

Таблиця 3 – Данні з кінетики сушіння насіння соняшнику у залежності від щільності теплового потоку

Щільність теплового потоку, кВт/кг	1569	1309	983	658
Тривалість сушіння до вологовмісту 6 %, хв	24	27,5	34	69
Швидкість сушіння у першому періоді, %/хв	1,09	0,94	0,82	0,46
Перший критичний вологовміст, %	13,6	12,2	11,8	11,6
Середня температура шару, °С	50,5	49,5	50	41,5
Максимальна температура шару, °С	63,5	61,5	59,5	44

Висновки

Проведені експериментальні дослідження засвідчили перспективність сушіння насіння соняшнику у ВКШ при радіаційному тепlopідведенні, адже при всіх використаних значеннях щільності теплового потоку вдалося забезпечити кінцевий вологовміст не більше 6 %, середня температура продукту лежала в межах 41,5-50,5° С, не спостерігалось розтріскування лузги. Вибір оптимального режиму сушіння з точки зору енерговитрат потребує визначення оптимальної температури ТЕНів, що забезпечить максимум поглинання інфрачервоного випромінювання.

Література

1. Литвиненко В.С. Рынок семян подсолнечника и продуктов переработки в Украине [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <<http://www.apk-inform.com>>.
2. Пунда И. Подсолнечник. Подсолнечное масло рафинированное и нерафинированное: учеб. пособие / И. Пунда, Д. Приходько. – Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (FAO), 2010. – 43 с.
3. Аргентина, Россия, Украина: конкурентная среда на рынке семян подсолнечника и продуктов переработки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <<http://www.masla.net>>.
4. Арахис сменили семечки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <<http://www.ukrrudprom.ua>>.
5. ГОСТ 22391-89 Подсолнечник. Требования при заготовках и поставках.
6. Поперечний А.М. Лабораторний практикум за курсом «Процеси і апарати харчових виробництв» / А.М. Поперечний, С.О. Чернишов. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2001 р. – 38 с.
7. Лыков А.В. Теория сушки. - М.: Энергия. - 1968. - 472 с.

УДК 001.891.58:[537.531:637.1]

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ МИКРООРГАНИЗМОВ В МИКРОВОЛНОВОМ ПОЛЕ

**Бурдо О.Г., д-р техн. наук, профессор, Рыбина О.Б., к.т.н.
Одесская национальная академия пищевых технологий**

*В статье выдвигается и подтверждается гипотеза о возможности влияния на жизнедеятельность микроорганизмов при помощи изменения параметров высокочастотного электромагнитного поля. Приведено математическое моделирование перегрева микроорганизмов при различных видах подвода энергии. Рассмотрены процессы инактивации и активации микроорганизмов *Saccharomyces cerevisiae*, культур *Cordiceps Chinenses* и *Mesophilic Aromatic*.*

*The paper extends and confirms the hypothesis about the possibility of influence on the vital activity of microorganisms by high-frequency electromagnetic field. The mathematical simulation of overheating of microorganisms for different types of energy supply is presented. Activation and inactivation of microorganisms *Saccharomyces cerevisiae* and cultures *Cordiceps Chinenses* and *Mesophilic Aromatic* are analyzed.*

Ключевые слова. Инактивация (активация) микроорганизмов, электромагнитное поле, удельная мощность.

Введение

Известно, что микроорганизмы чувствительны к влиянию электромагнитного поля (ЭМП) [1]. В работе защищается гипотеза, что уровень энергетического воздействия является эффективным инструментом управления процессами жизнедеятельности микроорганизмов. Представляется, что существует неко-

торая критическая плотность электромагнитного воздействия, приближение к которой увеличивает жизненную активность микроорганизмов, а превышение – вызывает их инактивацию. В статье приводятся результаты аналитических и экспериментальных исследований влияния ЭМП микроволнового диапазона на микроорганизмы.

