

# Лабораторный Стенд Для Проточной Кавитационной Обработки Жидких Сред

Владимир Н. Хмелёв, д.т.н., *Senior Member*, IEEE, Андрей В. Шалунов, к.т.н., Юрий М. Кузовников, Сергей Н. Цыганок, к.т.н., Сергей С. Хмелёв, *Student Member*, IEEE  
*Бийский технологический институт (филиал)*  
ГОУ ВПО Алтайский государственный технологический университет им. И. И. Ползунова

**Аннотация** – в статье описывается создание лабораторного оборудования для проточной обработки жидких сред с функцией накопления и анализа параметров процедуры обработки с использованием ЭВМ, а также с возможностью автоматизированного управления параметрами ультразвукового воздействия.

**Ключевые слова** – лабораторный стенд, кондуктометр, расходомер, обсемененность молока, кавитация, УЗКС, молочный белок, молоко.

## I. ВВЕДЕНИЕ

**ВОЗДЕЙСТВИЕ УЛЬТРАЗВУКА** на химические и физико-химические процессы, протекающие в жидкости, включает: инициирование некоторых химических реакций, изменение скорости, а иногда и направления реакций, возникновение свечения жидкости (сонолюминесценция), создание в жидкости ударных волн, эмульгирование несмешивающихся жидкостей и коалесценцию эмульсий, диспергирование твердых тел и коагуляцию твердых частиц в жидкости, дегазацию жидкости и т. д.

Влияние ультразвука на различные процессы связано с кавитацией - образованием в жидкости при прохождении акустической волны полостей (кавитационных пузырьков) заполненных газом, паром или их смесью.

Кавитационная обработка жидких сред осуществляется либо при погружении ультразвукового преобразователя в объем с жидкой средой, либо при обтекании жидкой средой преобразователя, то есть проточной обработкой.

Согласно исследованиям, проведенным отечественными и зарубежными авторами, проточная кавитационная обработка жидких сред является более предпочтительной, так как при этом происходит более равномерная и качественная обработка [1] - [3].

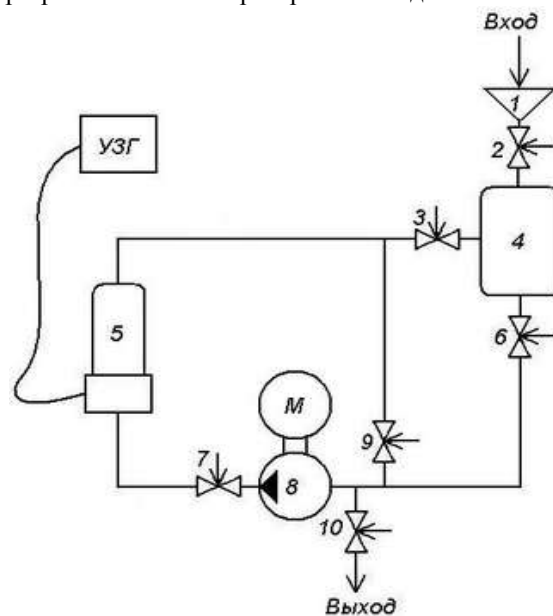
В связи с созданием и применением установок для проточной обработки возникла необходимость во внедрении контрольно-измерительной аппаратуры в такие установки.

При этом контроль параметров процесса обработки может включать в себя использование

ЭВМ. Это позволяет, во-первых, ускорить процедуру сбора информации о параметрах процесса обработки и процедуру сохранения и использования этой информации, а, во-вторых, достигается общая централизованность сбора и анализа информации о параметрах процесса обработки.

## II. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕДА ДЛЯ ПРОТОЧНОЙ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ЖИДКИХ СРЕД

На Рис. 1 представлена структурная схема разработанного лабораторного стенда.



1 – воронка на входе в систему, 2 – входной вентиль блокировки, 3,6 – вентили для отвязывания расширительной емкости от обрабатываемого объема, 4 - расширительная емкость, 5 – ультразвуковой аппарат «Булава-ПС», 7 – вентиль блокирования потока для возможности вывода готового продукта, 8 – электронасос, 9 – вентиль для реализации замкнутого обрабатываемого объема обособленного от расширительной емкости, 10 – сливной выходной вентиль

Рис 1. Структура ультразвукового лабораторного стенда для проточной кавитационной обработки жидких сред

Ультразвуковой лабораторный стенд позволяет производить ультразвуковую обработку жидких сред с возможностью принудительной мно-

гократной циркуляции внутри замкнутого цикла в процессе обработки. Кроме того, доступен режим одноразовой обработки, после которой на выходе лабораторной установки получается готовый продукт.

