

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ МЯСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Ю.Ф.Заяс

412

Проводимыми во ВНИИМПе исследованиями созданы теоретические основы воздействия ультразвука на животные ткани и разработаны направления применения ультразвука в процессах мясной промышленности.

Исследование ультразвука возможно на основе глубокого изучения сущности физико-химических и биохимических превращений в продукте. В связи с неоднородностью сырья и продуктов мясной промышленности воздействие ультразвука на них многообразно.

Применение ультразвука в мясной промышленности перспективно для получения жировых эмульсий и их использования в колбасном производстве; тендеризации мяса; очистки мяса, инструмента и оборудования, ускорения посола мясopодуKтов, фракционирования тугоплавких жиров, обезжиривания кости, оценки качества мясных фаршей.

Термическое действие ультразвука

При изучении применения ультразвука важное значение имеют параметры ультразвукового поля — частота и интенсивность.

Установлена средняя интенсивность, снимаемая с 1 см² поверхности преобразователя (табл. I).

Т а б л и ц а I

Удельная интенсивность ультразвука различных частот

Частота, кгц	22	300	600	750	1000
Интенсивность, вт/см ²	2,31	15,6	18,4	18,5	19,5

Интенсивность ультразвуковых колебаний распределяется дифференцированно по диагонали преобразователя и высоте столба обрабатываемой среды.

Термическое действие на животные ткани обусловлено поглощением ультразвуковых колебаний и превращением акустической энергии в тепловую. Вследствие периодических сжатий и растяжений некоторая доза энергии волны уходит на нагрев среды. Анизотропия поглощения ультразвука в наибольшей степени выражена у тканей, состоящих из чередующихся слоев с различными свойствами (прослойки соединительной и жировой ткани). Термическое действие ультразвука на животные ткани возрастает с увеличением частоты, интенсивности и продолжительности действия ультразвука (рис. 2).

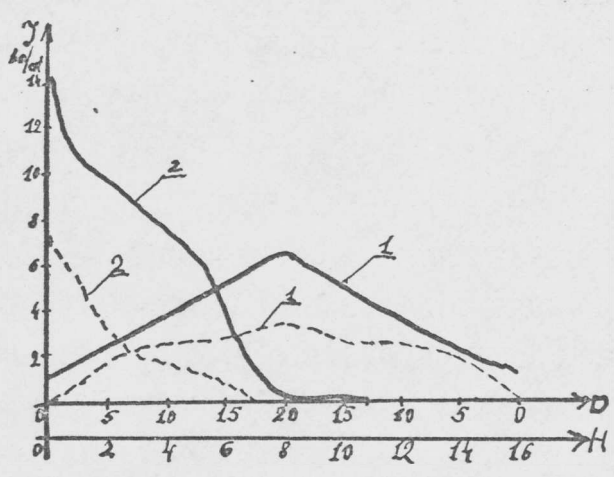


Рис. 1. Характер распределения акустической энергии в объеме обрабатываемой среды и по диагонали преобразователя
 ————— кавитационный режим ($U=7,5$ кв)
 - - - - - безкавитационный режим ($U=4$ кв)

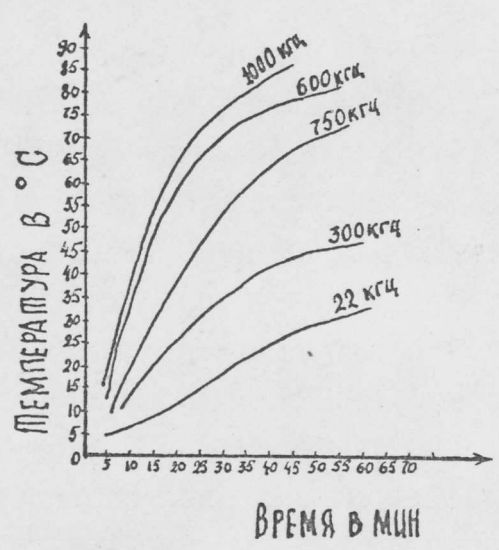


Рис. 2. Зависимость нагрева мяса от частоты и продолжительности действия ультразвука

При озвучивании ультразвуком низкой частоты (19 и 22 кгц) получен незначительный и равномерный нагрев образцов ткани. Наиболее целесообразно для обработки мяса применение ультразвука низкой частоты, при котором устраняется перегрев ткани.

