

Толочко Н.К.,
Челединов А.Н.

Белорусский государственный аграрный
технический университет,
г. Минск, Беларусь
E-mail: n.tolochko@hotmail.com

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОСТИ
КАВИТАЦИИ И НЕРАВНОМЕРНОСТЬ
ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ В
УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВАННЕ**

УДК 621.9.048.6

Выполнен анализ результатов экспериментальных исследований закономерностей моечно-очистной обработки деталей сельскохозяйственной техники и плодоовощных продуктов в ультразвуковой ванне, на основе которого установлены численные значения параметров неоднородности пространственного распределения активности кавитации, обусловленной поглощением ультразвуковых волн моющей жидкостью, их взаимодействием с очищаемыми предметами, а также образованием стоячих волн, и соответствующих им параметров неравномерности очистки поверхностей разных одновременно очищаемых предметов или разных участков поверхности одного и того же очищаемого предмета. Учет этих значений позволяет количественно оценивать степень влияния пространственно-неоднородного распределения активности кавитации на неравномерность очистки.

Ключевые слова: ультразвуковая ванна, кавитация, детали сельскохозяйственной техники, плодоовощные продукты, загрязнение поверхности, очистка.

Введение. В последние годы в аграрной индустрии получили распространение технологии ультразвуковой (УЗ) очистки поверхностей деталей сельхозтехники и плодоовощных продуктов от различных видов загрязнений. Для их реализации применяются УЗ моечные ванны, очищающее действие которых основано на явлении акустической кавитации. Эффективность УЗ очистки тем выше, чем выше активность кавитации a_k . На практике важно создавать такие условия очистки, при которых достигается равномерное удаление загрязнений с поверхностей очищаемых предметов, для чего следует обеспечивать однородное распределение a_k по всему объему моющей жидкости, в пределах которого осуществляется очистка. Однако экспериментальные исследования показывают, что a_k распределяется по объему жидкости в рабочей полости УЗ ванны неоднородно, следствием чего является неравномерная очистка поверхностей [1, 2]. Во избежание этого нежелательного явления используются специальные технические средства, обеспечивающие повышение равномерности очистки в пространственно-неоднородном УЗ поле путем регулируемого изменения расположения очищаемых предметов в объеме моющей жидкости [1-4].

Для принятия практических мер по предотвращению неравномерности очистки поверхностей важно учитывать степень влияния пространственной неоднородности распределения a_k на неравномерность очистки. Для этого необходимо знать количественные соотношения между параметрами пространственной неоднородности распределения a_k и неравномерности очистки. Ранее такие соотношения не устанавливались. В выполнявшихся до сих пор работах, посвященных вопросам очистки поверхностей в УЗ ваннах, обычно исследовались особенности пространственно-неоднородного распределения a_k (как правило, особенности изменения a_k с удалением от излучателя) без рассмотрения их конкретного влияния на неравномерность очистки [1, 2] либо приводилось качественное описание неравномерностей очистки как возможного следствия пространственно-неоднородного распределения a_k [3, 4].

Цель исследований. Цель представленных в данной статье исследований – определить численные значения параметров пространственной неоднородности распределения a_k и соответствующих им параметров неравномерности очистки поверх-

ностей на основе анализа экспериментально установленных закономерностей УЗ мочечно-очистной обработки деталей сельхозтехники и плодоовощных продуктов.

Методика исследований. Дадим определение параметрам пространственной неоднородности распределения a_k и неравномерности очистки поверхностей с учетом наличия взаимосвязи этих параметров.

Пространственная неоднородность распределения a_k в объеме моющей жидкости характеризуется относительной разницей значений a_k в локальных областях этого объема, соответствующих местоположениям сравниваемых одновременно очищаемых предметов или участков поверхности одного и того же очищаемого предмета. Таким образом, параметром пространственной неоднородности распределения a_k в объеме моющей жидкости является отношение значений a_{k1} и a_{k2} в двух разных точках этого объема: $\zeta_a = a_{k1}/a_{k2}$ ($a_{k1} \geq a_{k2}$, при $a_{k1} = a_{k2}$ имеет место пространственная однородность распределения a_k : $\zeta_a = 1$).