Математическое моделирование теплового состояния микроорганизмов. Из литературных данных известно [1, 2], что инактивация микроорганизмов при помощи электромагнитного поля происходит при температурах, меньших, чем при обычной термической пастеризации. Это объясняется избирательным нагревом. Так как диэлектрические характеристики микроорганизма и окружающей его среды различны, то и нагреваться в электромагнитном поле они будут по-разному. Поскольку температуру микроорганизма измерить затруднительно, было проведено математическое моделирование процессов нагрева микроорганизмов при различных условиях теплообмена на его границе:

а) конвективном теплообмене (по уравнению Ньютона – Рихмана)

$$\frac{d\Theta}{dt} = A - \alpha \cdot B \cdot \Theta \quad (1)$$

где Θ – перегрев микроорганизма относительно среды, A – параметр, зависящий от мощности электромагнитного поля, B – параметр, зависящий от физических свойств микроорганизма и окружающей его среды, α – коэффициент теплоотдачи;

б) теплообмене по уравнению теплопроводности

$$\begin{cases} \frac{\partial \Theta_i}{\partial t} = a_i \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial \Theta_i}{\partial r} \right) + A_i \\ \text{где } 0 \leq r < R \text{ для } i = 1; \quad R \leq r < \infty \text{ для } i = 2 \\ A_1 = A \quad \text{и} \quad A_2 = 0 \\ \Theta_i(r, 0) = 0; \quad \Theta_2(\infty, t) = 0; \quad \frac{\partial \Theta_1}{\partial r} \Big|_{r=0} = 0 \\ \Theta_1(R, t) = \Theta_2(R, t); \quad \lambda_1 \frac{\partial \Theta_1}{\partial r} \Big|_{r=R} = \lambda_2 \frac{\partial \Theta_2}{\partial r} \Big|_{r=R} \end{cases} \quad (2)$$

где R – радиус микроорганизма, t – время нагрева в электромагнитном поле, λ – коэффициент теплопроводности;

в) учитывалось влияние на перегрев микроорганизма его защитной оболочки

$$\Delta \Theta_{cm} = A \frac{hR}{3\alpha} \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_0} \quad (3)$$

где h – толщина оболочки.

Расчеты показали, что перегрев максимален при импульсном воздействии ЭМП. Более того, с уменьшением длительности импульса перегрев увеличивается

$$\Theta(\tau_u) = A_u \left[\operatorname{erf} \left(\frac{1}{2\sqrt{Fo_u}} \right) - \frac{1}{\sqrt{\pi Fo_u}} \exp \left(-\frac{1}{4Fo_u} \right) + \frac{1}{2Fo_u} \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{1}{2\sqrt{Fo_u}} \right) \right) \right] \quad (4)$$

Экспериментальное моделирование процесса инактивации микроорганизмов. В опытах использовались микроорганизмы *Saccharomyces cerevisiae* в молочной сыворотке. Методика опытов изложена в [3]. Значение мощности ЭМП было порядка 0,68 кВт/кг. Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что эти микроорганизмы инактивируются при температурах 46°C. Тогда как на производствах при термической пастеризации (без использования электромагнитного поля) температуры составляют 60 – 90°C.

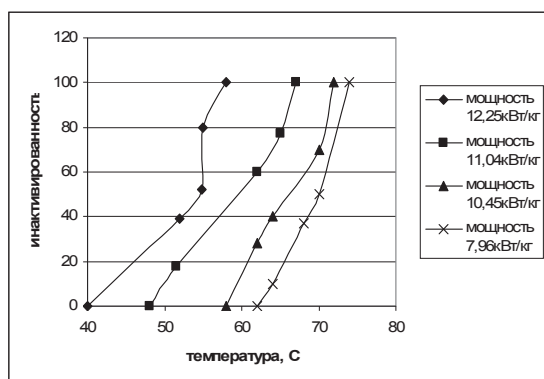


Рис. 1 – Зависимость инаktivированности дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* от температуры нагрева при различных значениях мощности электромагнитного поля