Интенсификация диффузионных процессов посола мяса. Диффузионные процессы посола солено-копченых изделий продолжительны (до 30-50 сут.) и поэтому требуют значительных производственных помещений. Обработка ультразвуком образцов, помещаемых в рассол, обуславливает ускорение проникновения поваренной соли в мышечную и жировую ткани в среднем в 2,5-3,0 раза. Установлена зависимость скорости проникновения поваренной соли в мясную ткань от частоты ультразвука. При озвучивании на высоких частотах (300-100 кгц) содержание поваренной соли в слоях мышечной ткани гораздо больше, чем на низких частотах (22 кгц) при одинаковой продолжительности обработки. При кратковременном озвучивании как во внутренних, так и в наружных слоях образцов мяса накапливается соли гораздо больше, чем без озвучивания.

В отличие от обычного посола, в ультразвуковом поле температурный режим не влияет на скорость проникновения посолочных ингредиентов в мясо, так как в этом случае на ускорение диффузионных процессов посола в основном влияют факторы, сопутствующие ультразвуковым колебаниям.

Применение ультразвука для тендеризации мяса. Обработка ультразвуком обуславливает увеличение нежности мяса, что установлено (табл. 2) органолептической оценкой, определением механической прочности продукта (сопротивления резанию и напряжения смещения), а также гистологическими и электронномикроскопическими исследованиями изменений структуры мяса.

Основным фактором, обуславливающим увеличение нежности мяса при ультразвуковой обработке, является механическое разрушение волокон мышечной ткани и соединительнотканых образований. В озвученных образцах интенсивно выражены характерные изменения структуры, свойственные полному развитию процесса созревания мяса. Наблюдается набухание волокон, множественный распад миофибрилл, образование трещин, разделяющих волокна на отдельные сегменты. Озвучивание сопровождается нарушением целостности субмикроструктуры волокна. Этих изменений не установлено в контрольных образцах.

Имеются также предложения об ускорении ферментативных процессов, так как создаются благоприятные условия для действия ферментных систем мяса.

Эффект воздействия ультразвука на мягчение мяса аналогичен для образцов, обрабатываемых в стационарном положении и перемещаемых конвейером. Эффективность мягчения одинаковая при параллельном и перпендикулярном направлениях ультразвуковых волн к мышечным волокнам. Двусторонняя обработка образцов, расположенных между мембранами преобразователей несколько эффективнее односторонней. Эффект тендеризации сохраняется при обработке мяса, упакованного в полимерные пленки. При обработке образцов мяса, замороженного до 30°C , получен более высокий эффект мягчения, чем при озвучивании охлажденного или замороженного до -8°C . Разница в органолептической оценке опытных и контрольных партий составляла в среднем 1,3 балла при 5-балльной шкале оценки. Для тендеризации мяса разработана конвейерная ультразвуковая установка.

Т а б л и ц а 2
Тендеризация мяса ультразвуком

Продолжительность обработки	Органолептическая оценка, балл	Сопротивление резанию, кг	Напряжение смещения, кг/см ²	Примечание
3	3,85	2,11	5,95	Обработка мяса, замороженного до -8°C
5	3,72	1,59	5,54	
10	3,95	1,69	4,85	
15	4,50	1,61	4,95	
Контроль	2,90	2,25	6,56	
3	4,0	1,84	5,21	Обработка мяса, замороженного до -30°C
5	4,4	1,57	4,78	
Контроль	3,1	2,27	5,67	
5	4,22	1,86	5,08	УЗ волны параллельно волокнам
5	4,30	1,82	5,14	
Контроль	3,20	2,16	5,43	

