

УДК 631.362.62

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИЗУЧЕНИЯ
ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ****И. И. Максимов, Н. В. Януков, А. В. Майоров,
Д. А. Михеева, И. В. Эштуков***Марийский государственный университет, г. Йошкар-Ола***THEORETICAL PRECONDITIONS OF STUDYING
OF REMOVAL PROCESS OF POLLUTION IN THE ULTRASONIC FIELD****I. I. Maksimov, N. V. Yanykov, A. V. Maiorov,
D. A. Miheeva, I. V. Eshtykov***Mari State University, Yoshkar-Ola*

Удаление различных видов загрязнений при производстве консервов потоком моющей жидкости в ультразвуковом поле состоит из многих процессов, для описания которых можно воспользоваться классическими законами равновесной термодинамики. При этом наиболее подходящим является метод термодинамических потенциалов. В статье рассматриваются необходимые условия протекания процесса удаления загрязнений в потоке жидкости. Для этого вводим термодинамические потенциалы, которые являются функциями состояния рассматриваемой системы. Затем составляем уравнение для целого комплекса изучаемых процессов, учитывая тот факт, что изменение состояния системы ведет к увеличению или уменьшению потенциалов, являющимся полным дифференциалом. Метод термодинамических потенциалов наиболее предпочтителен с физической точки зрения потому, что величины, входящие в полученные уравнения, можно экспериментально измерить, а объект очистки рассматривается более обобщенно. В качестве величины, характеризующей стойкость загрязнений, нами предлагается использовать энергию, затраченную на разрушение и удаление единицы его массы. Таким образом, воздействие потока моющей жидкости в ультразвуковом поле на пленку загрязнения сводится к нахождению величин потенциала стойкости. А значит, мы сможем установить закономерности в самом механизме процесса удаления загрязнения с поверхности объекта очистки и наиболее значимые связи, присутствующие здесь. Необходимо отметить тот факт, что практикой установлен существующий оптимальный температурный диапазон как для моющих растворов, так и для ультразвуковой очистки, которые совпадают. Это связано с тем, что при меньшей температуре снижается химическая активность раствора, при большей – повышается упругость пара внутри кавитационной полости, что приводит к снижению интенсивности кавитационного воздействия. Кроме того, температурным градиентом можно пренебречь.

Ключевые слова: жестяные банки, загрязнение, потенциал стойкости, поток жидкости, скорость разрушения, скорость растворения

Removal of various kinds of pollution in the production of canned with the flow of washing liquid in the ultrasonic field consists of many processes. To describe them, we can use the classical laws of thermodynamics equilibrium. The most suitable is the method of thermodynamic potentials. The article discusses the necessary conditions of the process of contaminants removal in the fluid flow. For this purpose we enter thermodynamic potentials which are functions of a condition of the considered system. Then we form the equation for a whole range of processes under study. We take into account the fact that the change of state of the system leads to an increase or decrease in potential, is a total differential. The method of thermodynamic potentials is most preferable from a physical point of view. The values included in the resulting equations can be experimentally measured, and an object under cleaning is viewed more generally. As the quantity characterizing the durability of pollution, we propose to use the energy spent on the destruction and removal of units of its weight. Thus, the impact of the flow of washing liquid in the ultrasonic field on the dirt film is reduced to finding the values of the resistance potential. This means that we will be able to establish patterns in the very mechanism of the process of removing dirt from the surface of an object under cleaning and the most important connections, present here. It should be noted that existing practices set an optimal temperature range for washing solutions, and for ultrasonic cleaning, which coincide. This is due to the fact that at a lower temperature the chemical activity of the solution decreases, at greater – the vapor pressure increases within the cavitation cavities, which reduces cavitation intensity. In addition, a temperature gradient can be neglected.

Keywords: cans, pollution, resistance potential, flow of liquid, rate of destruction, dissolution rate

Потенциал стойкости для загрязнений в ультразвуковом поле

$$\varphi = \frac{\Delta A}{\Delta m}, \tag{1}$$

где ΔA – энергия, затраченная на разрушение и удаление единицы массы Δm загрязнения.