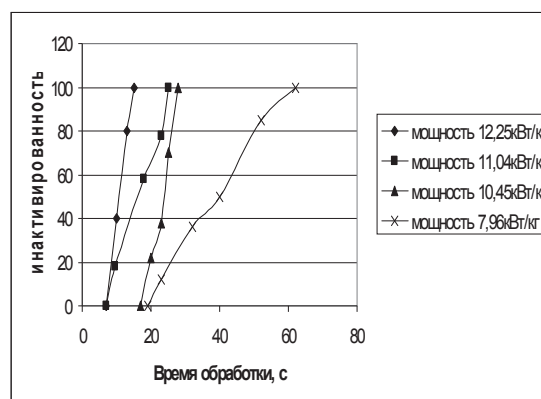


Рис. 2 – Зависимость инаktivированности дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* от времени обработки при различных значениях мощности электромагнитного поля

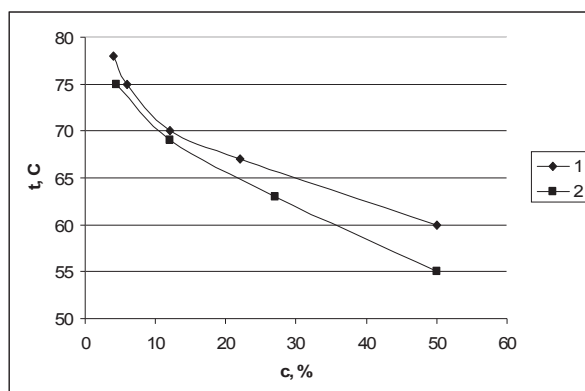


Рис. 3 – Зависимость температуры инаktivации от концентрации сухих веществ для 1- творожной, 2 – казеиновой сывороток

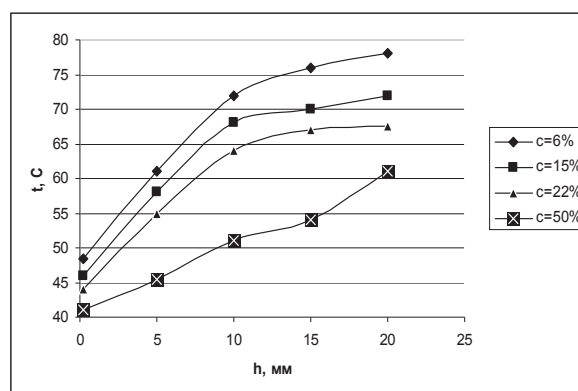


Рис. 4 – Зависимость температуры инаktivации от толщины обрабатываемого слоя для различной концентрации сухих веществ.

Экспериментально исследовали, как влияют на инаktivированность микроорганизмов мощность электромагнитного поля, концентрация сухих веществ, толщина обрабатываемого слоя, скорость протекания продукта и дополнительная закрутка канала, по которому продукт протекал. Было установлено, что инаktivированность увеличивается, а температура инаktivации, соответственно, снижается с увеличением мощности электромагнитного поля. Так увеличение мощности ЭМП позволяет снизить температуру инаktivации на 20°C (рис.1), а время обработки – на 60с (рис.2). Рост концентрации сухих веществ продукта от 6 до 50% снижает температуру инаktivации на 20°C (рис.3). Уменьшение толщины обрабатываемого слоя с 20 до 0,2 мм снижает температуру инаktivации на 20°C (рис.4).

Вся серия графиков, представленных выше, относится к неподвижному слою продукта. Дальнейшие эксперименты проводились в потоке по прямому трубопроводу и трубопроводу в виде змеевика. Результаты экспериментов свидетельствовали о том, что инаktivированность микроорганизмов росла, а температура инаktivации снижалась при увеличении скорости протекания. Наименьшие значения температуры инаktivации (39°C) были получены при движении продукта по трубопроводу в виде змеевика.

