

МАШИНОСТРОЕНИЕ

МРНТИ 55.65.43, 55.67.31

В.Н.Кудрявцев¹, В.А.Парамонова²

¹Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия

²Донецкий национальный университет экономики и торговли
им. М. Туган-Барановского,
г. Донецк, (Донецкая Народная Республика)

ОСОБЕННОСТИ НАГРЕВА ВОДЫ В ПОЛЕ СВЧ*

Аннотация. В статье проанализированы основные проблемы, возникающие в результате использования микроволновых печей. Отмечены необоснованные рекомендации по длительности обработки продуктов. Неправильное применение микроволнового разогрева и нарушения правил техники безопасности приводят к негативным изменениям в организме человека благодаря превращению некоторых аминокислот в токсины, губительно действующие на нервную и мочеполовую систему. Приведены сведения об экспериментальных данных обработки воды в СВЧ-поле. Определены температурные зависимости для воды объемом 100 и 200 мл от длительности обработки в СВЧ-поле. Рассчитаны и построены зависимости количества поглощенной водой теплоты от времени обработки. Предложены зависимости для расчета конечной температуры воды и градиента температур в условиях эксперимента. Установлено, что время релаксации микроволн в воде практически равно 0 с. Для обеспечения более щадящего действия на продукт в СВЧ-поле рекомендуется проводить разогрев продуктов не более 1 мин. – безопасное употребление разогретых продуктов целесообразно начинать через 1 мин.

Ключевые слова: СВЧ-поле, микроволны, релаксация, вода, температура, количество теплоты.

**Данные исследования были проведены в рамках работы по хозяйственной теме "Исследование применения электрофизических методов обработки в пищевой промышленности: перспективные направления применения, виброакустические характеристики оборудования, обеспечение безопасности конструкций" Д №830/2013, заключенной с ФПП "Харчук".*



Түйіндеме. Мақалада микротолқынды пештерді пайдалануда туындайтын негізгі мәселелер талданған және өнімдерді өңдеу бойынша негізделмеген ұсынымдар атап көрсетілген. Микротолқынды қыздыруды дұрыс қолданбау және қауіпсіздік техникасының ережелерін бұзу жүйке және зәршығару жүйесіне зиянды әсер ететін кейбір амин қышқылдарының токсиндерге айналуынан организмдегі негативті өзгерістерге алып келеді. Суды ӨЖЖ-өрісте өңдеудің экспериментальдық мәліметтері берілген, көлемі 100 мл. және 200 мл. су үшін ӨЖЖ-өрісте өңдеу ұзақтығынан температуралық тәуелділіктері анықталған. Эксперимент жағдайларында судың соңғы температурасы мен температуралардың градиентін есептеу үшін тәуелділіктер ұсынылған. Микротолқындардың суда релаксациялану уақытының 0 с тең болатындығы анықталған. Азық-түлікке әсерінің ең аз болуын қамтамасыз ету үшін ӨЖЖ-өрісте ысытылған өнімдерді азыққа қауіпсіз пайдалану үшін 1 минуттан артық ұстауға болмайды. Оларды ӨЖЖ-өрісте өңдеген соң 1 минуттай пайдаланбай тұра тұру керек.

Түйінді сөздер: микротолқынды өріс, микротолқындар, релаксация, су, температура, жылу саны.



Abstract. The article analyzes the main problems arising from the use of microwave ovens, marks the unsubstantiated recommendations for duration of product treatment. Not correct use of microwave heating and the violation of safety rules leads to the negative changes in the body due to the conversion of some amino acids into toxins, destructively affects on nervous and urinary system. The experimental data of water treatment in a microwave field is presented, temperature dependence for water volume of 100ml and 200 ml from the microwave field is shown, and also calculated and build dependences of the amount of water absorbing heat of treatment time. The dependences for calculating the final temperature of water and the temperature gradient in the conditions of experiment are requested. It is determined that the relaxation time of microwaves in water is practically equal to 0 s. For providing more gentle action of products in microwave field, it is not recommended to increase the treatment time of heating of products for more than 1 minute, in order to use of safer heated food products. It is appropriate to withstand them for 1 minute after the treatment.