В качестве источника ультразвукового воздействия выбран аппарат ультразвуковой проточный «Булава-ПС» модель УТА-1000-3-ПС, разработанный в лаборатории акустических процессов и аппаратов Бийского технологического института. Ультразвуковой аппарат «Булава-ПС» позволяет осуществлять высокоинтенсивную кавитационную обработку жидких и жидкодисперсных сред в тонком слое между излучающей поверхностью многополуволнового титанового излучателя и внутренней стенкой технологического объема в проточном режиме. Аппарат может быть использован для интенсификации процессов эмульгирования, гомогенизации, экстрагирования, стерилизации, перемешивания, диспергирования, дегазации и др. Аппарат состоит из ультразвукового излучателя и специального технологического объема из прозрачного стекла емкостью 2 литра позволяющего осуществлять визуальный контроль и изучение интенсифицируемых процессов в условиях производств и исследовательских лабораторий. Аппарат «Булава-ПС» имеет возможность оперативной подстройки мощности и времени ультразвукового воздействия.

Общий вид лабораторного стенда представлен на Рис. 2.



Рис. 2. Общий вид лабораторного стенда для проточной кавитационной обработки жидких сред

Суммарный обрабатываемый объем лабораторного стенда состоит из металлопластикового трубопровода общим объемом 5 литров и расширительного бака объемом 40 литров.

### III. ВЫБОР АППАРАТУРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ТОЧЕК ЕЕ РАЗМЕЩЕНИЯ В ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДЕ

Определение состава контрольно-измерительной аппаратуры основывается прежде всего на определении набора и характера физико-

химических величин подлежащих контролю. Если таких величин много, то при разработке лабораторного стенда необходимо выделить только основные из них, без контроля которых нельзя рассчитывать на достаточную предсказуемость появления на выходе ультразвукового технологического аппарата продукта с заданными параметрами качества.

На основании анализа литературных источников по ультразвуковой кавитационной обработке жидкостей и проведенных экспериментальных исследований [4,5] был установлен набор параметров необходимых для контроля в ультразвуковом лабораторном стенде. Это:

- 1) содержание солей – как критерий качественных и количественных характеристик протекающих химических реакций;
- 2) удельная электропроводность – как критерий физико-химического состояния обрабатываемой среды;
- 3) температура – как критерий скорости, интенсивности и возможности протекания физико-химических реакций;
- 4) объемный расход – как критерий производительности.

Для контроля содержания солей и удельной электропроводности в обрабатываемой жидкой среде выбран портативный кондуктометр «АНИОН-7020» производства ООО НПП «Инфраспек-Аналит» (см. Рис.3).



Рис. 3. Портативный кондуктометр «АНИОН-7020» (ООО НПП «Инфраспек-Аналит»)

Прибор предназначен для измерения удельной электропроводности и степени минерализации растворов. Также он позволяет проводить измерение температуры исследуемой жидкой среды.

Кондуктометр осуществляет автоматическую температурную компенсацию, оснащен встроен-

ным блокнотом с ручной и автоматической записью данных и имеет интерфейсный выход RS232 для связи с ЭВМ.

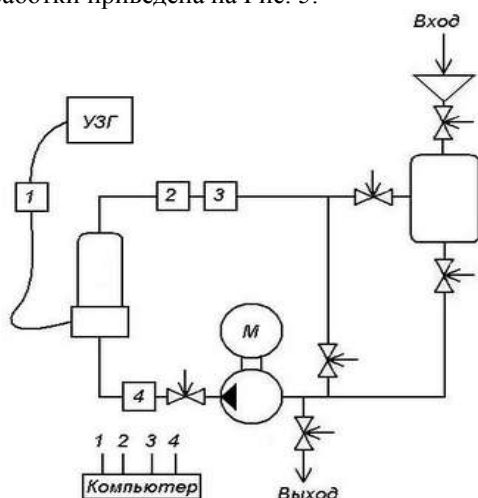
Для контроля объемного расхода выбран ультразвуковой расходомер с накладными излучателями «Акрон-01» производства ООО ПНП «Сигнур» (см. Рис.4).

Расходомер обеспечивает измерение объемного расхода и суммарного объема (количества) звукопроводящих жидкостей с низким содержанием газообразных и твердых веществ при полностью заполненном сечении напорного трубопровода. Допускается наличие в контролируемой среде газовых включений и твердых частиц в количестве не более 1 % объема контролируемой жидкости. Расходомер также имеет интерфейсный выход RS232 для связи с ЭВМ.



Рис. 4. Ультразвуковой расходомер с накладными излучателями «Акрон-01» (ООО ПНП «Сигнур»)

Структура лабораторного стенда с выделенными точками контроля параметров процесса обработки приведена на Рис. 5.