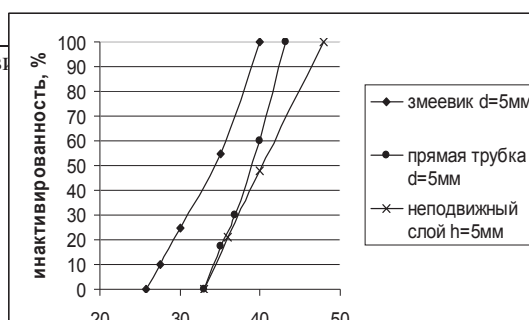
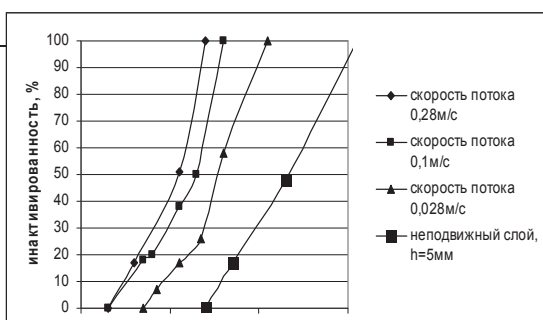


Рис. 5 – Зависимость инаktivированности от температуры при различной скорости протекания сывортки по прямому трубопроводу

Рис. 6 – Зависимость инаktivированности от температуры для змеевика, прямого трубопровода и неподвижного слоя одинаковой толщины

Экспериментальные исследования процессов активации микроорганизмов с помощью ЭМП. Задача повышения активности микроорганизмов решалась с культурами *Cordiceps Chinenses* (тибетский кефирный гриб), *Mesophilic Aromatic Culture* и также *Saccharomyces cerevisiae*. В этом случае применялись удельные мощности в диапазоне $0,02 \div 0,2$ кВт/кг. И *Cordiceps Chinenses*, и *Mesophilic Aromatic* применяются для производства кефира. Важными параметрами в этом процессе являются значение pH и прирост биомассы. Результаты измерения pH и прироста биомассы для *Cordiceps Chinenses* представлены в таблице 1 и на графиках (рис.7, 8, 9).

Таблица 1 – Результаты экспериментальных измерений для *Cordiceps Chinenses*

Время обработки, мин	Температура после обработки, °C	pH через 23 часа	Удельная мощность, кВт/кг	Прирост массы, %
10	28-30	4,05	0,080	24
9	31-32	4,13	0,086	20
9	29-33	4,16	0,100	23
6	20-21	4,20	0,064	24
5	23	4,23	0,065	21
3	26	4,35	0,172	17
4	25	4,42	0,050	26
4	22	4,46	0,070	30
контроль		4,6		15

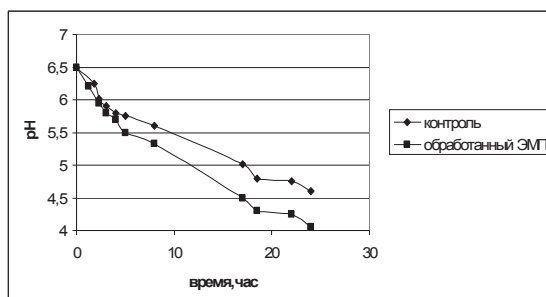


Рис. 7 – Зависимость pH продукта от времени выдержки

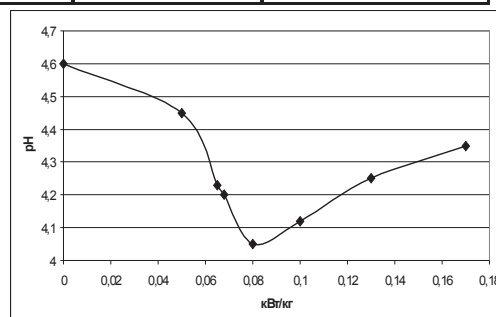


Рис. 8 – Зависимость pH продукта от удельной мощности электромагнитного поля

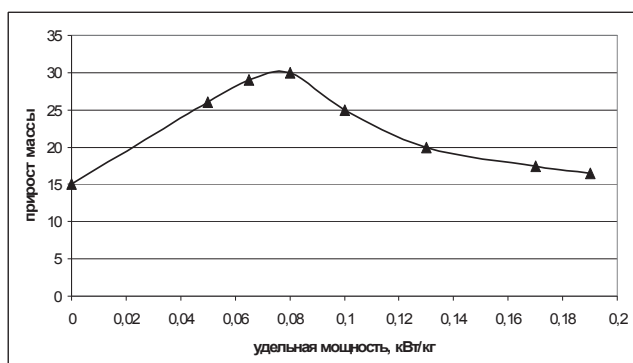


Рис. 9 – Залежність приросту біомаси (в %) від удельної потужності електромагнітного поля

