

УДК 628.54

## ВИКОРИСТАННЯ ДВОХЧАСТОТНОЇ ДІЇ УЛЬТРАЗВУКУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ КУХОННОЇ СОЛІ, ЩО НЕ ЗЛЕЖУЄТЬСЯ

О. І. Юрченко, Л. В. Бакланова, О. М. Бакланов

Вивчено використання ультразвуку двохчастотної дії при отриманні кухонної солі, що не злежується. Процес отримання кухонної солі полягає у випаровуванні її з розсолу до одержання солепульпи з вмістом твердої фази 30–82%, обробці її одночасно дією ультразвуку частотою 18–50 кГц, інтенсивністю 1.5–2.5 Вт/см<sup>2</sup> та ультразвуку частотою 1.0–2.5 МГц, інтенсивністю 2.5–4.0 Вт/см<sup>2</sup> протягом 2–4 хв, центрифугування та сушки. Кухонна сіль, отримана таким чином, не злежується протягом 28 місяців.

**Ключові слова:** кухонна сіль, ультразвук двохчастотної дії, злежуваність, опір стиску.

### Вступ

Найважливішою проблемою в технології отримання кухонної солі є проблема її злежуваності. На теперішній час 25–30 % витрат при отриманні кухонної солі приходиться на її повторну переробку (подріблення). Так, без використання технологій боротьби зі злежуваністю, кухонна сіль ДВ «Артемсіль» (Україна) повністю злежується протягом 1–2 місяців, Мозирського солевиварувального комбінату (республіка Беларусь) протягом 1–2 тижнів. Причому, міцність конгломерату злежаної кухонної солі практично відповідає вихідній кухонній солі [1, 2]. Тому боротьба зі злежуваністю кухонної солі є пріоритетною проблемою для соляної галузі виробництва.

Для боротьби зі злежуваністю кухонної солі використовують добавки до кухонної солі фосфатів, ортофосфатів, фероціанідів калію або натрію [1]. Найбільше розповсюдження, через незначну собівартість, одержала технологія отримання кухонної солі, що не злежується, шляхом введення до неї фероціаніду калію в кількості 0.001%. Така кухонна сіль не піддається злежуванню протягом 10–12 місяців [3]. Однак значна токсичність фероціаніду калію, що потребує вкрай рівномірного його розподілу в пачці солі, останнє неможливе тому, що внаслідок мікрокапілярних ефектів частки фероціаніду калію мігрують з центру пачки до її країв (30–50 % фероціаніду калію в залежності від вологості солі та технології її одержання та умов зберігання протягом 2–3 місяців) [1, 2]. Авторами роботи [4] описана технологія отримання кухонної солі, що не злежується, яка включає обробку кухонної солі харчовими моногліцеридами. Дана технологія потребує використання значної кількості харчових моногліцеридів і має незначний термін зберігання кінцевого продукту (менше 12 місяців). Розроблено спосіб отримання кухонної солі, що не злежується, який включає випаровування її з розсолу до отримання солепульпи з вмістом твердої фази – 25–76 %, обробку солепульпи змінним струмом промислової частоти щільністю 0.3–1.4 А /см<sup>2</sup> протягом 5–7 хв, центрифугування та сушку. Термін зберігання такої солі не перевищує 8 місяців [5]. Існує технологія отримання кухонної солі, що не злежується протягом 18 місяців, яка включає випаровування кухонної солі з розсолу до одержання солепульпи з вмістом твердої фази 30–82%, обробку солепульпи ультразвуком частотою 18–26 кГц, інтенсивністю 10–15 Вт/см<sup>2</sup> протягом 1–3 хв, центрифугування та сушку [6]. Недоліком такої технології є неможливість одержання кухонної солі зі значним терміном зберігання (більше 24 місяців) та необхідність використання ультразвуку значної інтенсивності  $\geq 10$  Вт/см<sup>2</sup>, що негативно впливає на стан здоров'я працюючих.

