

УДК 641.53.095

## Исследование изменения температуры зубатки после обработки в переменном электромагнитном поле во время релаксации

Д-р техн. наук **И.Н. Заплетников**, oblagn@kaf.donnuet.dn.ua

канд. техн. наук **В.А. Парамонова**, vaparamonova@mail.ru

*Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского  
83000, Украина, Донецк, Театральный пр-т, 28*

Канд. техн. наук **В.Н. Кудрявцев**, kudryavtsevvn@mail.ru

*Университет ИТМО*

*191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

*В статье проанализированы основные источники, дающие информацию о вреде потребления пищи из микроволновых печей и отмечена их недостаточная обоснованность. Приведены сведения об экспериментальных данных обработки рыбы зубатки в СВЧ-поле, определены температурные кривые продукта в период релаксации, а также убыль массы рыбы при обработке. Предложена модель для расчета убыли массы продукта в зависимости от его начальной температуры, плотности и времени обработки. Установлено, что время релаксации волны в зубатке составляет около 160 с. Для обеспечения более щадящего действия на продукт в СВЧ-поле рекомендовано обеспечение таких режимов работы магнетрона, при которых время его выстоя после подведения волны будет соизмеримо времени релаксации энергии в продукте.*

**Ключевые слова:** микроволны; электромагнитное поле; СВЧ; релаксация; рыба; температура; убыль массы; дефростация.

---

## Study of the change the temperature of zubatka after processing in variable electromagnetic field during relaxation

D.Sc. **I.N. Zapletnikov**, oblagn@kaf.donnuet.dn.ua

Ph.D. **V.A. Paramonova**, vaparamonova@mail.ru

*Donetsk national university of the economy and trading the name Mihaila Tugan-Baranovskogo  
83000, Ukraine, Donetsk, pr-t Theatrical, 28*

Ph.D. **V.N. Kudryavtsev**, kudryavtsevvn@mail.ru

*ITMO University*

*191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9*

*In article are analysed main sources, giving information on harm of the consumption of the food from microwave stoves and is noted their insufficient motivation. Broughted information on experimentals data of processing the zubatka in the field of top of the radio frequency, is determined warm-up product curves at period relaxation, as well as reduction of the mass of fish when processing. Offered model for calculation of the decreases of the mass of the product depending on its initial temperature, density and time of the processing. It Is Installed that time to relaxations of the wave in zubatka forms beside 160 with. For ensuring the more sparing action on product in SVCH-field is recommended provision such state of working magnetron, under which time its rest, after supply of waves, will be commensurable since time of the relaxations to energy in product.*

**Keywords:** micro wave; electromagnetic field; SVCH; relaxation; fish; temperature; decrease of the mass; melting.

---

## Постановка проблемы и ее связь с важнейшими научными и практическими задачами

Начиная с 50-х годов XX столетия, сперва на территории США, а теперь и на территории стран постсоветского пространства, всё более популярны становятся микроволновые печи, одно из многих сомнительных достижений цивилизации, завезенных в Европу из США. Хорошо продуманная рекламная кампания производителей и торговли осведомляет потребителей только о достоинствах микроволновых печей, однако не стоит забывать и об опасности микроволн [1–4].

Так д-р Ханс Ульрих Хертел и профессор Лозаннского Университета в 1991 году опубликовали исследование, свидетельствующее о том, что пища, приготовленная в микроволновой печи, может создавать угрозу для здоровья, по сравнению с пищей приготовленной традиционными способами. Статья также изложена в журнале «Франц Вебер» № 19, в которой было сказано, что потребление продуктов питания, приготовленных в микроволновых печах, несет злокачественное воздействие на кровь. Научные заключения показали, что приготовление пищи в микроволновой печи, изменяет питательный состав веществ в пище. Это исследование было проведено вместе с доктором Бернардом Х. Бланом из Швейцарского федерального института технологий и Института биохимии. Значительные изменения были обнаружены в крови в интервалах приёма пищи, подвергшейся воздействию микроволновой печи. Эти изменения включали сокращение гемоглобина и изменение состава холестерина, особенно соотношение HDL (хороший холестерин) и LDL (плохой холестерин), увеличивалось количество лимфоцитов (белые кровяные клетки). Все эти показатели свидетельствуют о дегенерации [5, 6].