Рассмотрим комплекс процессов (рис. 1), происходящих при удалении загрязнения с поверхности движущегося объекта очистки в ультразвуковом поле.

При его вхождении в моющую жидкость (МЖ) на пленку действуют ультразвук (УЗ) и гидродинамические силы. Под действием ударной волны, возникающей при захлопывании кавитационных пузырьков, в пленке образуются каверны. Проникая в них, молекулы моющего раствора отделяют грязевую частицу от поверхности объекта. Под действием ультразвуковых колебаний пузырьки интенсивно колеблются, также вызывая разрушение верхнего загрязняющего слоя. Тем самым происходит очистка [1].

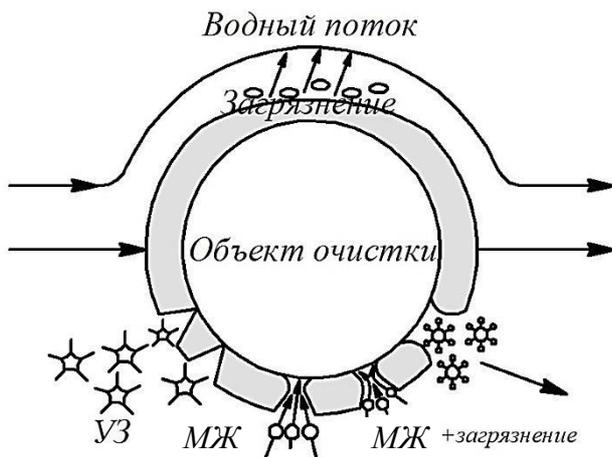


Рис. 1. Механизм процесса удаления загрязнения с поверхности движущегося объекта очистки в ультразвуковом поле

Необходимые условия протекания процесса удаления загрязнений в ультразвуковом поле

Пусть dh_n – толщина пленки, разрушаемой водным потоком за время dt , и $dh_{yз}$ – глубина продвижения фронта проникающей в пленку моющей жидкости за то же время под действием ультразвука за время dt_1 , тогда

$$\frac{dh_n}{dt} \leq \frac{dh_{yз}}{dt_1}. \tag{2}$$

Выразив dh_n и $dh_{yз}$ через элементарные объемы dV_n и $dV_{yз}$, плотности загрязнения ρ_n и плотность моющей жидкости $\rho_{yз} = f(h_{муз}t, grad p)$ и элементарные массы,

$$\frac{dm_n}{\rho_n} \leq \frac{dm_{yз}}{\rho_{yз} - f(h_{муз}t, grad p)}, \tag{3}$$

где $\rho_{yз} = f(h_{муз}t, grad p)$ – функция распределения плотности моющей жидкости в пленке за время действия ультразвука t_1 .

С некоторым приближением можно принять, что $\rho_n \approx \rho_{yз}$. Поэтому

$$\frac{dm_n}{\rho_n} \leq \frac{dm_{yз}}{\rho_n - f(h_{муз}t, grad p)}. \tag{4}$$

Это уравнение показывает, что происходит изменение энергии системы за счет изменения концентрации или состава ее компонентов из-за воздействия потока жидкости и УЗ на величину

$$\sum_{i=1}^e \varphi_{yзи} \cdot dn_{yзи}, \tag{5}$$

где $\varphi_{yзи}$ – химический потенциал моющей жидкости;

$dn_{yзи}$ – количество компонентов i при миграции моющей жидкости под действием УЗ.

Основное термодинамическое уравнение загрязнений в ультразвуковом поле

Воздействие ультразвука на пленку сопровождается комплексом взаимосвязанных тепло-массообменных, физико-химических и физико-механических процессов. Принимая во внимание тот факт, что осуществляется квазистатический процесс, основное уравнение термодинамики для системы с переменной массой можно записать:

$$TdS = dU + \sum_{i=1}^n Cdc_i + \sum_{i=1}^n \varphi_{yзи} \cdot dn_{yзи}, \tag{6}$$

где T – температура;

dS – функция, которая может быть определена дифференциальным уравнением;

S – энтропия;

dU – изменение внутренней энергии рассматриваемой системы «удаляемое загрязнение – объект очистки»;

C_i – обобщенная сила, это есть функция внешних параметров c_i и температуры T .