Відомо [7], що використання ультразвуку дозволяє інтенсифікувати різноманітні технологічні процеси. При цьому, найбільш ефективною вважається одночасна дія ультразвуку двох частот, високої та низької [8]. Дана робота присвячена дослідженню використання двохчастотної дії ультразвуку при отриманні кухонної солі зі значним терміном зберігання (більше 24 місяців).

### Експериментальна частина

При виконанні даної роботи використовували ультразвуковий генератор типу 24–УЗГИ–К–1.2 до якого підключали магнітострикційні й п'єзоелектричні випромінювачі, що дозволяють

створювати в досліджуваних розчинах ультразвукові коливання частотою 60, 80, 90, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 440, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800, 880, 900, 950, 1000, 1200, 1500, 2000, 2500 кГц. Застосовували стандартні п'єзоелектричні випромінювачі типу ЦТС-19, виготовлені з цирконата титану-плюмбуму з захисним покриттям із фторопласта [2]. Дані п'єзокерамічні випромінювачі були обрані тому, що мають достатню механічну міцність і стабільність випромінювання на високих частотах ультразвуку (від 100 кГц до 2.5 мГц) при інтенсивності до 12 Вт/см<sup>2</sup> [9]. Крім того, використовували ультразвуковий диспергатор УЗДН – 1М з набором магнітострикційних випромінювачів, що дозволяло створювати у досліджуваній системі ультразвукові коливання частотою від 17 кГц до 100 кГц при інтенсивності ультразвуку до 25 Вт/см<sup>2</sup> [10].

Методика дослідження: від випарного апарату відбирали солепульпу з вмістом твердої фази 30–82% [6] й піддавали одночасній дії ультразвуку низької та високої частот певних параметрів. Далі солепульпу центрифугували та висушували. Одержану сіль досліджували на здатність злежування протягом 6 – 30 місяців відомим ексікаторним методом. Для цього сіль упаковували у паперові пачки в формі куба зі стороною 5 см та поміщали в ексікатор, що містив поглинач вологи. Через певну кількість часу кубики витягали та визначали опір стиску. Сіль вважається злежаною при опорі стиску  $\geq 0.500$  кг/см<sup>2</sup> [11].

### Результати та їх обговорення

Зміна частоти низькочастотного ультразвуку при обробці суміші від 18 до 50 кГц на злежуваність кухонної солі протягом 28 місяців не впливала (табл. 1). Порівняння результатів, одержаних з використанням високочастотного ультразвуку частотою 0.5–3.0 мГц показало, що кращі результати були отримані при використанні ультразвуку частотою 1.0–2.5 мГц (табл. 2). При цьому інтенсивність низькочастотного ультразвуку повинна бути 1.0–2.5 Вт/см<sup>2</sup>, а високочастотного – 2.5–4.0 Вт/см<sup>2</sup> (табл. 3).

З експериментальних даних, наведених в табл. 4, видно, що час дії двохчастотного ультразвуку повинен бути 2.0–4.0 хв. В табл. 5 наведено порівняння двох способів одержання кухонної солі, що не злежується. Як видно з табл. 5, кухонна сіль, що отримана при використанні двохчастотної дії ультразвуку, може зберігатися 28 місяців, а кухонна сіль, що одержана з використанням низькочастотного ультразвуку – менше ніж 24 місяці.

**Таблиця 1.** Вплив частоти низькочастотного ультразвуку на величину опору стиску кухонної солі (злежуваність)

Частота ультразвуку, кГц	Опір стиску кухонної солі, кг/см <sup>2</sup> , через міс.							
	6	12	18	24	26	27	28	29
17	0.110	0.118	0.139	0.147	0.211	0.399	0.408	1.387
18	0.048	0.064	0.078	0.094	0.186	0.219	0.297	0.960
20	0.046	0.055	0.076	0.097	0.192	0.217	0.301	0.972
22	0.047	0.054	0.075	0.098	0.185	0.215	0.296	0.954
28	0.046	0.059	0.079	0.095	0.188	0.215	0.302	0.965
34	0.052	0.061	0.075	0.092	0.185	0.221	0.303	0.968
40	0.051	0.063	0.078	0.097	0.186	0.219	0.298	0.969
44	0.047	0.058	0.075	0.095	0.191	0.217	0.296	0.955
46	0.048	0.057	0.081	0.096	0.188	0.222	0.303	0.968
50	0.051	0.065	0.076	0.092	0.185	0.218	0.296	0.981
55	0.106	0.117	0.149	0.198	0.225	0.445	0.589	0.994
60	0.122	0.254	0.297	0.376	0.409	0.587	1.265	1.568