Изучение воздействия ультразвука на качество мяса

Основными компонентами мяса, изменение которых при обработке ультразвуком может оказать существенное влияние на свойства продукта, являются белковые вещества и жиры. При исследовании физико-химических изменений белков мышечной ткани, изучали растворимость фракции миозина, рН, влажностную характеристику, аминокислотный состав и содержание свободных радикалов методом электронного парамагнитного резонанса. Стабильная растворимость фракции миозина указывает на сохранение характера взаимодействия миозина со структурными элементами миофибрилл. Ультразвуковая обработка до 20 мин., не сопровождается изменением гидрофильных свойств белковых веществ и рН мясной ткани. Это указывает на отсутствие изменений коллоидных свойств, структуры и гидратационной оболочки белковых веществ.

Аминокислотный состав белковых веществ в образцах, подвергнутых обработке ультразвуком и незвученных, практически аналогичен. Неизменяемость аминокислотного состава является важнейшим показателем сохранения биологической ценности и состава продукта.

Вышеуказанные закономерности установлены для средней пробы, полученной из озвученных образцов и посредством послойного исследования, т.е. выделения слоев ткани, которым сообщено максимальное количество акустической энергии.

Одновременно установлено отсутствие изменений качественных показателей жира при ультразвуковой обработке^{х)}.

Содержание свободных радикалов в мышечной и жировой тканях

Развитие кавитационных процессов в ультразвуковом поле обуславливает образование свободных радикалов в жидкой среде, окружающей мышечную и жировую ткань. При исследовании методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) озвученных и незвученных образцов мышечной ткани, наблюдали отдельные сигналы ЭПР, свойственные белкам мышечной ткани в нативном состоянии. Постоянство содержания свободных радикалов в мышечной и жировой тканях указывает на отсутствие

^{х)} I.F.Zajas, I.U.Jusupova - "Studies of the effect of ultrasonic treatment upon fat quality". 16th European meeting of meat research workers, II, 1125, Sofia, 1970.

развития окислительных процессов при ультразвуковой обработке мяса.

Воздействие ультразвука на бактериальную обсемененность мяса

Бактерицидное действие ультразвука обусловлено разрывом клеток микроорганизмов на отдельные сегменты и удалением микроорганизмов с поверхности. Воздействием ультразвука частотой 19 кгц, интенсивностью $3,2 \text{ вт/см}^2$, в течение 10 мин. на поверхность образцов охлажденной говядины достигается снижение общей микробной обсемененности в среднем в 24 раза. При увеличении исходной обсемененности эффект воздействия ультразвука возрастает. Ультразвук не может быть рекомендован для стерилизации мяса, однако его попутное воздействие на снижение поверхностной обсемененности, при достижении других эффектов, представляет практический интерес.

Получение с помощью ультразвука эмульсии животных жиров и их использование в колбасном производстве

При производстве вареных колбасных изделий часто снижаются выход и качество, особенно когда на переработку направляют мясо, дефростированное и с большим содержанием жира. Введение в фарш стабильной жировой эмульсии позволит значительно увеличить его водосвязывающую способность, так как в составе сольватных оболочек жировых шариков, из которых состоит эмульсия, удерживается значительное количество прочно связанной влаги. Если добавляемый в фарш жир вводится в виде эмульсии, то при измельчении мясной массы на куттере образуется сложная комплексная система белок \leftarrow вода \leftarrow жир, отличающаяся высокой стойкостью. В этой системе вода удерживается не только белками, но и эмульсией в составе защитных оболочек жировых шариков.

Разработана конструкция звуковой гидродинамической установки для эмульгирования животных жиров. Установлен оптимальный режим получения эмульсии: продолжительность обработки, температура смешиваемых компонентов, частота ультразвука, концентрация жировой фазы в эмульсии, концентрация необходимых стабилизаторов.

