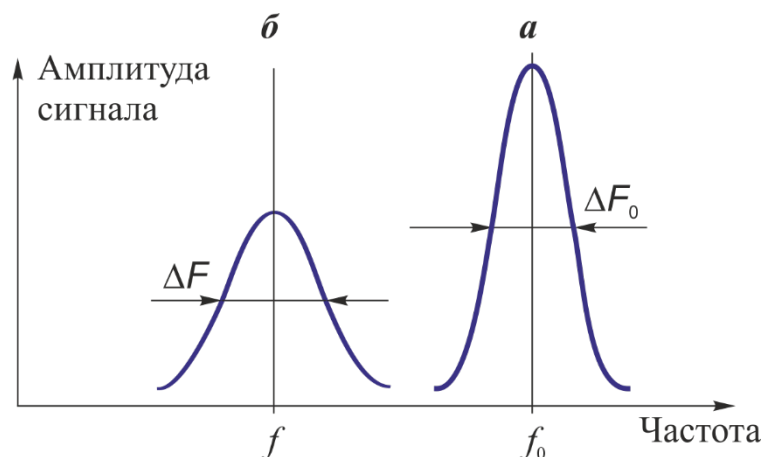


Рисунок 1. Динамика резонансной кривой СВЧ резонатора при введении в него какого-либо диэлектрика, например, газожидкостного потока

Первый из этих эффектов пропорционален в основном действительной части диэлектрической проницаемости введенного диэлектрика ϵ' , а второй – в основном – его мнимой части ϵ'' .

Чтобы не загромождать текст, мы не будем приводить здесь громоздких выражений для величин изменения сдвига частоты $\Delta f = f_0 - f$ и изменения полуширины $\Delta F = \Delta F - \Delta F_0$ как функций величин ϵ' и

ε'' , тем более что сами ε' и ε'' , описывая композитный диэлектрик – газожидкостную смесь через диэлектрические проницаемости ее составляющих – газа, УВ конденсата и воды, имеют также сложную структуру (Тареев, 1982), отсылая интересующихся к соответствующим работам (Москалев, 2013). Заметим лишь, что оба эти эффекта пропорциональны числу молекул диэлектрика в единице объема, то есть его плотности и самому этому объему.

Результаты и обсуждение

С целью изучения возможности непрерывного определения плотности жидкой хлебной опары был проведен следующий «натурный» эксперимент.

В объемный СВЧ резонатор, диаметром 200 мм и высотой 50 мм, имеющий в центре проходное отверстие \varnothing 50 мм, была вставлена радиопрозрачная трубка (далее – контейнер) с внутренним диаметром \varnothing 30, имитирующая «опаропровод», которая заполнялась жидкой опарой (рисунок 2).

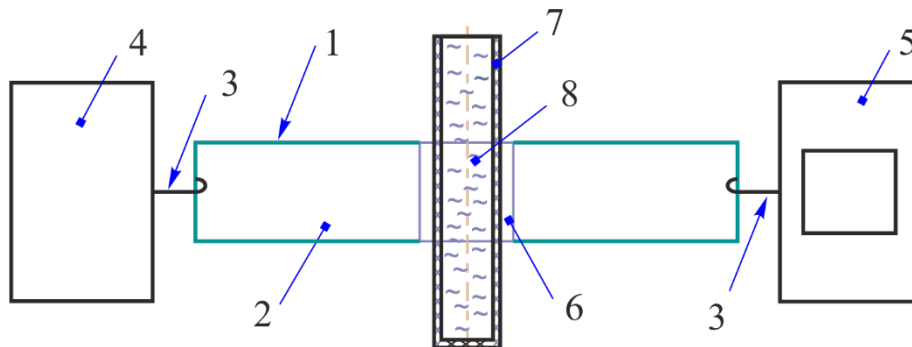


Рисунок 2. Схема эксперимента: 1 – корпус СВЧ резонатора; 2 – объем резонатора; 3 – элементы связи резонатора с генератором 4 и приемником 5; 4 – генератор частоты, меняющейся по пилообразному закону; 5 – анализатор спектра Arinst SSA-TGR2; 6 – проходное отверстие; 7 – тefлоновая трубка, имитирующая опаропровод; 8 – опара

Резонатор возбуждается на низшем типе колебаний – моде E_{010} . Электрическое поле в области отверстия можно считать постоянным, так что сдвиг частоты резонатора не зависит от того, на каком расстоянии от оси будет проходить «двухфазный поток опары», состоящий из собственно опары и пузырей углекислого газа.

Как показала практика, для решения задачи определения плотности достаточно измерения только одного параметра – сдвига частоты резонатора либо увеличения полуширины. Далее мы приводим данные, связанные только с изменением резонансной частоты резонатора.