Из рис.7 следует, что значение $pH=4,6$, которое свидетельствует о сквашенности кефира, для контрольного образца достигается через 23 часа выдержки, а для образца, обработанного электромагнитным полем, – через 16 часов выдержки. Т.е. электромагнитная обработка сокращает время сквашивания кефира на 7 часов. На рис.8 представлена зависимость pH от удельной мощности, на рис.9 – прирост биомассы в зависимости от удельной мощности электромагнитного поля. Видно, что значение мощности, равное $0,08 \text{ кВт/кг}$ дает и минимальное значение pH , и максимальный прирост биомассы (в 2 раза больше по сравнению с контрольным образцом).

Для *Mesophilic Aromatic* измерялась кинетика изменения pH при разных значениях удельной мощности. Результаты сведены в таблицу 2 и представлены на графике (рис.10). Все экспериментальные точки этого графика хорошо ложатся на кривые, описываемые полиномами второго порядка (для их аппроксимации применялся метод наименьших квадратов). Параметром является удельная мощность.

Таблица 2 – Результаты экспериментальных исследований для культуры *Mesophilic Aromatic* Culture

Время обработки, мин	Удельная мощность, кВт/кг	Изменение pH во времени						
		2ч	3ч	4ч	5ч	6ч	7ч	8ч
6	0,011	6,30	5,98	5,70	5,47	5,18	4,95	4,81
5	0,020	6,20	5,90	5,55	5,35	5,10	4,90	4,71
10	0,052	6,10	5,72	5,37	5,10	4,88	4,70	4,59
2	0,060	5,89	5,50	5,18	4,82	4,65	4,51	4,44
5	0,125	6,03	5,63	5,29	5,01	4,81	4,63	4,53
4	0,147	6,15	5,80	5,44	5,22	4,98	4,78	4,63
3	0,216	6,48	6,21	5,95	5,79	5,49	5,29	5,10
3	0,260	6,71	6,59	6,45	6,27	6,07	5,91	5,73
2	0,324	6,86	6,77	6,69	6,61	6,45	6,40	6,28
3	0,389	6,92	6,87	6,83	6,81	6,75	6,65	6,63
1	0,454	6,97	6,93	6,88	6,88	6,83	6,83	6,80
5	0,518	6,97	6,97	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93
3	0,583	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
контроль		6,36	6,04	5,78	5,49	5,26	5,02	4,85

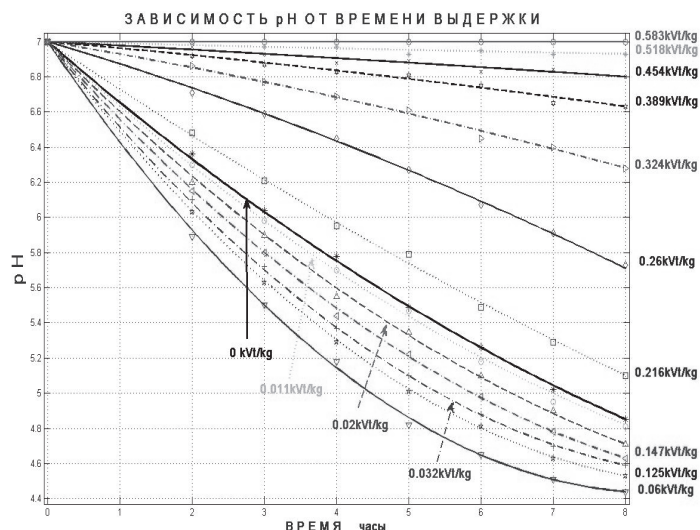


Рис. 10 – зависимость pH от времени выдержки при различных удельных мощностях

На основании данных таблицы 2 и рис 10 построена сводная зависимость pH от удельной мощности (рис.11). Из нее следует, что при малых мощностях pH не зависит от мощности (зона 1). При увеличении мощности значение pH уменьшается (зона 2). При мощности 0,06 кВт/кг – значение pH минимально. При дальнейшем увеличении мощности конечное значение pH начинает расти (зона 3). При мощности 0,18 кВт/кг значение pH у продукта такое же, как и в контрольном образце. При еще большем увеличении мощности pH растёт до первоначального значения.