В отчете, опубликованном в 1980 году, Institute of Radiation Hygiene of the German Federal Office of Public Health (BGA) была проведена сравнительная оценка 16 исследований в отношении термического и нетермического эффекта микроволновой радиации [7]:

- уменьшение активности ферментов и их влияния на процессы, стимулируемые ферментами;
- влияние на щитовидную железу, надпочечники и их гормоны;
- воздействие на строение и функционирование элементов крови соответственно;
- влияние на рост клеток и структурные изменения в хромосомах;
- катаракта;
- влияние на концентрацию, состав крови и гормоны в мозгу, соответственно.

Следует отметить, что из опубликованных данных не понятно, какое время была выдержана пища, после обработки в СВЧ-поле. Как известно, преобразование электромагнитной энергии в тепловую в продукте происходит в течение определенного времени, различного для разных пищевых продуктов. Данный период времени принято называть временем релаксации электромагнитной волны. При нарушении простейших правил питания из микроволновой печи, т.е. при употреблении в пищу продуктов сразу после их обработки, есть большая вероятность ожогов ротовой полости и релаксации электромагнитных волн не во влаге продукта, а непосредственно в крови, со всеми вытекающими последствиями [1–8].

Целью статьи является построение температурных кривых рыбы зубатка в период релаксации электромагнитных волн и построение модели для определения убыли массы.

### **Изложение основного материала исследований**

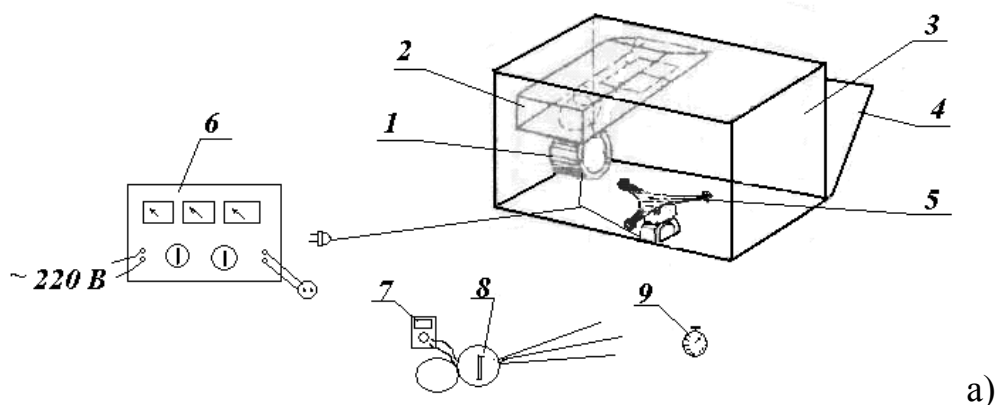
Экспериментальный стенд (рис. 1) представляет собой микроволновую печь, которая подключена к электросети через измерительный комплекс К-50 (поз. 6). Для определения изменения температурных полей в продукте после его обработки в поле СВЧ предусмотрен переносный комплект термопар 8, который подключается к мультиметру 7.

Печь состоит из магнетрона 1, волновода 2, резонаторной камеры (рабочая камера) 3, дверцы 4 и вращающегося поддона 5.

Первоначально осуществляли подготовку объекта обработки (продукт предварительно очищали и разделяли на кусочки определенного размера), после чего микроволновую печь включали в электросеть через комплекс К-50. Пакет переносных термопар подключали к мультиметру и размещали на столе для определения изменения температуры в продукте после его обработки в СВЧ-поле.