Наблюдалось смещение собственной частоты резонатора: в отсутствие опары она составляет $f_p^0 = 810$ МГц, при заполнении ее опарой частота понижается $f_p^0 \rightarrow f_p = f_p^0 - \Delta f$. Поскольку плотность опары меняется во времени, то $f_p = f_p(t)$. Состав опары: мука (пшеничная, высший сорт) – 72 г, вода – 80 г, дрожжи – 2,8 г (быстродействующие). Эта смесь тщательно перемешивалась (5-10 мин) и затем заливалась в трубку 7. Весовой состав в процентах: мука – 46,5 %, вода – 51,7 %, дрожжи – 1,81 %.

Эксперимент проводился следующим образом. В отдельной емкости («деже») была приготовлена смесь муки, воды и дрожжей. Затем смесь заливалась в контейнер 7 до самого верха; после этого она взвешивалась с тем, чтобы определить ее плотность, и устанавливалась в резонатор, где измерялась резонансная частота резонатора f_p , «нагруженного опарой». Температура окружающего воздуха составляла ~ 24 °С. Кроме того, отмечалось время измерения.

Поскольку в процессе брожения смесь то увеличивалась в объеме (примерно первые 2 часа), то уменьшалась (последующие 3 часа и далее), то для сохранения постоянства объема в мерном контейнере (объемом $V = 140$ мл) постоянно приходилось либо удалять лишнюю опару (первые 2 часа), либо возвращать ее в контейнер. Полученные результаты показаны на рисунках 3, 4, и 5.

На рисунке 3 показан ход частоты резонатора в течении 5,5 часов. По нему видно, что процесс брожения, сопровождающийся генерацией углекислого газа в опаре, достигает максимума в районе 2,2 часов, а затем содержание газа начинает падать. То есть в это время опара готова к употреблению.

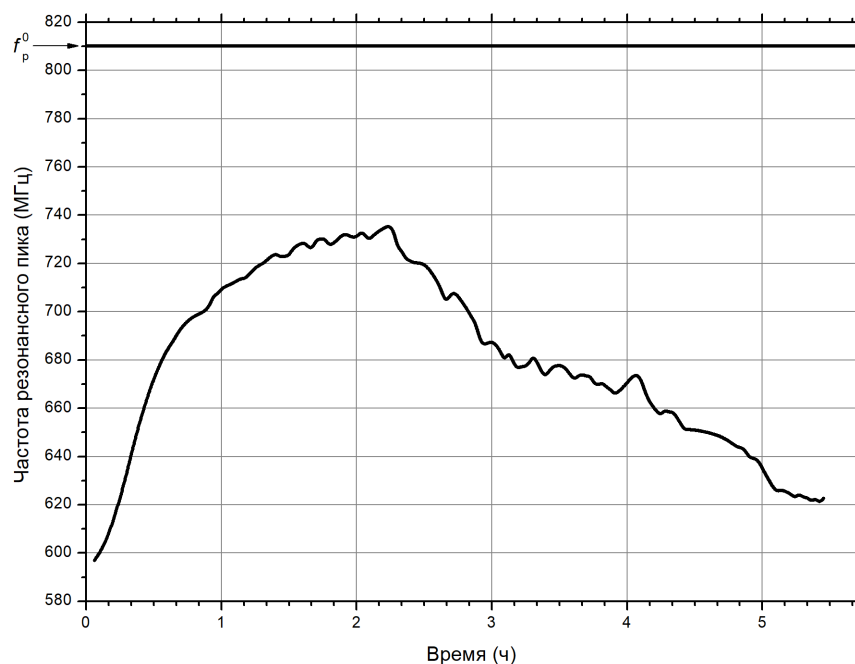


Рисунок 3. Частота резонатора f_p в зависимости от времени при внесении в него контейнера, заполненного жидкой опарой

На рисунке 4 показан ход плотности опары ρ . Видно, что в процессе брожения она падает почти в 3 раза.