Key words: microwave field, microwaves, relaxation, water, temperature, amount of heat.

Введение. Своему созданию и открытию, как и многие современные методы обработки (ИК-нагрев, УЗ, радиация и т.д.), СВЧ-техника обязана военному сектору. Несмотря на то, что первый патент получен американцами, реальными создателями микроволновых печей являются немецкие ученые университета Гумбольдта, г. Берлин. Следует отметить, что после практических исследований по выявлению последствий от работы СВЧ-печей и от питания пищи, приготовленной в них, на подопытных группах в концлагерях, немцы отказались от ее практического применения, а результаты исследований засекретили. Со временем конструкция микроволновых печей сильно изменилась: улучшили защиту от облучения, создали новые источники СВЧ-энергии, ввели дополнительные функции...

В настоящее время широкое применение микроволновых технологий в быту человека значительно облегчило ведение домашнего хозяйства. Однако вместе с этим и породило ряд проблем, среди которых серьезные нарушения в работе организма [1-4]. Наиболее опасны молочные продукты, обработанные в микроволновой печи (даже при времени обработки до 30 с). Под действием микроволнового поля некоторые аминокислоты в них преобразуются в синтетические *cis*-изомеры, не являясь биологически активными. Аминокислота L-proline превращается в ее D-isomer, токсичный для нервной системы и мочеполовой системы [5].

Несмотря на все угрозы, микроволновые технологии существенно сокращают время приготовления пищи, могут быть использованы в технологических линиях как для кратковременной обработки сырья, так и для технических нужд предприятий, а именно для подогрева оборотной воды и обеззараживания сточных вод. Следует отметить, что большая часть исследований строится на изучении влияния пищи, обработанной в микроволновом поле в течение 10 мин. и более, на живой организм. В то время как все рекомендации о времени обработки в СВЧ-поле не базируются на научных исследованиях, а получены экспериментальным путем, т. е. обычным размещением продуктов в рабочей камере до приготовления.

По мнению авторов, большая часть проблем возникает вследствие неправильного применения микроволнового разогрева и нарушения правил техники безопасности [2, 4], что и приводит к изменениям в составе крови, возникновению заболеваний щитовидной железы при поглощении пищи практически сразу после ее приготовления, вследствие облучения ротовой полости релаксационной энергией микроволнового поля и другим последствием.

В связи с этим имеет смысл уточнить ряд технических моментов для более рационального и безопасного использования микроволновой энергии. Так как вода является основой всего живого на Земле, данное исследование направлено на изучение воздействия времени нагрева воды в микроволновом поле, что позволит дать рекомендации по более щадящим режимам обработки продуктов в СВЧ-поле.

Цель статьи – построение температурных кривых нагрева воды в СВЧ-поле и построение модели для определения температуры воды в зависимости от длительности нахождения материала под действием электромагнитных волн.

Методы исследования. Экспериментальные исследования по нагреву воды проводились на микроволновой печи фирмы LG модель МН-68070, мощность магнетрона во время обработки устанавливали на 900 Вт для обеспечения непрерывного излучения магнетрона (без отключения). Печь была установлена и использовалась в соответствии с руководством по эксплуатации.

Поскольку за счет испарения происходит быстрое изменение температуры в емкости, для определения температуры воды после ее обработки в поле СВЧ использовался бесконтактный цифровой ИК термометр CASON CA-380. Первоначально осуществлялся набор необходимого количества воды и проверялась его температура (при необходимости температуру снижали за счет смешивания с более холодной). После чего емкость с водой помещали в рабочую камеру. В эксперименте использовали тарированную емкость на 500 мл. Далее микроволновую печь включали в электросеть через комплекс К-50 (что позволя-

ет проверить режим работы магнетрона). ИК термометр размещался на столе для определения температуры воды в емкости после ее обработки в СВЧ-поле.