Неравномерность очистки поверхностей характеризуется относительной разницей значений эффективности очистки разных одновременно очищаемых предметов либо разных участков поверхности одного и того же очищаемого предмета. При этом неравномерность очистки может быть пространственной, когда эффективность очистки оценивается количеством загрязнений, удаленных после очистки, осуществлявшейся с некоторой определенной длительностью, и временной, когда эффективность очистки оценивается длительностью очистки, необходимой для полного удаления загрязнений. Таким образом, параметром пространственной неравномерности очистки поверхностей является отношение количеств загрязнений q_1 и q_2 , удаленных с поверхностей двух разных одновременно очищаемых предметов либо с двух разных участках поверхности одного и того же очищаемого предмета после очистки с некоторой определенной длительностью: $\zeta_q = q_1/q_2$ ($q_1 \geq q_2$, поскольку q тем больше, чем больше a_k ; при $q_1 = q_2$ имеет место пространственная равномерность очистки поверхностей: $\zeta_q = 1$). В свою очередь, параметром временной неравномерности очистки поверхностей является отношение длительностей очистки t_1 и t_2 , необходимых для полного удаления загрязнений с поверхностей двух разных одновременно очищаемых предметов либо с двух разных участков поверхности одного и того же очищаемого предмета: $\zeta_t = t_2/t_1$ ($t_1 \leq t_2$, поскольку t тем больше, чем меньше a_k ; при $t_1 = t_2$ имеет место временная равномерность очистки поверхностей: $\zeta_t = 1$).

Параметр ζ_q в зависимости от способа оценки количества удаленных загрязнений может выражаться различным образом, например: $\zeta_m = m_1/m_2$, где m_1 и m_2 – сравниваемые массы удаленных загрязнений; $\zeta_h = h_1/h_2$, где h_1 и h_2 – сравниваемые толщины слоев удаленных загрязнений; $\zeta_n = n_1/n_2$, где n_1 и n_2 – сравниваемые количества удаленных колониеобразующих единиц, отнесенных к массе очищаемого предмета, КОЕ/г (в случае очистки поверхностей от микробных загрязнений); $\zeta_\gamma = \gamma_1/\gamma_2$, где γ_1 и γ_2 – сравниваемые количества удаленных загрязнений в долях от исходного количества загрязнений.

Зная численные значения параметров ζ_a и ζ_q (или ζ_t), можно судить о степени влияния пространственной неоднородности распределения a_k на неравномерность очистки поверхностей.

При выборе локальных зон, в которых осуществляется контроль активности кавитации и эффективности очистки, следует учитывать особенности проявления пространственной неоднородности распределения a_k , зависящие от причин, вызывающих эту неоднородность. Согласно результатам экспериментов по исследованию закономерностей УЗ мочечно-очистной обработки [5-7] можно выделить три основных типа таких причин: причины 1-го типа, связанные с поглощением УЗ волн моющей жидкостью по мере удаления от излучателя; причины 2-го типа, связанные с наличием чередующихся

областей разрежения и сжатия в УЗ волне; причины 3-го типа, связанные с взаимодействием УЗ волн с очищаемыми предметами (явления поглощения, отражения, рассеяния). На практике возможно одновременное проявление пространственных неоднородностей распределения a_k , вызванных разными причинами.

Численные значения параметров пространственной неоднородности распределения a_k и неравномерности очистки поверхностей определяли с учетом результатов экспериментов по исследованию УЗ моечно-очистной обработки деталей сельхозтехники и плодоовощных продуктов, которые были выполнены ранее в работах [5-7], а также отдельных дополнительных экспериментов, связанных с измерением a_k , которые были выполнены в данной работе. Очистку проводили в моечной ванне УЗУ-0,25, снабженной донными излучателями. Значения a_k измеряли в относительных единицах кавитометром ІСА-4D-M. Эффективность очистки оценивали разными способами в зависимости от характера удаляемых загрязнений. Общая методика экспериментов описана в работах [5-7].

Результаты и обсуждение. Ниже приведены примеры определения параметров ξ_a и ξ_q (или ξ_t) для разных случаев проявления пространственной неоднородности распределения a_k .

Пример 1: пространственная неоднородность распределения a_k вызвана причинами 1-го типа.

Проводили эксперименты по удалению микробиальных загрязнений с поверхности яблок [5]. В ванну, заполненную водой, погружали яблоки диаметром около 5 см, которые размещали в 2 слоя (по 7 яблок в каждом слое). Поскольку яблоки легче воды, то для предотвращения их всплывания применяли ограничительный проволочный каркас, с помощью которого фиксировалось расположение яблок верхнего слоя, так чтобы они были ниже поверхности воды. При этом яблоки нижнего слоя, оторвавшись от дна ванны, зависали над ним на расстоянии 1-2 см; соответственно, яблоки верхнего слоя оказывались на расстоянии 6-7 см от дна ванны. В обработанных и контрольных (не подвергавшихся обработке) яблоках определяли содержание мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (МАФАНМ). В контрольных яблоках оно составляло $7,5 \cdot 10^3$ КОЕ/г, а спустя 10 мин очистки уменьшалось до $1,5 \cdot 10^3$ КОЕ/г ($n_1 = 6 \cdot 10^3$ КОЕ/г) в яблоках нижнего слоя и до $2,5 \cdot 10^3$ КОЕ/г ($n_2 = 5 \cdot 10^3$ КОЕ/г) в яблоках верхнего слоя. В дополнительных экспериментах измеряли a_k на разных расстояниях s от донного излучателя, соответствующих уровням расположения яблок в разных слоях: в нижнем $a_{k1} = 28$ отн. ед. ($s = 1-2$ см) и верхнем $a_{k2} = 14$ отн. ед. ($s = 6-7$ см). С учетом экспериментальных данных $\xi_a = a_{k1}/a_{k2} = 2$ и $\xi_n = n_1/n_2 = 1,2$.