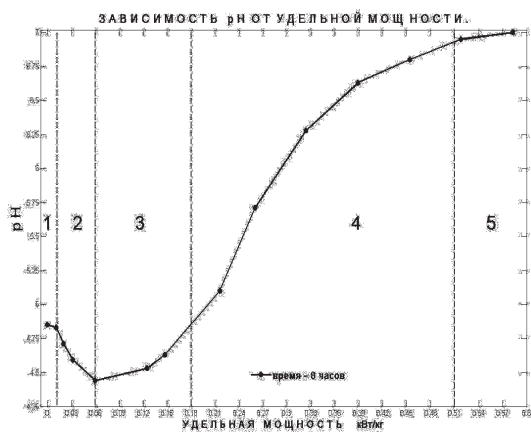


Рис. 11 – Зависимость pH от удельной мощности



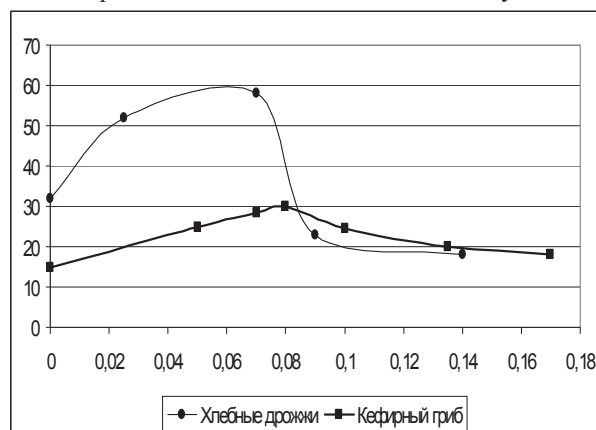
Рис. 12 – Сводная зависимость pH от удельной мощности для Mesophilic Aromatic Culture и Cordiceps Chinenses

Показателем повышения активности для *Saccharomyces cerevisiae* являлся процент почкования, который определялся после обработки их электромагнитным полем и выдержки в темостате в течение двух часов. Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Зависимость почкования хлебных дрожжей после обработки в электромагнитном поле от удельной мощности

№ образца	Общее кол-во в поле зрения	Кол-во почкующихся	Кол-во непочкующихся	% почкования	Средний % почкования	Удельная энергия, кДж/кг	Время обработки, мин	Удельная мощность, кВт/кг
1	13	5	8	38	23,4	6,301	5	0,0877
	14	4	10	28				
	14	3	11	21				
	27	5	22	19				
	19	2	17	11				
2	19	3	16	16	17,2	5,999	3	1,1393
	23	3	20	13				
	35	7	28	20				
	22	2	20	9				
	28	8	20	28				
3	4	3	1	72	54,5	2,500	4	0,0217
	19	6	13	32				
	18	6	12	33				
	4	3	1	75				
	7	4	3	57				
4	13	8	5	62	58,2	1,999	3	0,0464
	17	13	4	76				
	20	10	10	50				
	14	8	6	57				
	11	5	6	46				
контроль	24	15	9	63	32,6			
	22	9	13	41				
	25	5	20	20				
	13	3	10	23				
	44	7	37	16				

На рис.12 представлена сводная зависимость pH от удельной мощности для *Mesophilic Aromatic* и *Cordiceps Chinenses* от удельной мощности ЭМП. Эти кривые имеют схожий характер. Для *Mesophilic Aromatic* минимальное значение pH соответствует значению удельной мощности 0,06 кВт/кг, а для *Cordiceps Chinenses* – 0,08 кВт/кг. На рис. 13 – сводная зависимость прироста биомассы для *Cordiceps Chinenses* и процента почкования для *Saccharomyces cerevisiae*. Здесь также прослеживается аналогия. Максимум прироста биомассы для тибетского молочного гриба приходится на удельную мощность 0,08кВт/кг, а максимальное значение процента почкования для *Saccharomyces cerevisiae* – 0,06кВт/кг.