Установлена оптимальная частота (рис. 3) и вид преобразователя, применимого в условиях мясной промышленности. Наиболее тонкодисперсная и стабильная эмульсия получена при частоте 11 кгц на гидродина-

мической звуковой установке, отличающейся простотой конструкции.

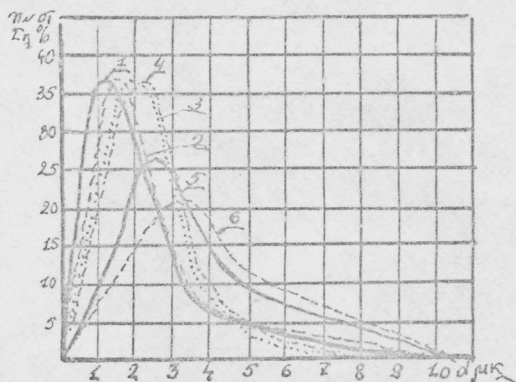


Рис. 3. Влияние частоты ультразвука на дисперсность жировых эмульсий:

1 - 5 мин., 2 - 7 мин., 3 - 3 мин.,
4 - 10 мин., 5 - 1 мин.,
6 - ЭМИБ (контроль) - 5 мин.

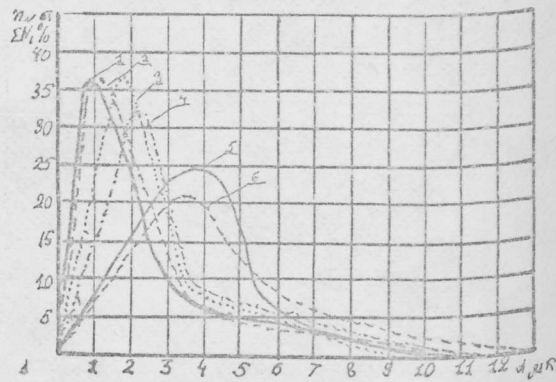


Рис. 4. Влияние продолжительности обработки на степень дисперсности эмульсии:

1 - 11,2 кгц, 2 - 1000 кгц,
3 - 300 кгц, 4 - 600 кгц,
5 - 22 кгц, 6 - ЭМИБ (контроль)

Дисперсность эмульсии с возрастанием концентрации жировой фазы падает. Для использования в колбасном производстве предложены эмульсии концентрацией жира 36-40%.

Получена эмпирическая формула, устанавливающая взаимосвязь между $d_{ср.}$ частиц (y) и концентрацией жира (x):

$$y = 0,017x + 1,852$$

При продолжительности озвучивания выше оптимальной происходит коагуляция жировых частиц. Высокая дисперсность эмульсии достигается при обработке в течение 7 мин. на гидродинамической звуковой установке (рис. 4).

Установлены оптимальные концентрации и вид стабилизаторов, применимых при производстве мясopодуkтов. Установлена взаимосвязь между диаметром частиц (y) и концентрацией стабилизатора (x):

$$y = -15x + 3,733$$

Контрольным эмульгированием на микроизмельчителе получены грубодисперсные эмульсии.

Электронномикроскопическими исследованиями изучено строение эмульсии, полученных ультразвуком. Получен конгломерат, состоящий из нескольких крупных жировых частиц, окруженных оболочкой стабилизатора сложного строения.

Структурно-механические свойства фарша значительно влияют на качество и выход продукта. Вязкопластичные свойства фаршей обусловлены их влажностным состоянием, т.е. количеством влаги и прочностью ее связи с составными частями фарша. Увеличение водосвязывающей способности фаршей при введении эмульсии сопровождается ростом показателей их структурно-механических свойств (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Структурно-механические свойства фаршей, содержащих жировую эмульсию

