

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАВИТАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПРОЦЕСС ПРИГОТОВЛЕНИЯ КРАХМАЛЬНОЙ ШЛИХТЫ ДЛЯ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

П.Г. Думитраш, М.К. Болога, Т.В. Кучук, И.Ф. Луца, Т.Д. Шемякова

*Институт прикладной физики АНМ,
ул. Академией, 5, г. Кишинев, MD–2028, Республика Молдова, pdumitras@yahoo.com*

Одним из перспективных способов интенсификации процесса приготовления крахмальной шлихты в текстильной промышленности является применение энергии кавитационных воздействий [1–3]. При этом его эффективность зависит от схемы ввода и типа генераторов кавитации, давления в циркуляционном кавитационном контуре, амплитуды колебательных скоростей и других технологических параметров [1, 3, 4]. Диспергирование крахмала и получение шлихты в акустическом кавитационном поле с одновременным использованием гидродинамической кавитации приводят к существенной интенсификации процесса приготовления крахмальной шлихты [4]. Степень кавитационного воздействия тем значительнее, чем больше давление в циркуляционном контуре.

В работе приведены результаты оценки эффективности кавитационных воздействий, генерируемых разными частотами, на процесс приготовления шлихты из картофельного крахмала. Кавитационному воздействию подвергали суспензию из картофельного крахмала с концентрацией $K = 4\text{--}6\%$, диспергирование и расщепление которого по существующей классической технологии возможны только при варке – давлении пара около двух атмосфер и воздействии химического реагента для расщепления. Для этой цели суспензию крахмала нагревают до 70°C с перемешиванием и варят под давлением в течение 30–40 мин при температуре $100\text{--}110^\circ\text{C}$ с добавлением расщепителя типа монохлорамина. Часто клейстер (крахмальный коллоид) неравномерно гомогенизируется и расщепляется по высоте и поперечному сечению реактора, что приводит к неоднородности свойств крахмальной шлихты перед ее подачей для пропитки текстильной пряжи.

В статье показана возможность получения крахмальной шлихты без варки при высоких температурах и под давлением пара, а также использования химических реагентов путем воздействия на процесс энергией ультразвуковой кавитации, генерируемой двумя частотами.

Эксперименты проводили на кавитационной установке, состоящей из ультразвуковых генераторов, магнитострикционных преобразователей и измерительных блоков (рис. 1). При выборе схемы введения бичастотных упругих колебаний в емкости с обрабатываемой крахмальной суспензией I прежде всего учитывали возможность обеспечения встречных кавитационных потоков, созданных ультразвуковыми блоками 3 и 4. Исследования по тестированию бичастотной кавитационной системы показали, что наиболее оптимальной является схема размещения ультразвуковых блоков под углом 30° (угол между осями блоков составляет 60°). Колебательные системы состояли из стержневых магнитострикционных преобразователей с титановыми концентраторами, прикрепленных к стойкам $I2$, и рассчитывались на резонансную частоту 18 и 44 кГц, которые возбуждались от ультразвуковых генераторов УЗДН-1 и УЗГЗ-04.

В экспериментах определялась подводимая амплитуда колебательного смещения от трансформаторов колебаний к торцам титановых волноводов в крахмальную смесь из ванны I с помощью электродинамических датчиков. Электрические сигналы с датчиков измеряли с помощью милливольтметра ВЗ-33 и электронного осциллографа, частоту ультразвуковых колебаний – цифровым частотомером ЧЗ-33, температуру обрабатываемой ультразвуком смеси – термпарой 5 и потенциометром $I0$.

При приготовлении картофельной крахмальной шлихты варьировали: концентрацию крахмала в шлихте $K = 4, 5$ и 6% ; амплитуду ультразвуковых колебаний $\xi = 5, 10, 15, 20$ и 25 мкм; температуру крахмального коллоида $T = 70, 75, 80$ и 85°C .

В исследованиях использовался картофельный крахмал, который является более доступным компонентом и в основном применяется для приготовления клеящего материала в текстильном производстве для ткачества хлопчатобумажной пряжи. Процесс приготовления шлихты

осуществляли следующим образом. В нагретую до 25–30°C воду загружали крахмал и диспергировали 3 минуты. Затем нагревали до соответствующей температуры и обрабатывали ультразвуковой бичастотной кавитацией до достижения минимальной постоянной вязкости шлихты.