Рис. 13 – Сводная зависимость прироста биомассы и процента почкования для *Cordiceps Chinenses* и *Saccharomyces cerevisiae*

Выводы

В результате проведенных комплексных и экспериментальных подтверждена выдвинутая в работе гипотеза об эффективности управления процессами жизнедеятельности микроорганизмов с помощью регулирования удельной мощности электромагнитного поля. Показано, что время сквашивания кефира сокращается на 7 часов.

Литература

1. Вызулин С.А., Вызулина В.И., Крыцын Д.И. Эффект действия излучения магнитостатических волн на биологическую активность микроорганизмов. [Текст]. Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества, 2004, №4, с. 28 – 33.
2. Renzo Carta, Francesco Desyus. The effect of low-power microwaves on the growth of bacterial populations in a plug flow reactor. [Текст]. AIChE Journal, v. 56, iss 5, pp 1270 – 1278, May, 2010
3. Бурдо О.Г., Рыбина О.Б. Процессы инактивации микроорганизмов в микроволновом поле. [Текст]. 200стр., Одесса-2010, Изд. «Полиграф».

УДК 62229.316.0002.51

ДИНАМІКА ОЧИСТКИ РОСЛИННИХ ОЛІЙ У ЦЕНТРОБІЖНОМУ ПОЛІ

Осадчук П.І., канд. техн. наук, доцент
Одеський державний аграрний університет, м. Одеса

Розглянуті теоретичні основи технології очищення рослинних олій у центробіжному полі. Визначені поля швидкостей і тисків рослинної олії у середині центрифуги при її обертанні. Наведено аналітичне рішення системи рівнянь нерозривності та руху в'язкої рідини.

Theoretical bases of technology of cleaning of roslinikh of butters are considered in the centrobizhnomu field. Certain fields of speeds and tiskiv of vegetable butter in serezeni centrifuges at its rotation. The analytical decision of the system of rivnnyan' unbreak and motion of vya'zkoj liquid is resulted.

Ключові слова: рослина олія, центрифуга, поле швидкостей, поле тиску, очистка олії.

Центрифугування - один з основних методів [1] технології очистки рослинної олії. Поля швидкостей і тисків усередині центрифуги визначають явища масопереносу домішок у процесі очищення, звідки впливає актуальність дослідження динаміки рослинних олій усередині центрифуги.

Визначені поля швидкостей і тисків рослинної олії усередині центрифуги при її обертанні.

Позначення:

ω – кутова швидкість центрифуги,

R – радіус внутрішньої стінки центрифуги,

a – ширина кишені пастки,

h – висота внутрішньої стінки,

ρ – щільність рослинної олії,

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості рослинної олії

r, φ, Z – циліндричні координати

При зростанні кутової швидкості ротора центрифуги, пульсації швидкостей нестисливої рідини, якою є рослинна олія, згладжуються і поля швидкостей можна вважати стаціонарними і осесиметричними. У цьому випадку в диференціальних рівняннях нерозривності й руху зникає кутова координата, і динамічна задача стає осесиметричною. Для кожного елемента рідини усередині центрифуги введемо поняття власної площини, тобто такої площини, що проходить через елемент із координатами (r, Z) і вісь центрифуги. Поставимо у відповідність кожній точці (r, Z) вектор швидкостей $(\mathcal{G}_r, \mathcal{G}_Z)$ і приймемо гіпотезу, що ротор елемента рідини лежить у власній площині:

$$\frac{\partial \mathcal{G}_r}{\partial Z} = \frac{\partial \mathcal{G}_Z}{\partial r} \quad (1)$$