Образец	Количество эмульсии или воды и жира, % к мясу	Благодержание в пересчете на сухой остаток	Характеристика влажностного состояния по Грау, см ² , пятна	Вязкость $\eta \times 10^{-4}$ дин.см ²	Модуль сдвига $E \times 10^{-3}$ дин.см ²	Упрочнение при деформировании, %
Фарш, изготовленный из мяса, не выдержанного в посоле						
Опытный	20	194,7	1,95	14,6	2,30	42,7
Контрольный	12+8	197,8	2,94	10,98	2,16	33,4
Опытный	40	205,6	3,20	13,5	2,08	38,2
Контрольный	24+16	201,4	3,79	9,76	1,94	30,5
Опытный	60	214,7	5,95	10,7	1,71	34,3
Контрольный	36+24	209,9	6,94	7,5	1,62	26,1
Фарш, изготовленный из мяса, выдержанного в посоле						
Опытный	20	197,6	1,84	15,2	2,54	48,0
Контрольный	12+8	191,4	2,70	12,1	2,24	39,2
Опытный	40	205,4	3,02	13,8	2,31	40,0
Контрольный	24+18	202,6	4,0	11,3	2,11	35,7
Опытный	60	217,6	5,24	10,5	1,96	36,1
Контрольный	36+20	211,4	6,10	8,6	1,87	30,8

Водосвязывающие свойства фаршей из мяса без выдержки в посоле, но с введением эмульсии выше, чем контрольных — из мяса, выдержанного в посоле, и содержащих жир и воду в виде отдельных компонентов. Это указывает на возможность устранения посола введением жировых эмульсий.

При проведении производственных исследований и внедрении жировых эмульсий в колбасном производстве увеличены выходы на 4-5% за счет значительного повышения водосвязывающей способности фаршей. Содержание влаги в готовых изделиях не превышало нормативного. Опытные партии отличались нежной консистенцией, сочностью, хорошим связыванием влаги.

Исследованиями структуры колбасных изделий установлено более равномерное распределение частиц жира в структуре фаршей партий, содержащих жировую эмульсию. Средний диаметр жировых частиц колеблется в пределах от 15 до 30 мк. В контрольных образцах частицы жира распределены неравномерно; диаметр частиц от 120 до 160 мк.

Биологическая оценка (табл. 4) вареных колбасных изделий, содержащих жировую эмульсию, показала на отсутствие существенных различий в усвояемости белков и азотистом балансе между партиями, содержащими жировую эмульсию и изготовленными по принятой технологии. Установлена более высокая атакуемость белков протеолитическими ферментами и желудочная секреция для опытных партий колбасных изделий.

Т а б л и ц а 4
Биологическая оценка колбасных изделий

О п ы т ы	Среднесуточное количество усвоенного азота, %	Среднесуточный баланс азота, мг
Рацион с опытными сардельками	83,30	444,9
Рацион с контрольными сардельками	82,34	427,8

Акустические параметры животных тканей

Характер распространения ультразвуковых волн в среде определяется ее акустическими параметрами — скоростью ультразвука и акустическим сопротивлением. Согласованность акустических параметров продукта и среды определяет эффективность передачи ультразвуковой энергии продукту.

Акустические параметры мышечной ткани различных видов мяса близки по своему значению. Отличие акустических параметров ткани молодняка обусловлено низким содержанием соединительной ткани и более высоким содержанием воды. Резкое отличие акустических параметров костной и остальных тканей обусловлено особенностью строения костной ткани и указывает на возможность разрушения надкостницы ультразвуковыми колебаниями.

Субпродукты по акустическим параметрам не отличаются от остальных тканей. Жировая ткань обладает различными акустическими параметрами по сравнению с мышечной. Степень развития автолиза, а также состояние структуры не влияют на акустические параметры мышечной

ткани. Скорость ультразвука в мышечной и жировой тканях зависит от температуры.