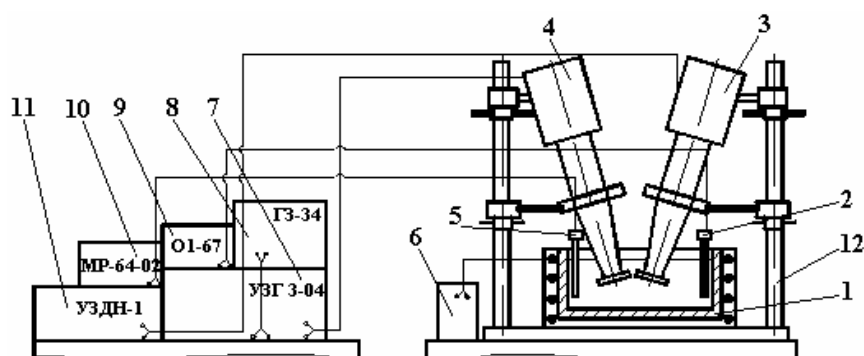


Рис. 1. Схема ультразвуковой кавитационной установки для приготовления крахмальной шлихты; 1 – ванна; 2 – датчик кавитации; 3, 4 – преобразователи магнитострикционные; 5 – терморпара; 6 – трансформатор; 7, 8, 11 – генераторы ультразвуковые; 9 – осциллограф; 10 – потенциометр; 12 – штатив

Результаты по приготовлению крахмальной шлихты по существующей технологии и в режиме бичастотной кавитации, генерируемой ультразвуковыми генераторами, приведены в таблице. Кавитационное бичастотное воздействие обеспечивает тонкое диспергирование, разбухание и расщепление картофельного крахмала при температурах, начиная с 70°C, без использования химических реагентов и давления водяного пара. Осуществить процесс приготовления шлихты с такими параметрами в отсутствие кавитации не удавалось, так как расщепление не происходит. По существующей технологии расщепление крахмала осуществляется с помощью монохлорамина и варки под давлением пара при температуре 100–110°C.

Из анализа полученных результатов установлено, что вязкость шлихты η (сек) зависит от температуры кавитационной обработки T (°C), концентрации K (%) клеящего вещества (крахмала) и равномерности расщепления его зерен, а ее стабилизация свидетельствует о прекращении процесса расщепления. Относительно стабильная минимальная вязкость, достигнутая шлихтой под воздействием ультразвуковой бичастотной кавитации, скорость расщепления V_p (%/мин) и процент расщепления изменяются в зависимости от концентрации, температуры и амплитуды ультразвуковых колебаний.

Таким образом, как и при воздействии на процесс приготовления шлихты кавитации одной частоты, величина относительно стабильной минимальной вязкости, скорость и процент расщепления имеют следующие характеристики.

1. Минимальная вязкость η (сек):

- уменьшается с повышением температуры для всех концентраций и амплитуд ультразвуковых бичастотных колебаний. В частности, при возрастании температуры от 70 до 85°C вязкость снижается для концентрации $K = 4\%$ и амплитуды $\xi = 5$ мкм от 29 до 25 сек и от 26 до 22 сек для $K = 6\%$ и $\xi = 25$ мкм;

- возрастает с повышением концентрации шлихты для всех температур и амплитуд ультразвуковых колебаний. При возрастании концентрации крахмала от 4 до 6% стабильная минимальная вязкость возрастает от 22 до 24 сек при амплитуде колебаний 25 мкм и температуре 85°C;

- уменьшается с возрастанием амплитуды ультразвуковых колебаний. В частности, при возрастании амплитуды колебаний от 5 до 25 мкм стабильная минимальная вязкость при бичастотной ультразвуковой кавитационной обработке уменьшается от 25 до 22 сек при концентрации крахмала $K = 4\%$ и температуре 85°C.

2. Скорость расщепления крахмала V_p (%/мин):

- растет с увеличением амплитуды ультразвуковых колебаний для всех исследуемых концентраций и температур. Скорость расщепления возрастает от 8,2 до 30,0%/мин при увеличении амплитуды ультразвуковых колебаний от 5 до 25 мкм при концентрации крахмала $K = 4\%$ и температуре бичастотной кавитационной обработки $T = 85^\circ\text{C}$;

- растет с ростом температуры бичастотной кавитационной обработки при всех исследуемых концентрациях и амплитудах ультразвуковых колебаний. Скорость расщепления крахмала растет от 10,0 до 22,5%/мин при росте температуры от 70 до 85°C соответственно (при концентрации крахмала $K = 6\%$ и амплитуде ультразвуковых колебаний 25 мкм);