Перед началом и после обработки продукта определяли его массу и температуру. Продукт размещали на тарелку, после чего ее помещали в рабочую камеру.

Регулятор мощности микроволновой печи устанавливали на заданную величину. Регулятор времени устанавливали с незначительным превышением от планируемого времени и отключали строго по секундомеру через заданный интервал времени обработки. Одновременно снимали замеры силы тока и напряжения с помощью К-50 и определяли время работы и выстоя магнетрона. Экспериментальные данные повторяли для каждого режима два раза.



**Рис. 1. Экспериментальный стенд**

а – принципиальная схема стенда для исследования обработки продуктов в поле СВЧ; б – фотография действующего стенда

На рис. 2 приведены температурные кривые в период релаксации для обработки рыбы зубатки при установке мощности магнетрона 400 Вт после обработки в течение 1...5 минут. Начальная температура рыбы составляла минус 12°C.

Следует отметить, что период релаксации электромагнитных волн в рыбе, после ее обработки в СВЧ-поле при мощности магнетрона 400 Вт, составляет около 50 с, что проявляется в увеличении ее температуры при отсутствии внешнего энергоподвода и потерях в окружающую среду. При этом максимальная температура рыбы при длительности обработки от 1 до 3 минут составляет 45–50°C. Увеличение времени обработки приводит к значительному повышению температуры продукта (около 75°C для 4 минут обработки и 90...95°C для 5 минут обработки).

Таким образом, следует отметить, что для дефростации небольших кусков рыбы в СВЧ-поле не целесообразен длительный нагрев продукта (так же, как и увеличение мощности магнетрона, что подтвердили дополнительные исследования). Следует отметить, что на исследованных режимах наблюдается (даже при 1 минуте обработке) эффект «варки» – в рыбе происходит сворачивание белков и появляется характерное изменение цвета продукта. Таким образом, для единичных кусков рыбы дефростация в СВЧ-поле нецелесообразна.

Для определения убыли массы использовали уравнение материального баланса [9, 10]:

$$\Delta W = G_1 - G_2, \text{ кг}$$

Определенные в эксперименте данные приводили к % от общей массы. Таким образом, были получены данные по убыли массы продукта при его обработке в СВЧ-поле на протяжении 1–5 минут. В связи с тем, что структура рыбы на различных участках тушки не одинакова, был проведен расчет плотности обрабатываемых кусочков ( $m/V$ ). Также была определена начальная температура продукта. Эти данные позволили получить зависимость убыли массы продукта от его начальной температуры, времени обработки и плотности:

$$\Delta, \% = 0,1514 \cdot \tau_{обп} - 2,4512 \cdot t_n + 0,00077 \cdot \rho - 7,7067$$