Регулятор времени устанавливался с незначительным превышением от планируемого времени и отключался строго по секундомеру через заданный интервал времени обработки. Первые значения снимали после обработки воды в течение 5 с. Затем емкость охлаждали, подготавливали новый объем воды и проводили следующий замер с увеличением шага на 5 с (т.е. 10 с, после 15 с обработки и т.д.). Замеры заканчивали после закипания заданного объема воды. Экспериментальные данные повторяли для каждого режима 2 раза.

Результаты исследования. На рис. 1а,б приведены графики изменения температуры воды объемом 100 и 200 мл соответственно в процессе ее обработки в микроволновом поле. Начальная температура воды в экспериментах составляла 18-20 °С. Следует отметить, что поскольку в используемой модели установлен вытяжной вентилятор, в камере создавалось разрежение. Для повышения температуры кипения воды в отдельных экспериментах применяли заградительные поверхности в камере, которые ухудшали циркуляцию воздуха. Период релаксации электромагнитных волн в воде практически отсутствует, что проявляется в снижении ее температуры при отсутствии внешнего энергоподвода. Зависимость температуры воды от длительности нагрева в СВЧ-поле можно описать следующими эмпирическими формулами:

Для объем 100 мл

- конечная температура воды:

$$t_k = -0,0045 \cdot \tau^2 + 1,3244 \cdot \tau + 20,381 \quad (R^2 = 0,99) \quad (1)$$

- градиент температуры:

$$\Delta t = -0,0059 \cdot \tau^2 + 1,4659 \cdot \tau - 0,1744 \quad (R^2 = 0,99) \quad (2)$$

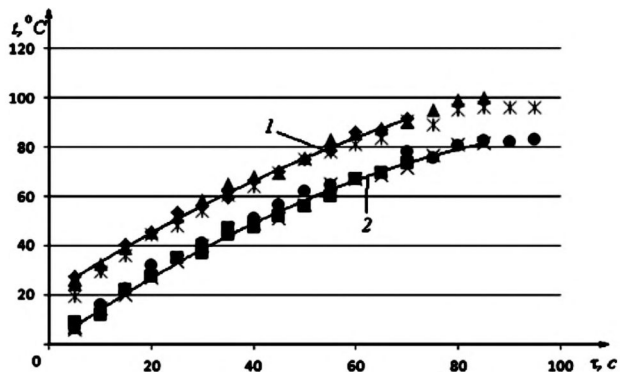
Для объем 200 мл

- конечная температура воды:

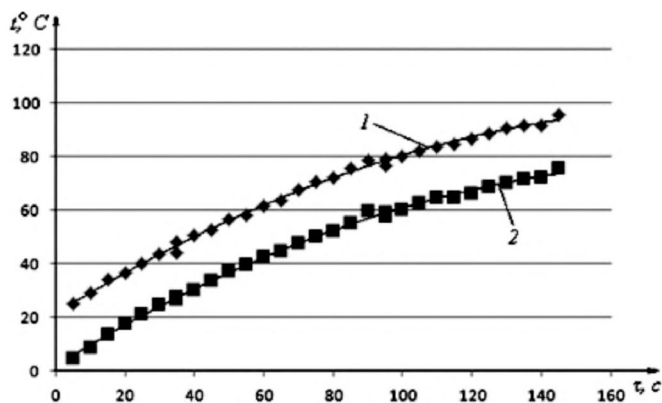
$$t_k = -0,0021 \cdot \tau^2 + 0,7971 \cdot \tau + 21,446 \quad (R^2 = 0,99) \quad (3)$$

- градиент температуры:

$$\Delta t = -0,0021 \cdot \tau^2 + 0,8029 \cdot \tau + 1,7837 \quad (R^2 = 0,99) \quad (4)$$