Результаты по приготовлению крахмальной шликты по существующей технологии и под воздействием ультразвуковой бичастотной кавитации

Условия приготовления шликты	Температура приготовления, °С	Амплитуда УЗ колебаний, мкм	Время обработки до постоянной минимальной вязкости, мин	Вязкость шликты, сек	Скорость расщепления, %/мин	Степень расщепления, %
<i>Концентрация крахмала в смеси К = 4%</i>						
По существующей технологии	70	–	Крахмал не расщепляется	Крахмал не расщепляется	Крахмал не расщепляется	Крахмал не расщепляется
С применением бичастотной УЗ кавитации	70	5	15	29	6,0	72
		10	11	27	8,2	73
		15	7	26	12,9	73
		20	5	26	18,0	75
		–	5	26	18,0	75
По существующей технологии	80	–	Начало разбухания крахмала после 60 мин	Начало разбухания крахмала	Начало разбухания крахмала	Нет расщепления
С применением бичастотной УЗ кавитации	80	5	12	26	7,5	74
		10	7	25	12,9	74
		15	5	23	18,0	75
		20	4	23	22,5	78
		25	4	23	22,5	78
По существующей технологии	85	–	Разбухание крахмала в течение 45 мин нагрева	56	Разбухание крахмала в объеме	Нет расщепления
С применением бичастотной УЗ кавитации	85	5	11	25	8,2	82
		10	5	23	18,0	86
		15	4	22	22,5	90
		20	3	22	30,0	95
		25	3	22	30,0	95

Концентрация крахмала в смеси К = 6%

По существующей технологии	70	–	Крахмал не расщепляется	Крахмал не расщепляется	Крахмал не расщепляется	Крахмал не расщепляется
С применением бичастотной УЗ кавитации	70	5	17	30	5,5	70
		10	12	29	7,5	72
		15	10	28	9,0	72
		20	9	28	10,0	73
		25	9	27	10,0	73
По существующей технологии	80		Разбухание крахмала в течение 60 мин нагрева	Разбухание крахмала в течение 60 мин нагрева	Разбухание крахмала в течение 60 мин нагрева	Крахмал не расщепляется
С применением бичастотной УЗ кавитации	80	5	14	27	6,4	73
		10	9	26	10,0	77
		15	7	25	12,9	75
		20	7	25	12,9	75
		25	6	25	15,0	75
По существующей технологии	85		Разбухание крахмала в течение 45 мин нагрева	Разбухание крахмала в течение 45 мин нагрева	Разбухание крахмала в объеме	Нет расщепления
С применением бичастотной УЗ кавитации	85	5	13	26	6,9	80
		10	7	25	12,9	83
		15	5	24	18,0	85
		20	5	24	18,0	88
		25	4	24	22,5	88

– уменьшается с ростом концентрации крахмала для всех исследуемых температур и амплитуд ультразвуковых колебаний. Скорость расщепления уменьшается от 30 до 22,5%/мин при росте концентрации крахмала от 4 до 6%, соответственно при температуре кавитационной обработки $T = 85^{\circ}\text{C}$ и амплитуде ультразвуковых колебаний 25 мкм.

3. Время бичастотной ультразвуковой кавитационной обработки до стабилизации минимальной постоянной вязкости $t_{\text{узк}}$:

– уменьшается с возрастанием амплитуды ультразвуковых колебаний при всех исследованных концентрациях крахмальной смеси и температурах обработки. Время бичастотной кавитационной обработки уменьшается от 11 до 3 мин, соответственно при повышении амплитуды колебаний от 5 до 25 мкм, при концентрации крахмала в смеси $K = 4\%$ и температуре обработки $T = 85^{\circ}\text{C}$;

– уменьшается с повышением температуры кавитационной обработки при всех исследованных концентрациях и амплитудах ультразвуковых колебаний. Время бичастотной кавитационной обработки уменьшается от 11 до 5 мин при повышении температуры обработки от 70 до 85 $^{\circ}\text{C}$ для концентрации крахмала в смеси $K = 4\%$ и амплитуды колебаний 10 мкм;

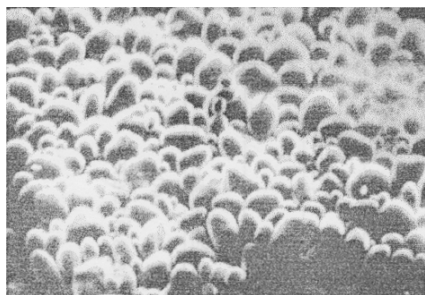
– возрастает с увеличением концентрации в исследованном интервале температур кавитационной обработки и амплитуд ультразвуковых колебаний. Время бичастотной кавитационной обработки увеличивалось от 12 до 14 мин при повышении концентрации от 4 до 6% (температура обработки $T = 80^{\circ}\text{C}$ и амплитуда ультразвуковых колебаний – 5 мкм).