У цій таблиці, як і у наступних, представлено усереднені результати шести дослідів. Частота високочастотного ультразвуку – 1.0 мГц, інтенсивність – 3.0 Вт/см<sup>2</sup>. Інтенсивність низькочастотного ультразвуку – 2.0 Вт/см<sup>2</sup>. Час дії ультразвуку – 2 хв.

Використання ультразвуку двох частот для одержання кухонної солі, що не злежується, обумовлено більш високою ефективністю двохчастотного ультразвуку в порівнянні з ультра-

звуком однієї частоти. Це пояснюється особливостями утворення й схлопування кавітаційних пухирців при двохчастотній дії ультразвуку, де переважно (більше ніж 90 %) утворення малих сферичних кавітаційних пухирців, при схлопуванні яких інтенсифікуються дані процеси [7-10].

**Таблиця 2.** Вплив частоти високочастотного ультразвуку на величину опору стиску кухонної солі (злежуваність)

Частота високочастотного ультразвуку, мГц	Опір стиску кухонної солі, кг/см <sup>2</sup> , через міс.							
	6	12	18	24	26	27	28	29
0.5	0.077	0.119	0.179	0.293	0.411	0.643	0.794	1.123
1.0	0.047	0.054	0.075	0.098	0.185	0.215	0.296	0.954
1.5	0.048	0.055	0.078	0.098	0.186	0.218	0.297	0.955
2.0	0.050	0.058	0.077	0.098	0.187	0.215	0.300	0.958
2.5	0.049	0.053	0.075	0.097	0.188	0.219	0.298	0.958
3.0	0.112	0.197	0.296	0.487	0.594	0.714	1.156	1.344
3.5	0.248	0.459	0.608	1.331	1.489	1.622	1.876	1.945

Частота низькочастотного ультразвуку – 1.0 мГц. Інтенсивність низькочастотного ультразвуку – 2.0 Вт/см<sup>2</sup>. Інтенсивність високочастотного ультразвуку – 3.0 Вт/см<sup>2</sup>. Час дії ультразвуку – 2 хв.

**Таблиця 3.** Вплив інтенсивності ультразвуку на величину опору стиску кухонної солі (злежуваність)

Інтенсивність ультразвуку низької частоти, Вт/см <sup>2</sup>	Інтенсивність ультразвуку високої частоти, Вт/см <sup>2</sup>					
	2.40	2.50	3.00	3.50	4.00	4.10
Величина опору стиску кухонної солі (злежуваність), кг/см <sup>2</sup> через 24 місяці зберігання						
1.40	0.335	0.259	0.165	0.184	0.145	0.159
1.50	0.233	0.094	0.099	0.097	0.095	0.187
2.00	0.154	0.097	0.098	0.095	0.102	0.198
2.50	0.136	0.099	0.101	0.102	0.101	0.254
3.00	0.110	0.121	0.117	0.115	0.110	0.296

Частота високочастотного ультразвуку – 1.0 мГц. Частота низькочастотного ультразвуку – 22 кГц. Час дії ультразвуку – 2 хв.