Пример 2: пространственная неоднородность распределения a_k вызвана причинами 2-го типа.

Проводили эксперименты по удалению модельных загрязнений в виде смеси глины и нигрола в объемном соотношении 3:1, заполнявших канавки глубиной 1,5 мм в стальной зубчатой рейке топливного насоса УТН-5, имевшей длину 18 см [6]. Рейку устанавливали вертикально в ванне над одним из излучателей на расстоянии 3 мм от него. Спустя 15 мин очистки слои загрязнений удалялись полностью ($\gamma_1 = 1$) на самом нижнем участке рейки, соответствующем положению зоны сжатия, и приблизительно наполовину от первоначальной толщины ($\gamma_2 = 0,5$) на соседнем участке, соответствующем положению зоны разрежения (зоны разрежения и сжатия следовали через полуволновые периоды $\lambda/2 \approx 4$ см). В дополнительных экспериментах измеряли a_k вблизи нижнего участка рейки в зоне сжатия ($a_{k1} = 50$ отн. ед.) и в соседней с ней зоне разрежения ($a_{k2} = 25$ отн. ед.). С учетом экспериментальных данных $\xi_a = a_{k1}/a_{k2} = 2$ и $\xi_q = \gamma_1/\gamma_2 = 2$.

Пример 3: пространственная неоднородность распределения a_k вызвана причинами 3-го типа.

Проводили експерименти по удалению модельных загрязнений (тех же, что и в примере 2), нанесенных на стальную крышку топливного насоса УТН-5, представляющую собой трапециевидную пластину толщиной 9 мм с длиной оснований 8 см и 8,5 см и боковых сторон 11 см [6]. Загрязнения наносили слоями в форме кружков толщиной 1 мм и диаметром 15 мм через трафарет в центральной части крышки с ее обеих сторон. Крышку размещали горизонтально в ванне над одним из излучателей на расстоянии 6 см от него. Спустя 3 мин очистки загрязнения удалялись полностью ($\gamma_1 = 1$) на стороне крышки, обращенной вниз (к излучателю), и не более чем на 10% от первоначальной массы ($\gamma_2 = 0,1$) на стороне крышки, обращенной вверх. В дополнительных экспериментах измеряли a_k над крышкой и под ней вблизи ее центральной части: $a_{k1} = 28$ отн. ед. и $a_{k2} = 8$ отн. ед. соответственно (при измерении a_k под крышкой использовали вместо крышки ее пластмассовую модель с отверстием в центральной части, через которое проходил щуп кавитометра). С учетом экспериментальных данных $\zeta_a = a_{k1}/a_{k2} = 3,5$ и $\zeta_t = \gamma_1/\gamma_2 = 10$.

Сравнительный анализ полученных результатов показывает, что степень влияния неоднородности пространственного распределения a_k на неравномерность очистки может быть довольно значительной. Ее величина зависит от причин, вызывающих эту неоднородность. В частности, она является особенно большой в том случае, когда неоднородность пространственного распределения a_k обусловлена барьерным действием очищаемых предметов в отношении распространяющихся УЗ волн. При этом вблизи тыльных участков поверхности очищаемых предметов происходит резкое падение не только активности кавитации, но и интенсивности акустических течений, способствующих удалению загрязнений. Для того чтобы уменьшить влияние такой неоднородности, следует во время очистки определенным образом изменять ориентацию очищаемых предметов относительно излучателей. Кроме того, для уменьшения влияния неоднородностей пространственного распределения a_k , обусловленных поглощением УЗ волн моющей жидкостью или же образованием стоячих волн, следует определенным образом перемещать очищаемые предметы в объеме моющей жидкости. Порядок изменения расположения очищаемых предметов необходимо определять исходя из того, какова степень влияния неоднородности пространственного распределения a_k на неравномерность очистки. При этом следует принимать во внимание конкретные условия осуществления процесса очистки, включая конструктивные и функциональные особенности УЗ ванн, количество и размеры очищаемых предметов, конфигурацию очищаемых поверхностей и характер их загрязненности. Учет указанных факторов позволяет проводить рациональный выбор технологических схем регулирования расположения очищаемых предметов в моющей жидкости, обеспечивающего их равномерную очистку.