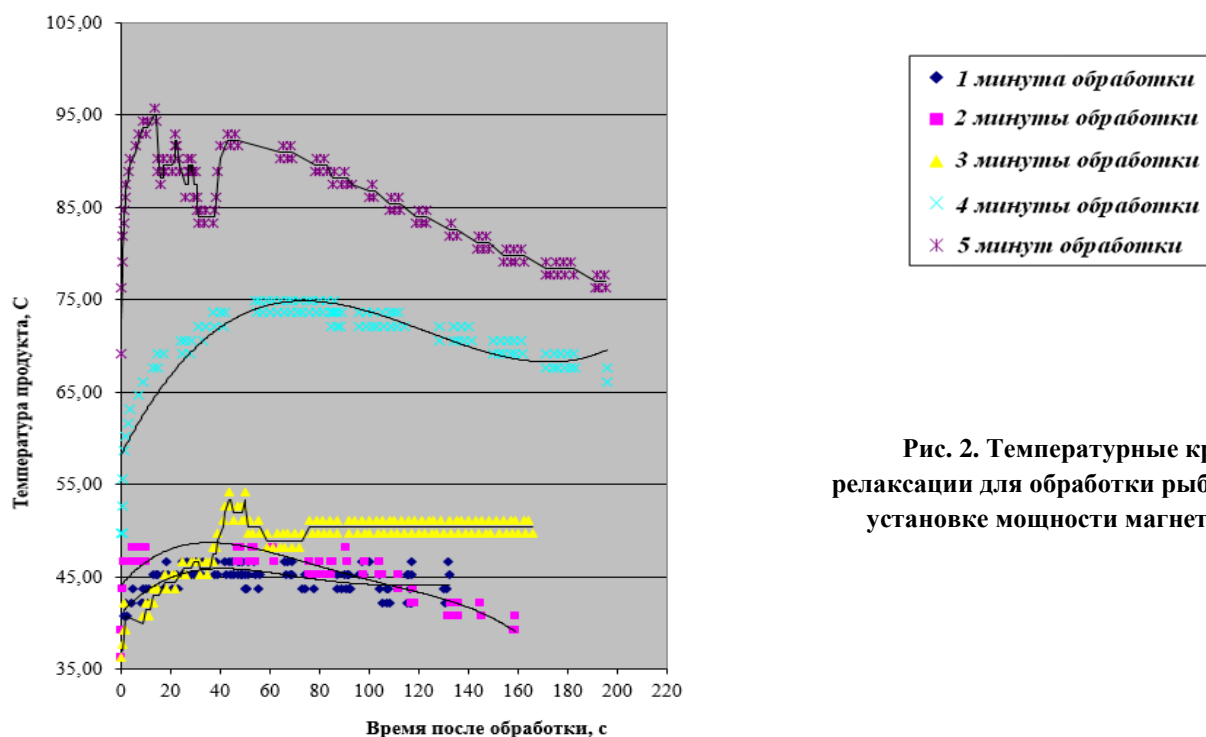


Рис. 2. Температурные кривые в период релаксации для обработки рыбы зубатки при установке мощности магнетрона 400 Вт

Полученные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1– Определение убыли массы рыбы в процессе ее обработки в СВЧ-поле

$\tau_{обр}, с$	$t_{ив}, ^\circ C$	$\rho, кг/м^3$	$\Delta, кг$	$\Delta, \% \text{ эксп.}$	$\Delta, \% \text{ расчет}$
60	-12,5	1440,00	0,030	33,33	33,13
120	-12,5	808,08	0,024	40,00	41,72
180	-12,5	905,66	0,029	53,70	50,88
240	-12,5	1119,34	0,040	58,82	60,13
300	-7	888,89	0,020	55,56	55,56

Таким образом, потери массы продукта при его обработке в СВЧ-поле (свободное размещение на плоскости) в эксперименте составили от 30 до 60%. Дополнительные эксперименты, при которых продукт обрабатывался в посуде с высокими стенками по 5–6 кусочков, показали, что в таких условиях выделяемая влага скапливается на дне емкости и приводит к ярко выраженному эффекту варки продукта.

### Выводы

Экспериментально установлено, что время релаксации СВЧ-волны в рыбе составляет около 160 с, что позволяет сделать вывод о целесообразности обеспечения таких режимов работы магнетрона, при которых время выстоя, после подведения волны, будет соизмеримо со временем релаксации энергии в продукте. Такая работа позволит обеспечить более щадящие режимы обработки продукта и снизит энергозатраты на процесс.

Также отмечены значительные потери массы при обработке в СВЧ-поле замороженных продуктов, что нецелесообразно для режимов дефростации. Для дефростации в СВЧ-поле можно рекомендовать предварительное размещение продукта в емкость с водой, что позволит избежать эффекта варки и снизит потери влаги из продукта.

### Литература

1. Кривошеин Д.А., Муравей Л.А., Роева Н.Н. Экология и безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие для вузов М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. С. 158-164.
2. Гофман Дж. Рак, вызываемый облучением в малых дозах: независимый анализ проблемы. Пер. с англ. / под ред. Е.Б. Бурлаковой и В.Н. Лыцова. М.: Социал.-экол. союз, 1994. кн. 1, 2.