4. Расщепление крахмала в коллоиде, %:

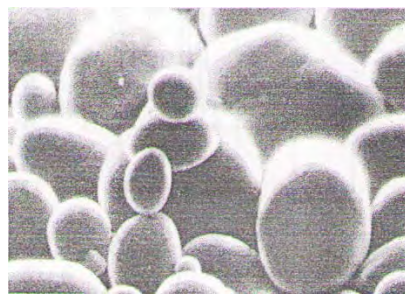
– растет с повышением температуры и амплитуды ультразвуковых колебаний. Процент расщепления крахмала растет от 75 до 95 при повышении температуры от 70 до 85 $^{\circ}\text{C}$, при концентрации крахмала $K = 4\%$ и амплитуде ультразвуковых колебаний 25 мкм;

– уменьшается с увеличением концентрации крахмала. Процент расщепления крахмала уменьшается от 78 до 75 при повышении концентрации крахмала от 4 до 6, при температуре кавитационной обработки $T = 80^{\circ}\text{C}$ и амплитуде ультразвуковых колебаний 25 мкм.

Наглядное представление о разбухании и расщеплении крахмала при производстве крахмальной шлихты под воздействием бичастотной ультразвуковой кавитации дают электронно-микроскопические изображения, представленные на рис. 2.



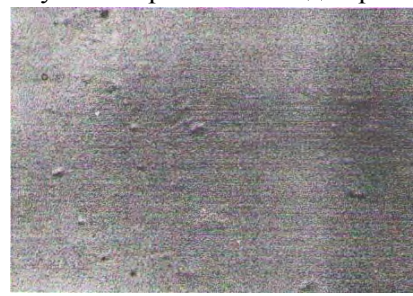
Диспергируемый крахмал в воде при 20 $^{\circ}\text{C}$



Разбухание крахмала в воде при 70 $^{\circ}\text{C}$



Начало расщепления крахмала при 75 $^{\circ}\text{C}$



Расщепленный заваренный крахмал

Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение частиц картофельного крахмала в разных фазах разбухания и расщепления в кавитационном поле $\times 200$

Таким образом, при бичастотной кавитационной обработке достигаются полное расщепление крахмальных зерен и высокий уровень гомогенности шлихты. Используемый способ позволяет сократить более чем в два раза время приготовления шлихты, снизить расход сырья (крахмала – до 30% и растительного масла – до 50%) и уменьшить расход пара в 2–2,5 раза за счет снижения температуры приготовления шлихты до 85 $^{\circ}\text{C}$.

Работа выполнена при поддержке фонда STCU, проект #5060.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dumitras P.G., Sawhney A.P.S., Bologa M.K., Gimza A.V. Influence of ultrasound cavitation on the starch size properties. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2005, **41**(1), 83–89.
2. Лосев Н.В., Макарова П.И., Липатова И.М. Влияние интенсивных механических воздействий на скорость кислотного гидролиза крахмала. *Журнал прикладной химии*. 2003, **76**(6), 1025–1029.
3. Лосев Н.В., Корнилова Н.А., Макарова П.И., Липатова И.М., Морыганов А.П. Влияние гидроакустического воздействия на свойства растворов и гидрогелей природных полисахаридов. *Химия и химическая технология*. 2007, **50**(3), 44–48.
4. Dumitras P., Bologa M., Liute D. Cavitation technology in textile industry. *Proc. Int. Conf. "Technologies and Devices"*. Sibiu, Romania, 2000, pp. 17–26.

Поступила 29.04.11

Summary

The efficiency was evaluated of the bi-frequency ultrasonic cavitation action on the process of preparation of starch sizes for cotton yarns. The application of the ultrasonic energy of bi-frequency cavitation provides the possibility to prepare sizes without chemical reagents for starch splitting and to lead the size preparation at a lower temperature about 85°C. The proposed method allows one to prepare the size in an open bath without high vapor pressures, to reduce considerably the time of size preparation and to decrease the consumption of food staffs – the starch up to 30% and vegetable oil up to 50%.