а)



б)

Рис. 1. График изменения температуры воды при ее нагреве в СВЧ-поле: а) $V = 100$ мл: 1 – конечная температура нагрева; 2 – разность между значениями t_k и t_n ; б) $V = 200$ мл: 1 – конечная температура нагрева; 2 – разность между значениями t_k и t_n

Одним из важных показателей процесса нагрева является количество теплоты, поглощенное телом. Исходя из классической теории теплопередачи [5, 6]:

$$Q = G \cdot c \cdot \Delta t \quad (5)$$

После соответствующих расчетов были получены кривые количества теплоты необходимой для нагрева воды в СВЧ-поле (рис. 2). Отмечено, что в начальный момент (первые 15 с) при обработке 200 мл воды в СВЧ поле наблюдается более интенсивное поглощение теплоты, а следовательно, повышается эффективность работы микроволновой печи.

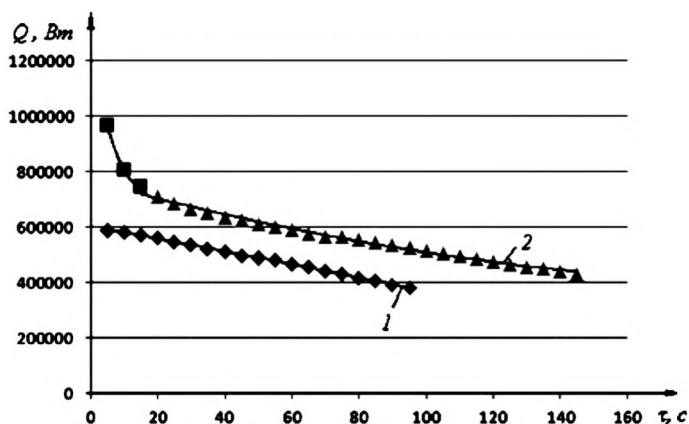


Рис. 2. Соотношение зависимости количества теплоты, поглощенной водой при нагреве в СВЧ-поле, от времени обработки: 1 – $V = 100$ мл; 2 – $V = 200$ мл

В результате обработки данных получены зависимости для определения количества теплоты при нагреве воды:

$V = 100$ мл:

$$Q = -1,9145 \cdot \tau^2 - 2138,1 \cdot \tau + 601354 \quad (R^2 = 0,99) \quad (6)$$

$V = 200$ мл:

при обработке в течение 5-15 с

$$Q = 1993,5 \cdot \tau^2 - 61695 \cdot \tau + 10^6 \quad (R^2 = 0,99) \quad (7)$$

при обработке в течение свыше 15 с

$$Q = 7,0902 \cdot t^2 - 3285,2 \cdot t + 766465 \quad (R^2 = 0,99) \quad (8)$$

Обсуждение результатов. Наиболее полные сведения касательно времени обработки продуктов в микроволновой печи представлены в статье Priyanki Raghuvanshi и др. [3], в течение 10 мин. обработки – при установке мощности магнетрона 320 Вт. Следует отметить, что в материалах не указано, была ли выдержка продукта после обработки (период релаксации). В других публикациях рассматривается воздействие продуктов после обработки в СВЧ-поле в целом, при отсутствии конкретных сведений по режимам обработки. Современные рецептуры, приведенные в доступных источниках (публикации, Интернет-ресурсы) дают лишь общую информацию, что при указанных режимах можно достичь готовности определенных продуктов в течение установленного времени. При этом полезность или вредность таких продуктов не обсуждается. Считаем, что перед тем как давать подобные рекомендации, необходимо провести исследование поведения воды, а в дальнейшем и других продуктов в СВЧ-поле.

По результатам проведенных исследований можно рекомендовать разогрев одной порции продукта (порция первых блюд, булочки, бургеры и т.д.) в течение 1 мин. Установлено, что для употребления в пищу (разогрев хот-догов и гамбургеров в СВЧ-печи) достаточно 30 с (мощность 900 Вт). Для более безопасного употребления разогретых продуктов в пищу их также целесообразно выдержать после обработки в течение 1 мин.