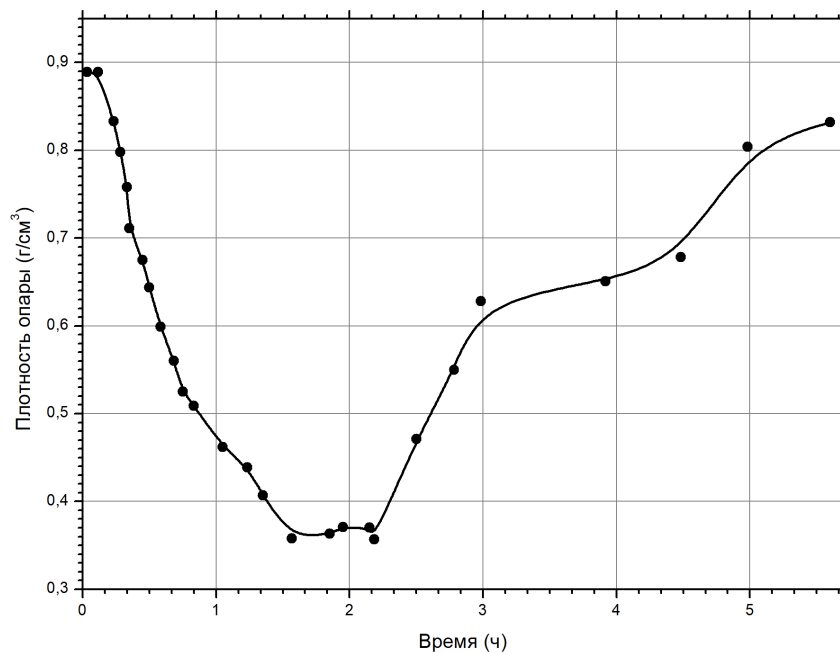


Рисунок 4. Плотность жидкой опары ρ как функция времени

На рисунке 5 построена зависимость частоты резонатора от плотности опары. Видно, что она линейно падает с возрастанием плотности. Разброс точек относительно прямой линии составляет ± 10 МГц, то есть относительна погрешность в середине диапазона составляет $\approx 1,5\%$.

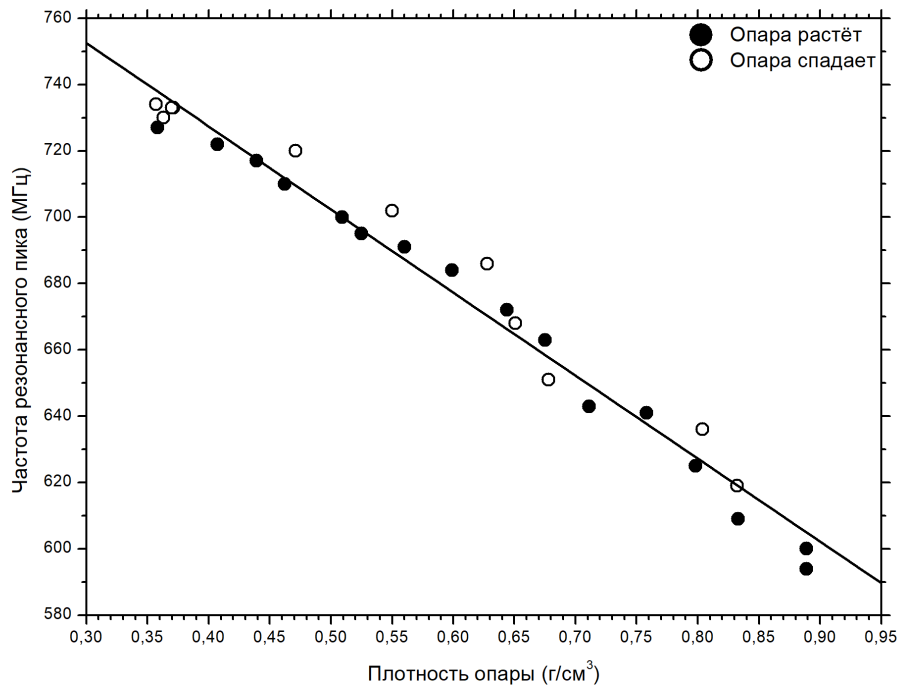


Рисунок 5. Частота резонатора f_p как функция плотности опары

Зависимость $f_p = (\rho)$ может быть описана линейным уравнением

$$f_p \text{ (МГц)} = 810 - 250 \cdot \rho \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3} \right) \quad (1)$$

Из (1) находим выражение для плотности опары через резонансную частоту резонатора f_p :

$$\rho \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3} \right) = \frac{810 - f \text{ (МГц)}}{250} \quad (2).$$

Заключение

Таким образом, описанная СВЧ методика непрерывного определения плотности жидкой опары, проходящей по «опаропроводу» вполне может быть использована в аппаратах, готовящих опару на хлебозаводах или других специализированных предприятиях.

Комбинированная система дозировки с использованием объемно-поршневого насоса и поточного измерения плотности решает задачу измерения объема поданной жидкой массы и ее плотности. В результате мы получаем заданный вес, но без использования тензометрии.

Это открывает путь к созданию тестомесильной машины, оснащенной техникой точного измерения плотности текущей опары, и тем самым исключающей процедуру взвешивания. В свою очередь следствием этого является упрощение всего технологического процесса приготовления хлеба, к сокращению его трудоемкости и, следовательно, к его удешевлению.