1 – контроль мощности ультразвукового генератора, 2 – контроль содержания солей («АНИОН 7020»), 3 – контроль удельной электропроводности («АНИОН 7020»), 4 – контроль расхода жидкой среды («Акрон-01»)

Рис. 5. Структура лабораторного стенда для проточной кавитационной обработки жидких сред с выделенными точками

контроля параметров процесса обработки

При выборе точки для установки датчика портативного кондуктометра «АНИОН-7020» руководствовались необходимостью установки датчика только после проточного ультразвукового аппарата «Булава-ПС», чтобы исключить лишний прогон обрабатываемой среды через систему. Таким образом, достижение обрабатываемой средой требуемых параметров качества отслеживается посредством кондуктометра установленного после ультразвукового аппарата «Булава-ПС» и может служить сигналом к завершению технологического процесса. При выборе точки для установки датчиков ультразвукового расходомера «АНИОН-7020» исходили из необходимости отслеживания расходомером объемного расхода жидкой среды при подаче в проточный ультразвуковой аппарат «Булава-ПС», так как от этого объемного расхода зависит способность эффективной обработки ультразвуковым технологическим аппаратом протекающей через него жидкой среды. Таким образом, место для установки датчиков ультразвукового расходомера выбрано на прямолинейном участке трубопровода непосредственно перед ультразвуковым технологическим аппаратом.

#### IV. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ

Программа для сбора и анализа данных процесса обработки представляет собой исполнительный модуль, реализованный в среде разработки LabVIEW и подключаемую внешнюю DLL библиотеку с функциями интерфейса для контрольно-измерительной аппаратуры.

Внешний вид главного окна программы представлен на Рис. 6.

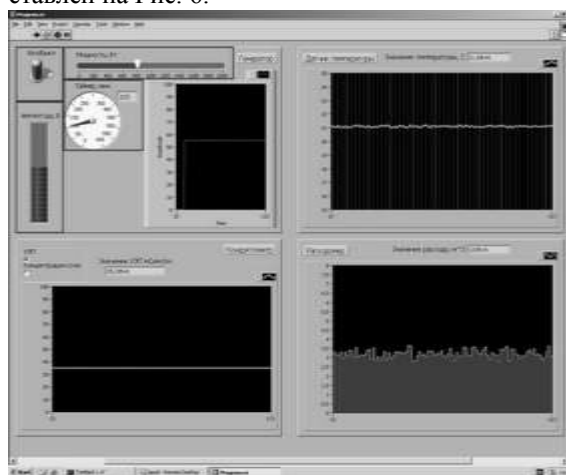


Рис. 6. Внешний вид главного окна программы для сбора и анализа данных процесса обработки

Главное окно разбито на четыре сектора. В первом секторе отображаются данные ультразвукового аппарата, а также регуляторы с помощью

которых осуществляется настройка мощности и времени ультразвукового воздействия. Вторым сектором предназначен для наблюдения за изменением параметров портативного кондуктометра «АНИОН 7020», а также выбора канала измерения кондуктометра. Третий сектор содержит данные об измеренной в ходе процесса обработки температуре. В четвертом секторе отображаются данные о расходе обрабатываемой жидкой среды.

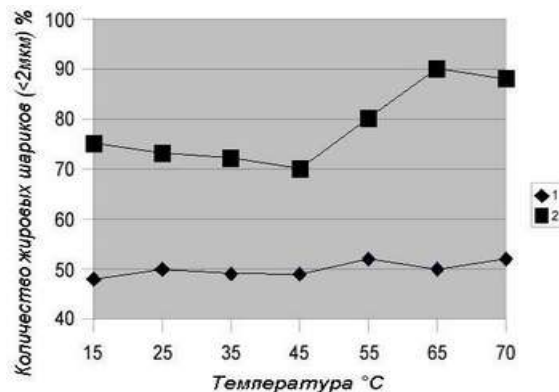
Подобная структура главного окна программы позволяет оператору удобным образом следить за всеми измеряемыми параметрами процесса обработки и, если необходимо, вносить коррективы в ход технологического процесса. Кроме того, программа позволяет, во время эксперимента или по его окончании, просмотреть собранные данные структурированные по времени и представленные в форме отчета, а также распечатать полученный отчет.

#### V. ДАННЫЕ ПОЛУЧЕННЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для практического анализа технических характеристик созданного лабораторного стенда был проведен ряд экспериментов по проточной кавитационной обработке свежего цельного необработанного молока. В среднем в составе сырого молока содержится 87,3% воды, 12,5% сухих веществ, в том числе 3,8% молочного жира, 3,3% белков, 4,7% молочного сахара, 0,7% минеральных веществ. В молоке жир распределен в виде жировых шариков, окруженных сложной белковой оболочкой, т. е. представляет собой эмульсию молочного жира в воде. Размер жировых шариков колеблется от 1 до 5 мкм. Причем, количество жировых шариков, имеющих размер более 2 мкм составляет более 50% и зависит от индивидуальных особенностей коровы. Питательная ценность молока в значительной степени определяется размерами частиц жира в молоке. В мировой практике показано, что дробление жировых шариков молока до меньших, чем в исходном состоянии, размеров почти на треть повышает питательную ценность молока [3].