**Таблиця 4.** Вплив часу дії двохчастотного ультразвуку на величину опору стиску кухонної солі (злежуваність)

Час зберігання проби кухонної солі, місяців	Величина опору стиску кухонної солі, кг/см <sup>2</sup>					
	Час дії ультразвуку, хв.					
	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5
6	0.065	0.047	0.048	0.050	0.047	0.078
12	0.077	0.054	0.057	0.059	0.054	0.085
18	0.082	0.075	0.078	0.076	0.076	0.102
24	0.112	0.098	0.102	0.099	0.105	0.169
25	0.159	0.143	0.145	0.149	0.142	0.197
26	0.202	0.185	0.189	0.187	0.188	0.254
27	0.319	0.215	0.219	0.214	0.218	0.542
28	0.421	0.296	0.301	0.299	0.305	0.627
29	0.698	0.554	0.559	0.561	0.564	0.985
30	1.556	1.152	1.168	1.164	1.157	1.902

Частота низькочастотного ультразвуку – 18 кГц, частота високочастотного ультразвуку – 1 мГц. Інтенсивність високочастотного ультразвуку – 1 Вт/см<sup>2</sup>. Інтенсивність низькочастотного ультразвуку – 1 Вт/см<sup>2</sup>.

**Таблиця 5.** Порівняння способів отримання кухонної солі дією одночастотного та двохчастотного ультразвуку

Інтервал часу, місяців	Опір стиску кухонної солі, кг/см <sup>2</sup> , обробленої способом	
	Двохчастотна дія ультразвуку	Одночастотна дія ультразвуку
6	0.047	0.048
12	0.054	0.063
18	0.075	0.124
24	0.098	0.505
25	0.143	0.596
26	0.185	0.965
27	0.215	1.245
28	0.296	1.542
29	0.554	1.786
30	1.152	1.965

### Висновки

Таким чином, в результаті проведених досліджень встановлено, що використання ультразвуку двох частот 1.0–2.5 мГц та 18.0–50.0 кГц при інтенсивності низькочастотного ультразвуку 1.0–2.5 Вт/см<sup>2</sup>, а високочастотного – 2.5–4.0 Вт/см<sup>2</sup> дозволяє отримувати кухонну сіль, що не злежується протягом 28 місяців.

### Література

1. Фурман А.А., Бельды М. П., Соколов И.Д. Поваренная соль. Производство и применение в химической промышленности.–М.: Химия, 1989.– 272 с.
2. Бакланов О.М., Авдеевко А.П., Чмиленко Ф.О., Бакланова Л.В. Аналітична хімія кухонної солі та розсолів.– Краматорськ: вид-во ДДМА, 2011.– 284 с.
3. ДСТУ 3583–97. Сіль кухонна харчова. Загальні технічні умови. – Київ: Держстандарт України, 1997.– 48 с.
4. Матвеева Т.А., Бакланов А.Н., Селитренников Ю.Г. и Бакланова Л.В. Способ получения поваренной соли / А.с. №1491811, СССР.– Оубл. 07.07.89.– Бюл. № 25.
5. Селитренников Ю.Г., Бакланов А.Н. и Матвеева Т.А. Способ получения поваренной соли / А.с. №1579899, СССР.– Оубл. 23.07.90.– Бюл. № 27.
6. Бакланова Л.В., Чмиленко Ф.А., Клименко С.А. и Бакланов А.Н. Способ получения поваренной соли / А.с. №1726377, СССР.– Оубл. 15.04.92.– Бюл. № 14.
7. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / Гл.ред. И.П. Голямина – М.: Сов. энцикл., 1979.– 400 с.
8. Маргулис М.А. Звукохимические реакции и сонолюминесценция.–М.: Химия, 1986.– 288 с.
9. Чмиленко Ф.О., Бакланов О.М. Використання ультразвукового випромінювання у хімічному аналізі: монографія. - Горлівка: ПП «Видавництво Ліхтар», 2009.– 172 с.
10. Чмиленко Ф.А., Бакланов А.Н. Ультразвук в аналитической химии. Теория и практика: монография.– Днепропетровск: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2001.– 264 с.
11. ДСТУ 4886.1:2007 – ДСТУ 4886.24:2007. . Сіль кухонна. Методи випробувань.– К: Вид-во стандартів, 2007.– 143с.