Свободная энергия Гиббса будет определяться по формуле

$$dG = -SdT + pdV + Vdp - \sum_{i=1}^n Cdc_i - \sum_{i=1}^n \varphi_{yзи} \cdot dn_{yзи}, \tag{7}$$

где p – гидростатическое давление;

dV – бесконечно малое изменение объема рассматриваемой системы;

V – объем системы.

Пусть δA_1 – работа, совершаемая моющим раствором при удалении загрязнения, при этом смещаются его границы и преодолевается равномерно распределенное гидростатическое давление p , которое не всегда равно давлению в системе. Это равенство может наблюдаться в том случае, когда удаляемое загрязнение находится в квазистатическом равновесии с потоком.

$$\delta A_1 = c_1 dC_1 \equiv pdV. \quad (8)$$

$\delta A_1 = c_1 dC_1 \equiv pdV$, $T = const$, уравнение (7) перепишется:

$$dG = Vdp - \sum_{i=1}^n Cdc_i - \sum_{i=1}^n \varphi_{yzi} dn_{yzi}. \quad (9)$$

Следовательно, для описания процессов удаления загрязнений с учетом действия моющего раствора в ультразвуковом поле наиболее удобным с практической точки зрения является уравнение (9), так как в этом случае работа внешних сил $\sum_{i=1}^n Cdc_i$, изменение энергии системы за счет изменения концентрации или состава ее компонентов при массообменных процессах $\sum_{i=1}^n \varphi_{yzi} dn_{yzi}$ и сопутствующих им термо-физико-химических процессах равна изменению свободной энергии системы (рис. 2).

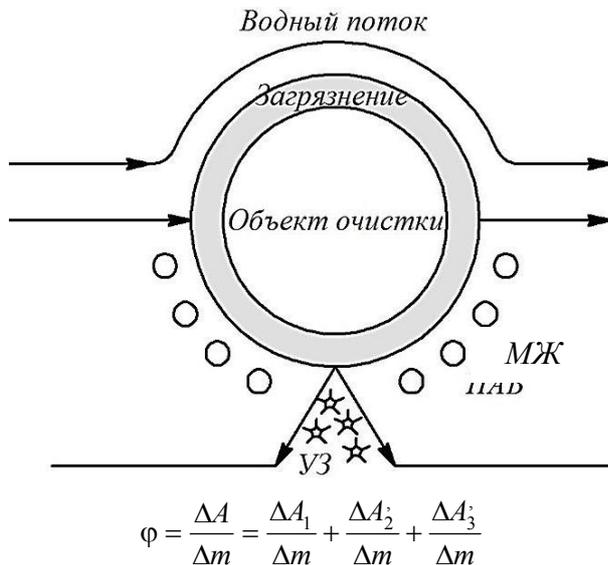


Рис. 2. Схема для определения потенциала стойкости загрязнения: n_i – количество компонента i , число молей; μ_i – химический потенциал, показывающий изменение свободной энергии загрязнения, вызванная изменением содержания i -го, если остальные неизменны

Переменные $\sum_{i=1}^n Cdc_i$ – элементарные работы, совершаемые системой против сил различной природы. Переменные $\sum_{i=1}^n \varphi_{yzi} dn_{yzi}$ – относительные изменения работ, совершаемые системой против тех же сил различной природы в связи с происшедшими массообменными процессами.

$\sum_{i=1}^n Cdc_i$ записывается со знаком «-», так как наблюдаются энергетические затраты при изменении свободной энергии системы. $\sum_{i=1}^n \varphi_{yzi} dn_{yzi}$ записывается со знаком «+», так как инфильтрация приводит к увеличению разрушения пленки.