О п р е д е л е н и е к а ч е с т в а м я с н ы х ф а р ш е й. На основании изучения акустических параметров тканей разработан способ автоматического регулирования структурно-механических свойств фаршей при их изготовлении, позволяющий заменить существующую субъективную оценку качества фаршей объективным методом, обеспечивающим непрерывность измерения. Способ позволяет определить оптимальную продолжительность измельчения. При разработке способа использовано явление затухания амплитуды ультразвуковых колебаний в среде, степень которых зависит от вязкости фарша. Сопряжение ультразвукового датчика с системой подачи воды на измельчитель обеспечит регулировку количества вводимой воды, в зависимости от водосвязывающей способности сырья. При достижении оптимальной вязкости фарша колебания датчика достигают определенной амплитуды, и исполнительный механизм прекращает подачу воды на измельчитель. Установлены резкие отличия вязкости фаршей с разным содержанием введенной воды, изготовленных из сырья различного состава и термической обработки.

Использование ультразвука для механизации процессов очистки

Важным направлением промышленного использования ультразвука является механизация очистки продуктов и инструмента мясной промышленности. Механизацией трудоемкой операции очистки троллеев облегчены условия труда и значительно снижены потери мяса от механических загрязнений. В результате проведенных исследований разработаны технология и конструкция ультразвуковой установки для очистки троллеев, режим ультразвуковой очистки — вид и концентрация поверхностно-активных веществ, продолжительность очистки, температура моющей среды (рис. 5 и 6).

Методом скоростной киносъемки изучен механизм удаления загрязнений в ультразвуковом поле и определена продолжительность процесса. Анализом кинограмм установлено протекающее в течение долей секунды разрушение пленки с дроблением ее на отдельные сегменты. Процесс разрушения может быть разделен на несколько стадий: образование трещин в пленке, разрыв сплошности пленки на сегменты, их дисперги-

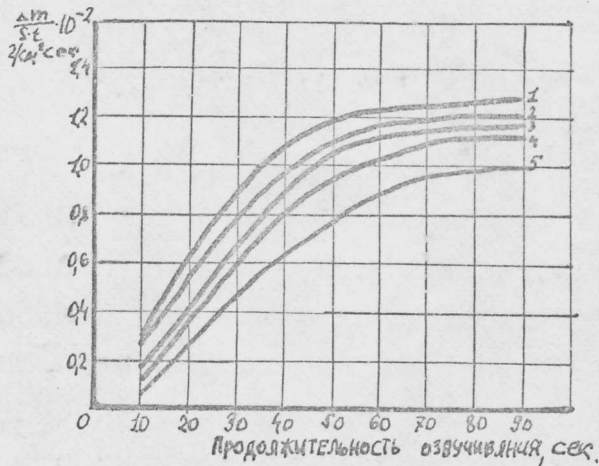


Рис. 5. Определение оптимальной продолжительности очистки

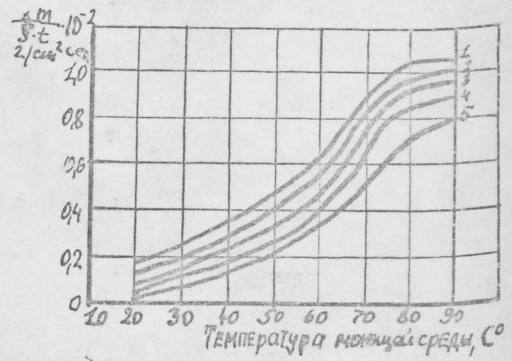


Рис. 6. Определение оптимальной температуры среды

- 1 - раствор: кальцинированная сода - 50 г/л,
сульфанол - 5 г/л.
- 2 - раствор: кальцинированная сода - 40 г/л,
сульфанол - 4 г/л.
- 3 - раствор: кальцинированная сода - 30 г/л,
сульфанол - 3 г/л.
- 4 - раствор: кальцинированная сода - 20 г/л,
сульфанол - 2 г/л.
- 5 - вода

рование и унос от поверхности изделия. Одновременно происходит эмульгирование жировой основы пленки и эмульсия уносится из зоны, расположенной над изделием. В результате изучения кинограмм выбрано оптимальное расположение изделия к мембране преобразователя. Ультразвуковым методом микрофлора удаляется с поверхности изделия в большей степени, чем при ручной очистке. Разработана конструкция ультразвуковой установки для очистки троллеев, внедренной на ряде предприятий мясной промышленности.