3. Кукин П.П., Лопин В.Л., Подгорных Е.А. и др. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда): учебн. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1999. 318 с.
4. Guillaume-Gentil O. *Quantitative Bestimmung der thermischen Einwirkung von Mikrowellen (2,450 GHz) auf sensitive mikrobiologische Systeme: Lenesfähigkeit, Mutagenese, DNA $\beta$ Reparatur, Enzymaktivitäten und Plasmidtransformation*. Dissertation, ETH,Zürich, 1994.
5. Микроволновая печь – опасность для вашего здоровья! [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.predmeti.ru/-a-10.html>, свободный (дата обращения 12.12.2014).
6. Вред микроволновой печи для здоровья [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://elsmog.ru/index.php/vliaynieemi/mikrovoln.html?showall=1>, свободный (дата обращения 12.12.2014).
7. Вред от микроволновой печи [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://budstroynoy.ru/viewtopic.php?id=1806>, свободный (дата обращения 12.12.2014).
8. Кудрявцев В.Н., Парамонова В.А., Никитин Д.Л. Культура питания из СВЧ-печей // Питання технології та гігієни харчування: матеріал II Всеукр. наук.-практ. конф., (Донецьк, 21–22 листоп. 2013 р.). Донецьк: ДонНУЕТ, 2013. С. 25-27.
9. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник для вузов: в 2 кн. / под. ред. А.Н. Острикова. Кн. 1. СПб.: ГИОРД, 2007. С. 22-23.
10. Стабников В.Н., Лысянский В.М., Попов В.Д. Процессы и аппараты пищевых производств М.: Агропромиздат, 1985. С.19.

#### References

1. Krivoshein D.A., Muravey L.A., Roeva N.N. *The Ecology and safety to vital activity*. Textbook. Moscow, YUNITI-is GIVEN Publ., 2000, pp. 158-164.
2. Gofman Dzh. *The Cancer caused by irradiation in small dose: Independent analysis of the problem*. In.ed. E.B. Burlakovoy, V.N. Lyscova. Moscow, Social.-ekol. Alliance Publ., 1994, kn. 1, 2.
3. Kukin P.P., Lapin V.L., Podgornyh E.A. *Safety to vital activity. Safety of the technological processes and production (the Guard of the labour)*. Textbook. Moscow, High school Publ., 1999, 318 p.
4. Guillaume-Gentil, O. *Quantitative Bestimmung der thermischen Einwirkung von Mikrowellen (2,450 GHz) auf sensitive mikrobiologische Systeme: Lenesfähigkeit, Mutagenese, DNA $\beta$ Reparatur, Enzymaktivitäten und Plasmidtransformation*. Dissertation, ETH,Zürich, 1994.
5. *The Microwave stove – a danger for your health!* Available at: <http://www.predmeti.ru/-a-10.html> (accessed 12.12.2014 ).
6. *Harm microwave stove for health*. Available at: <http://elsmog.ru/index.php/vliaynieemi/mikrovoln.html?showall=1> (accessed 12.12.2014 ).
7. *Harm from microwave stove*. Available at: <http://budstroynoy.ru/viewtopic.php?id=1806> (accessed 12.12.2014 ).
8. Kudryavcev V.N., Paramonova V.A., Nikitin D.L. The Culture of the feeding from SVCH-stoves. *Questions to technologies and hygiene of the feeding: proseedings II Vseukrainskoy scient.-pract. conf.* (Donetsk, November 21-22, 2013). Donetsk, DonNUET, 2013, pp. 25-27.
9. *The Processes and devices food production*. Textbook. In 2 kn. In ed. A.N. Ostriкова. St. Petersburg, GIORD Publ., 2007, Kn. 1, pp. 22-23.
10. Stabnikov V.N., Lysyanskiy V.M., Prist V.D. *The Processes and devices food production*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985, P.19.