Выводы. На основе анализа результатов экспериментальных исследований закономерностей моечно-очистной обработки деталей сельскохозяйственной техники и плодовоовощных продуктов в УЗ ванне определены численные значения параметров пространственной неоднородности распределения активности кавитации и соответствующих им параметров неравномерности очистки поверхностей от загрязнений. Сопоставляя эти значения, можно количественно оценивать степень влияния неоднородности пространственного распределения активности кавитации на неравномерность очистки и, соответственно, определять рациональные пути создания таких условий осуществления очистки, при которых обеспечивается равномерное удаление загрязнений со всех очищаемых поверхностей.

Література

1. Томаль В., Ланин В. Ультразвуковая очистка микрорельефных поверхностей оптоэлектронных изделий // Фотоника. 2007. №4. С. 35-40.
2. Томаль В., Ланин В. Технология и оборудование ультразвуковой очистки изделий электроники // Технологии в электронной промышленности. 2007. № 8. С. 60-64.
3. Панов А. П. Ультразвуковая очистка прецизионных деталей. – М.: Машиностроение, 1984. 88 с.
4. Основы физики и техники ультразвука: учеб. пособ. / Б. А. Агранат и др. – М.: Высш. шк., 1987. 352 с.
5. Толочко Н.К., Корко В.С., Челединов А.Н., Егорова З.Е. Ультразвуковая очистка поверхности яблок от микробных загрязнений // Агропанорама, 2015. №5. С.27-29.
6. Толочко Н.К., Корко В.С., Челединов А.Н. Особенности развития кавитации и эффективность очистных процессов в ультразвуковой ванне // Агропанорама, 2016. №6. С.30-34.
7. Толочко Н.К., Корко В.С., Челединов А.Н., Ланин В.Л. Факторы неравномерной очистки деталей машин в ультразвуковых ваннах // Вестник машиностроения, 2017. №4. С. 82-85.

Summary

Tolochko N.K., Cheledinov A.N. Spatial inhomogeneity of cavitation activity distribution and nonuniformity of cleaning the surfaces in ultrasonic bath.

The analysis of the results of experimental studies of the regularities of washing-cleaning treatment of agricultural machinery components and fruit and vegetable products in ultrasonic bath is carried out, on the basis of which quantitative relationships between the inhomogeneity of spatial distribution of cavitation activity caused by the absorption of ultrasonic waves by the washing liquid, their interaction with the objects to be cleaned, and the formation of standing waves, and the nonuniformity of cleaning the surfaces of different simultaneously cleaned objects or different zones of the surface of the same object to be cleaned were determined. Using these ratios it is possible to evaluate the degree of influence of the spatially inhomogeneous distribution of cavitation activity on the cleaning nonuniformity and.

Keywords: *ultrasonic bath, cavitation, agricultural machinery components, fruit and vegetable products, surface contamination, cleaning.*

References

19. Tomal V., Lanin V. Ultrasvukovaja ochistka mikroreliefnyh poverhnostej optoelektronnyh izdelij // Fotonika. 2007. №4. S. 35-40.
20. Tomal V., Lanin V. Tehnologija i oborudovanie ultrasvukovoj ochistki izdelij elektroniki // Tehnologii v elektronnoj promyshlenosti. 2007. № 8. S. 60-64.
21. Panov A.P. Ultrasvukovaja ochistka prezisionnyh detalej. – М.: Mashinostroenie, 1984. 88 s.
22. Osnovy fiziki i tehniki ultrasvuka: ucheb. posob. / B.A. Agranat i dr. – М.: Vysh. sh., 1987. 352 s.
23. Tolochko N.K., Korko V.S., Cheledinov A.N., Egorova Z.E. Ultrasvukovaja ochistka poverhnosti jablok ot mikrobialnyh zagriznenij // Agropanorama, 2015. №5. S.27-29.
24. Tolochko N.K., Korko V.S., Cheledinov A.N. Osobennosti razvitiija kavitastii i effektivnost ochistnyh prostessov v ultrasvukovoj vanne // Agropanorama, 2016. №6. S.30-34.
25. Tolochko N.K., Korko V.S., Cheledinov A.N., Lanin V.L. Faktori neravnomernoj ochistki detalej mashin v v ultrasvukovyh vannah // Vestnik mashinostroenija, 2017. №4. S. 82-85.