Table 1

Ultra-sonic specific intensity at various frequencies

Frequency, kcs	22	300	600	750	1000
Intensity, w/cm ²	2.31	15.6	18.4	18.5	19.5

Table 2

Ultra-sonic tenderization of meat

Treatment time, min.	Organoleptical evaluation, score	Shear value, kg	Shifting stress, kg/cm ²	Notes
3	3.85	2.11	5.95	Treatment of meat frozen down to -8°C
5	3.72	1.59	5.54	
10	3.95	1.69	4.85	
15	4.50	1.61	4.95	
Control	2.90	2.25	6.56	
3	4.00	1.84	5.21	Treatment of meat frozen down to -30°C
5	4.4	1.57	4.78	
Control	3.1	2.27	5.67	
5	4.22	1.86	5.08	US-waves are parallel to fibers
5	4.30	1.82	5.14	
Control	3.20	2.16	5.43	US-waves are perpendicular to fibers

Table 3

Structural-and-mechanical properties of forcemeats, containing fat emulsion

Sample	Emulsion or water-and fat level, % of the meat	Moisture content as dry residue	Moisture content according to Grau, cm ² , spots	Viscosity, $\eta \times 10^{-4}$ dyne·cm ²	Shear modulus, $Ex \times 10^{-5}$ dyne·cm ²	Hardening at deformation, %
Forcemeat prepared without meat pre-curing						
Test	20	194.7	1.95	14.6	2.30	42.7
Control	12+8	197.8	2.94	10.98	2.16	33.4
Test	40	205.6	3.20	13.5	2.08	38.2
Control	24+16	201.4	3.79	9.76	1.94	30.5
Test	60	214.7	5.95	10.7	1.71	34.3
Control	36+24	209.9	6.94	7.5	1.62	26.1
Forcemeat prepared of pre-cured meat						
Test	20	197.6	1.84	15.2	2.54	48.0
Control	12+8	191.4	2.70	12.1	2.24	39.2
Test	40	205.4	3.02	13.8	2.31	40.0
Control	24+18	202.6	4.0	11.3	2.11	35.7
Test	60	217.6	5.24	10.5	1.96	36.1
Control	36+20	211.4	6.10	8.6	1.87	30.8

Table 4

Biological evaluation of sausage products

T e s t s	Average daily amount of digested nitro- gen, %	Average daily ba- lance of nitro- gen, mg
Ration with experimental sardellas	83.30	444.9
Ration with control sardellas	82.34	427.8

Fig. 1. Distribution pattern of acoustic energy throughout the volume of the treated medium and by the diagonal of the transformer
 ----- cavitation regime (U=7.5 kv)
 - - - - - non-cavitation regime (U=4 kv)

Fig. 2. Meat heating as related to ultra-sonic frequency and exposure time

- Temperature, °C

- Time, min.

Fig. 3. The effect of ultra-sonic frequency on fat emulsion dispersity
 1 - 5 min., 2 - 7 min., 3 - 3 min., 4 - 10 min., 5 - 1 min.,
 6 - control - 5 min.

Fig. 4. The effect of treatment time on the degree of emulsion dispersity

1 - 11.2 kcs, 2 - 1,000 kcs, 3 - 300 kcs, 4 - 600 kcs,
 5 - 22 kcs, 6 - control

Fig. 5. The determination of the optimum time for purification
 Продолжительность озвучивания - sonic treatment time, sec.

Fig. 6. The determination of the medium optimum temperature
 Температура моющей среды - detergent medium temperature, °C

To Figs. 5 & 6:

1 - solution: soda ash - 50 g/l

sulfanol - 5 g/l

2 - solution: soda ash - 40 g/l

sulfanol - 4 g/l

3 - solution: soda ash - 30 g/l

sulfanol - 3 g/l

4 - solution: soda ash - 20 g/l

sulfanol - 2 g/l

5 - water