### References

1. Furman A.A., Bel'dy' M. P., Sokolov I.D. Povarennaya sol'. Proizvodstvo i pri-menenie v himicheskoy promy'shlennosti.–M.: Himiya, 1989.– 272 s.
2. Baklanov O.M., Avde"e"nko A.P., Chmilenko F.O., Baklanova L.V. Anali'tichna hi'mi'ya kuhonnoï soli' ta rozsoliv'v.- Kramators'k: vid-vo DDMA, 2011.– 284 s.
3. DSTU 3583-97. Si'l' kuhonna harchova. Zagal'ni' tehni'chni' umovi. - Kii`v: Derjstandart Ukraïni, 1997.– 48 s.

4. Matveeva T.A., Baklanov A.N., Selitrennikov YU.G. i Baklanova L.V. Sposob polucheniya povarennoy soli / A.s. №1491811, SSSR.- Opubl. 07.07.89.- Byul. № 25.
5. Selitrennikov YU.G., Baklanov A.N. i Matveeva T.A. Sposob polucheniya povarennoy soli / A.s. №1579899, SSSR.- Opubl. 23.07.90.- Byul. № 27.
6. Baklanova L.V., Chmilenko F.A., Klimenko S.A. i Baklanov A.N. Sposob polucheniya povarennoy soli / A.s. №1726377, SSSR.- Opubl. 15.04.92.- Byul. № 14.
7. Ul'trazvuk. Malen'kaya e`nciklopediya / Gl.red. I.P. Golyamina - M.: Sov. e`ncikl., 1979.- 400 s.
8. Margulis M.A. Zvukohimicheskie reakcii i sonolyuminescenciya.-M.: Himiya, 1986.-288 s.
9. Chmilenko F.O., Baklanov O.M. Vikoristannya ul'trazvukovogo vipromi'nyu-vannya u hi'mi'chnomu anali'zi': monografi'ya. - Gorli'vka: PP «Vidavnictvo Li'htar», 2009.- 172 s.
10. Chmilenko F.A., Baklanov A.N. Ul'trazvuk v analiticheskoy himii. Teoriya i praktika: monografiya.- Dnepropetrovsk: Vid-vo Dni'propetr. un-tu, 2001.- 264 s.
11. DSTU 4886.1:2007 - DSTU 4886.24:2007. . Si'l' kuhonna. Metodi viprobuvan'-. K: Vid-vo standartiv, 2007.- 143s.

*Поступила в редакцию 24 июня 2012 г.*

О. И. Юрченко, Л. В. Бакланова, А. Н. Бакланов. Использование двухчастотного действия ультразвука для получения поваренной соли, которая не слёживается.

Изучено использование двухчастотного действия ультразвука при получении поваренной соли, которая не слёживается. Процесс получения поваренной соли состоит в выпаривании ее из рассола до получения солепulpы с содержанием твердой фазы 30–82%, обработки её одновременным воздействием ультразвука частотой 18–50 кГц, интенсивностью 1.5–2.5 Вт/см<sup>2</sup> и ультразвука частотой 1.0–2.5 мГц, интенсивностью 2.5–4.0 Вт/см<sup>2</sup> в течении 2–4 мин, центрифугирования и сушки. Поваренная соль, полученная таким образом, не слёживается в течении 28 месяцев.

**Ключевые слова:** поваренная соль, ультразвук двухчастотного действия, слёживаемость, сопротивление сжатию.

O. I. Yurchenko, L. V. Baklanova, A. N. Baklanov. Application of double-frequency ultrasound action to obtaining common salt, which could not be spoiled by lying.

The usage of double-frequency ultrasound action for obtaining the common salt was investigated. The elaborated technology for obtaining common salt includes the evaporation of its concentrated solution to the salt pulp containing 30-80% of solid at simultaneous ultrasound treatment at frequency 18-50 kHz with power of 2.5-4.0 W/cm<sup>2</sup> and 1.0-2.5 mHz with power of 2.5-4.0 W/cm<sup>2</sup> during 2-4 minutes, followed by the centrifugation and drying. The common salt obtained by the above technology was not spoiled by lying during 28 months.

**Key words:** common salt, double-frequency ultrasound, spoiling by lying, resistance to compression.

Kharkov University Bulletin. 2012. № 1026. Chemical Series. Issue 21 (44).