Несмотря на то, что обрабатываемый продукт абсолютно различен по своим свойствам, аналогичное время обработки СВЧ-полем (30...60 с), было принято О.Л. Семеновой (исследования Рудненского индустриального института, Республика Казахстан) для обработки муки с целью улучшения ее хлебопекарных свойств [8]. Время обработки до 30 с было принято и в исследованиях СВЧ-воздействия на опару [9].

Выводы

Проведенный эксперимент показал, что количество теплоты, поглощенное 200 мл воды, превысившее практически на 200 кВт количество теплоты, поглощенное 100 мл воды за тот же период обработки в СВЧ-поле, является свидетельством прямой зависимости данных параметров и необходимости дальнейших исследований с целью поиска оптимума объема нагреваемой жидкости для обеспечения более высокого КПД микроволновых устройств. Дальнейшие исследования следует направить на изучение СВЧ-энергоподвода к большим объемам воды с целью построения зависимостей изменения температур от времени обработки и массы обрабатываемой воды. Также целесообразны исследования обработки различных пищевых продуктов в СВЧ-поле с целью выявления их времени релаксации и установления рациональных режимов обработки. Экспериментально подтверждено, что время релаксации СВЧ-волны в воде практически равно нулю. Для больших объемов воды в первые секунды обработки происходит более интенсивное поглощение энергии. Время закипания 100 мл воды в СВЧ-поле составляет около 70 с, а 200 мл воды – 145 с. Следовательно, для разогрева продуктов в микроволновой печи (при условии ее нормальной работы) увеличивать время обработки свыше 1 мин. нецелесообразно.

Список литературы

- 1 *Кривошеин Д.А., Муравей Л.А., Роева Н.Н.* и др. Экология и безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие для вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 447 с.
- 2 *Заплетников И.Н., Кудрявцев В.Н., Парамонова В.А.* Исследование изменения температуры рыбы зубатка после обработки в переменном электромагнитном поле во время релаксации // Науч. журн. НИУ ИТМО. Сер. "Процессы и аппараты пищевых производств". – 2015. – № 1 (23). – С. 43-47.
- 3 *Priyanka Raghuvanshi, Priyanka Mathur, Ruchisha Sethi, Vidni Kumawat, Kusum Choudhary* effect of microwave exposed mice feed

on the hematological parameters of swiss albino mice // International journal of pharmaceutical research and bio-science – 2013. – Vol. 2 (5). – P. 59-66 – Режим доступа: <http://ijprbs.com/issuedocs/2013/10/IJPRBS%20424.pdf>, свободный. – Яз. англ.

4 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. – 2013. – 106 с.

5 Quan R, Yang C, Rubinstein S. Effects of Microwave Radiation on Anti-infective Factors in Human Milk" // Journal of Pediatrics. – 1992. – Vol. 89, № 4. – P. 667-669.

6 Остриков А.Н. и др. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник для вузов: в 2 кн. – Кн. 1. – СПб.: ГИОРД, 2007. – 704 с.

7 Стабников В.Н., Лысянский В.М., Попов В.Д. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Агропромиздат, 1985. – 503 с.

8 Семёнова О.Л. Разработка технологии обработки пшеничной муки в поле сверхвысокой частоты и исследование влияния режимных параметров на ее показатели качества // Науч. журн. КубГАУ. – 2012. – № 75 (01). – С. 1-15.

9 Ушакова Н.Ф. Исследование влияния СВЧ-облучения мучного полуфабриката пшеничного хлеба на примере традиционной опары // <http://research-journal.org/>: Междунар. науч.-исслед. журн., 2012. URL: <http://research-journal.org/agriculture/issledovaniya-vliyaniya-svch-oblucheniya/> (26.09.2015).