Необходимая метрологическая техника оказывается достаточно простой и недорогой и может быть доработана с учетом типа тестомесильной машины – ее размеров, диаметра опаропровода и пр., и может быть поставлена предприятием ООО «ГЛОБУС».

Список литературы

1. Пашенко Л.П., Жаркова И.М. Технология хлебобулочных изделий. М.: Колос, 2006. С. 389.
2. Москалев И.Н., Семенов А.В. Алгоритм определения объемных долей газа, воды и конденсата в продуктах добычи газоконденсатных нефтегазоконденсатных скважин с высоким

содержанием жидкой фазы // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2019. № 10. С. 12-18.

3. Москалев И.Н., Семенов А.В. Горбунов Ю.А., Горбунов И.А. Организация высокоточных измерений объемных долей газа, воды и конденсата в продуктах добычи газоконденсатных и нефтегазоконденсатных скважин // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2020. № 7. С. 5-12.

4. Москалев И.Н., Костюков В.Е. Микроволновые методы оперативного анализа природного газа и конденсата. В 3 т. Т.1. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2013. 420 с.

5. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов. М.: Энергоиздат, 1982. 320 с.

In-line measurement of the density of semi-finished bread products when baking bread using sourdough and sourdough

Anton V. Sobolev

Researcher

Sveba Dalen Rus LLC

Russia, Moscow

Sobolev@sveba-dahlen.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Igor N. Moskalev

Doctor of Physical and Mathematical Sciences

GLOBUS LLC

Belgorod, Russia

igor.moskalev.2015@mail.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Alexander V. Semenov

Doctor of Economics

Witte Moscow State University

Moscow, Russia

Semenov@muiv.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Yuri A. Gorbunov

Director

GLOBUS LLC

Belgorod, Russia

Gorbunov@irga.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Ramadan M. Nazhmudinov

Candidate of Physical and Mathematical Sciences

GLOBUS LLC

Belgorod, Russia

Nazhmudinov@irga.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Maxim A. Velichko

Candidate of Physical and Mathematical Sciences

GLOBUS LLC

Belgorod, Russia

Velichko@irga.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Received 07.02.2024

Accepted 24.02.2024

Published 15.04.2024

UDC 664.66.047.3

EDN UENLLE

VAK 4.3.5. Biotechnology of food and biologically active substances (technical sciences)

OECD 02.11.JY FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY

Abstract

When baking bread and bakery products using sourdough and sourdough, an important point of the technology is to ensure the exact dosage of all components. Therefore, for the dosage of liquid sourdough and starter cultures, as a rule, a weight method of measuring their mass is used. However, the weighing method leads to large errors due to the large weight of the bowl itself. There is also an easier way to determine the mass of the sponge by measuring the flow rate when pumping it with volumetric piston pumps. However, since the active formation of CO₂ gas occurs during the pumping of sourdough and especially sourdough, the density of the pumped sourdough is constantly changing. And this circumstance is fundamental and does not allow using this method as leading to unacceptable errors. The paper describes a method for determining the density of the current sponge by measuring its dielectric constant. A cylindrical microwave resonator is used as a density sensor, in the center of which a sponge flows. The information parameters are the frequency of the resonator, which varies in direct proportion to the density of the support. An experimental determination of the support density is described, carried out simultaneously by two methods – by weight and using a microwave resonator. It was found that they match with good accuracy. This opens the way to the creation of a kneading machine equipped with a technique for accurately measuring the density of the current sponge. At the same time, the weighing procedure is excluded, which leads to simplification of the entire technological process of preparing the dough for baking and reducing its complexity.

Keywords

bread, sourdough and sourdough, precise dosage, weight method, variable density, microwave resonator, natural frequency measurement, simplification of technology.

References

1. Pashchenko L.P., Zharkova.M. Technology of bakery products. M.: Kolos, 2006. p. 389.
2. Moskalev.N., Semenov A.V. Algorithm for determining the volume fractions of gas, water and condensate in the production products of gas condensate oil and gas condensate wells with high liquid phase commonwealth // Automation, telemechanization and communication in the oil industry 2019. № 10. pp. 12-18.
3. Moskalev N.N., Semenov A.V. Gorbunov Yu.A. Gorbunov.A. Organization of high-precision measurements of the volume fractions of gas, water and condensate in the production products of gas condensate and oil and gas condensate wells // Automation, telemechanization and communication in the oil industry 2020. № 7. pp. 5-12.
4. Moskalev.N., Kostyukov V.E. Microwave methods of operational analysis of natural gas and condensate. In 3 vols. Vol.1. Sarov: FSUE RFYATS-VNIIEF, 2013. 420 p.
5. Tareev B.M. Physics of dielectric materials. M.: Energoizdat, 1982. 320 p.