Обработка проводилась при различных начальных температурах обрабатываемой среды одинаковое время ультразвуком при потребляемой электрической мощности 3000 ВА под давлением 2 атм. и скоростью потока 1 м<sup>3</sup>/ч. На рисунке 7 приведены результаты ультразвукового воздействия с точки зрения гомогенизации молока.

На первом графике приведено процентное содержание мелких шариков жира при механическом продавливании сквозь марлю, а на втором графике – содержание мелких шариков жира при воздействии ультразвука на молоко.



1 – необработанное молоко, 2 – молоко обработанное ультразвуком

Рис. 7. Результаты обработки молока с точки зрения гомогенизации.

Результаты влияния обработки ультразвуком на микрофлору сырого молока в зависимости от времени представлены на Рис. 8.

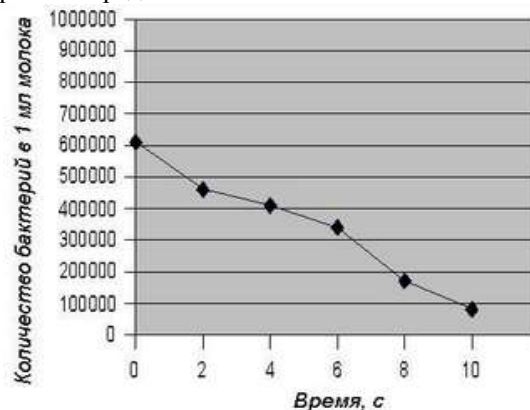


Рис. 8. График влияния обработки ультразвуком на микрофлору сырого молока в зависимости от времени

Таким образом, при обработке ультразвуком молока явно наблюдается бактерицидный эффект, т.е. снижение обсемененности молока.

#### VI АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Из результатов опытов с лабораторным стендом следует, что с помощью ультразвукового воздействия качественно вырос процент жировых шариков малого диаметра по сравнению с процентным содержанием таких шариков при механическом продавливании через марлю. Нужно отметить также, что при ультразвуковой обработке можно ожидать надлежащего качества выходного продукта при любых объемах молока поступающего в ультразвуковой аппарат. Этого нельзя ожидать от процедуры продавливания молока через марлю, так как со временем неизбежно ее забивание крупными фракциями молочного белка.

Вторая серия опытов продемонстрировала уверенное уменьшение степени обсемененности

молочной среды при ультразвуковом воздействии на нее. Этот эффект также немаловажен, так как в молочной микрофлоре помимо ряда кислomолочных бактерий могут содержаться и болезнетворные бактерии.

## VII ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведения научно-исследовательской и конструкторской работ был создан лабораторный стенд для кавитационной проточной обработки жидких сред обладающий техническими характеристиками указанными в Табл. I:

ТАБЛИЦА I  
ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗРАБОТАННОГО  
ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Напряжение сети переменного тока, В	220±10%
Частота механических колебаний ультразвукового преобразователя, кГц	22
Максимальная потребляемая электрическая мощность, ВА	3000
Интенсивность ультразвукового излучения, Вт/см <sup>2</sup> , не менее	10
Время непрерывной работы, ч, не более	8
Максимально возможный обрабатываемый объем, л	47
Максимальная скорость проточной обработки, м <sup>3</sup> /ч	10

Полагаясь на полученные результаты обработки молока на созданном лабораторном стенде можно сделать следующие выводы:

1. Разработанный стенд пригоден для высокоэффективной проточной гомогенизации молока и позволяет достичь высокой степени однородности фракций молочного белка.
2. С помощью лабораторного стенда можно вести антибактериальную обработку молока. При этом значительно уменьшается количество бактерий в обрабатываемом молоке в течение десяти минут ультразвукового воздействия. Это позволяет активно бороться с активностью молочной микрофлоры.
3. Лабораторный стенд может быть рекомендован для промышленного применения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Маргулис М.А. Основы звукохимии – Москва.: Высшая школа, 1984.
- [2] Маргулис М.А. Звукохимические реакции и сонолюминесценция – Москва.: Химия, 1986.
- [3] Suslik K. S. Ultrasound. Its chemical, physical and biological effects - New York.: VCH, 1988.
- [4] Mason T.Y., Lorimer Ph.J. Sonochemistry: theory, application and uses of ultrasound in chemistry – London.: Ellis Harwood, 1988.
- [5] Margulis M.A., .Sonochemistry and cavitation – London.: Gordon&Breach, 1995.