Определение потенциала стойкости загрязнений в ультразвуковом поле

В том случае когда процесс удаления загрязнения с поверхности объекта очистки и инфильтрации стабилизировался, давление и температура постоянны, минимальная и постоянная во всех точках объема системы свободная энергия G может быть достигнута сочетанием таких величин, как Vdp , $\sum_{i=1}^n Cdc_i$, $\sum_{i=1}^n \varphi_{yzi} dn_{yzi}$.

Проинтегрируем уравнение (9):

$$\Delta G = -\Delta A = -\Delta A_1 - \Delta A_2 - \Delta A_3, \quad (10)$$

где ΔA_1 , ΔA_2 , ΔA_3 – энергии, затрачиваемые на процессы.

Разделим обе части уравнения на Δm :

$$\varphi = \frac{\Delta A}{\Delta m} = \frac{\Delta A_1}{\Delta m} + \frac{\Delta A_2}{\Delta m} + \frac{\Delta A_3}{\Delta m}. \quad (11)$$

Выводы

1. Для описания процессов удаления загрязнений предложено использовать метод термодинамических потенциалов. С практической точки зрения именно термодинамический потенциал Гиббса наиболее удобен, так как все входящие в него величины можно измерить экспериментально.

2. Выявлено, что потенциал стойкости – величина аддитивная и постоянная для конкретного вида загрязнения, выражающий его свойства, и выступает в качестве единого интегрального критерия оценки стойкости загрязнения.

Литература

1. Абрамов О. В. Ультразвуковая обработка материалов. М., 1984.
2. Базаров И. П. Термодинамика. М., 1976.
3. Максимов И. И., Максимов В. Н. Энергетическая концепция эрозионной устойчивости антропогенных агроландшафтов. Чебоксары, 2006.

References

1. Abramov O. V. Ul'trazvukovaja obrabotka materialov. M., 1984.
2. Bazarov I. P. Termodinamika. M., 1976.
3. Maksimov I. I., Maksimov V. N. Jenergeticheskaja koncepcija jerozionnoj ustojchivosti antropogennyh agrolandshaftov. Cheboksary, 2006.

Статья поступила в редакцию 10.10.2016 г.

Submitted 10.10.2016.

Для цитирования: Максимов И. И., Януков Н. В., Майоров А. В., Михеева Д. А., Эштуков И. В. Теоретические предпосылки изучения процесса удаления загрязнений в ультразвуковом поле // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2016. Т. 2. № 4 (8). С. 36–39.

Citation for an article: Maksimov I. I., Janukov N. V., Majorov A. V., Miheeva D. A., Jeshtukov I. V. Theoretical preconditions of studying of removal process of pollution in the ultrasonic field. *Vesnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*. 2016, t. 2, no. 4 (8), pp. 36–39.

Максимов Иван Иванович,

доктор технических наук, профессор,
Марийский государственный университет,
г. Йошкар-Ола, kafmeh@yandex.ru

Януков Николай Вадимович,

кандидат технических наук, доцент,
Марийский государственный университет,
г. Йошкар-Ола, kafmeh@yandex.ru

Майоров Андрей Валерьевич,

кандидат технических наук, доцент,
Марийский государственный университет,
г. Йошкар-Ола, kafmeh@yandex.ru

Михеева Диана Андреевна,

преподаватель, Марийский государственный университет,
г. Йошкар-Ола, kafmeh@yandex.ru

Эштуков Игорь Викторович,

преподаватель, Марийский государственный университет,
г. Йошкар-Ола, kafmeh@yandex.ru

Maksimov Ivan Ivanovich,

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Mari State University, Yoshkar-Ola,
kafmeh@yandex.ru

Janukov Nikolay Vadimovich,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Mari State University, Yoshkar-Ola, kafmeh@yandex.ru

Majorov Andrey Valerievich,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Mari State University, Yoshkar-Ola, kafmeh@yandex.ru

Mikheeva Diana Andreevna,

teacher, Mari State University, Yoshkar-Ola,
kafmeh@yandex.ru

Eshtykov Igor Viktorovich,

Lecturer, Марийский государственный университет,
г. Йошкар-Ола, kafmeh@yandex.ru