

## РЕОЛОГИЯ МЯСНОГО ФАРША ПРИ

КУТТЕРОВАНИИ

А.В.Горбатов - Московский технологический институт мясной и молочной промышленности

В.М.Горбатов - Всесоюзный научно-исследовательский институт мясной промышленности

Куттерование служит для тонкого измельчения мяса с целью придания фаршу определенных технологических характеристик. Этот процесс является одним из основных в производстве сосисок и большинства вареных колбас; его проведение в значительной мере определяет качество готовых изделий. А.И.Пелеев /32/ подчеркивал необходимость создания объективного автоматического прибора для определения готовности фарша. До сих пор, по преимуществу, испытания аппаратов для тонкого измельчения мяса сводилось к определению энергетических затрат и органолептической оценке качества готовых изделий. Впервые серьезные исследования куттерования были проведены Л.П.Лавровой и В.П.Воловинской /23,24/ на 40-литровом куттере. Ими установлены экстремальные значения липкости, вязкости и предельного напряжения сдвига при определенной длительности процесса. Однако связать эти характеристики как с влажностью фарша, так и исходного мяса, и сделать количественные обобщения по результатам экспериментов не удалось. Исследования измельчения на куттерах других моделей они не производили. Г.В.Бакунц /4,5/ также исследовал изменение свойств во время кут-

терования с помощью предложенного им прибора на куттере малой модели. А.А.Соколов /38/ отмечает начало перерождения структуры фарша, т.е. вторичное структурообразование при определенной длительности куттерования. Значительный интерес представляют гистологические исследования степени измельчения /6,36,37/ .

Перечисленные работы в области куттерования дают качественное объяснение процесса. Следующим этапом исследования является установление количественных закономерностей для наиболее распространенных куттеров малой и большой моделей при вариировании длительности куттерования, как характеристики процесса, и влажности, как характеристики измельчаемого объекта.

#### ИЗУЧАЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРИБОРЫ

Физические свойства могут достаточно объективно характеризовать качественное состояние продукта /34/ и отражать изменения, происходящие в нем под воздействием внешних факторов. При этом чрезвычайно важно, как отмечают также Р.Хамм и К.Ризнер /42/ , найти показатели, которые в наибольшей мере отражают внутренние процессы, чувствительны и значительно отличаются при небольших отклонениях, особенно вблизи критических точек. Такими показателями для фарша и мяса являются структурно-механические свойства.

Реологические свойства сырого фарша измеряли по разработанной методике /14,35/ . По кривым течения - реограммам - вычисляли предельное напряжение сдвига ( $\text{ПНС} - \theta_0$ ) пластическую ( $\text{ПВ} - \eta$ ) и эффективную ( $\text{ЭВ} - \eta_{\text{эф}}$ ) вязкости. Последняя, не являясь величиной постоянной, но зависимой от скорости деформации,

представлена в виде формулы:

$$\gamma_{\text{эп}} = B \cdot W^{-m} / I,$$

где  $B, m$  – эмпирические коэффициенты; первый – эффективная вязкость при единичной скорости, второй – темп разрушения структуры,

$W$  – окружная скорость вращения ротора вискозиметра.

Размерности всех величин – в системе МКС по ГОСТ 7664-61 (м, кг, сек, град).

Поскольку время старения сказывается на величине свойств спустя 2-3 часа после изготовления фарша /14/, все измерения проводили на трех вискозиметрах РВ-8 системы М.П.Воларовича сразу же после окончания процесса куттерования. Кроме того, ИНС определяли на коническом пластометре КП-3. С целью сравнения результатов реологических исследований /7/ проводили параллельные определения свойств на вискозиметре Реотест.

Одновременно с указанными исследованиями определяли давление сопротивления при обтекании лопасти (пластина, шар, размер 0,0292; 0,045; 0,060 м) фаршем. Прибор (см. рис.4в) имеет Г образную станину /1/, которую крепят к крышке куттера, и вертикальную упругую балку /2/ с демпфирующей пружиной /3/; на конце балки с помощью штока устанавливают лопасть. Деформацию балки измеряют индикатором часового типа /4/. Тарировкой по величине прогиба балки определяли силу сопротивления. В отношении к мидделеву сечению лопасти дает давление сопротивления. Для обеспечения более устойчивых показаний прибора индикатор следует помещать ближе к месту крепления балки, где деформации не превышают 2-2,5 мм. Демпфиру-

чая пружина должна быть немного сжата. Следует отметить, что показания, получаемые при обтекании пластины, более устойчивы, чем при обтекании шара. В последнем случае поверхность осаливается и геометрический размер шара увеличивается. Размер пластины остается неизменным, хотя перед ней образуется выпуклая, "мертвая" зона фάρша, что сближает условия обтекания пластины и шара.

Липкость мясного фάρша - наименее изученная характеристика из всего комплекса структурно-механических свойств, хотя ей отводят [32,37] важное место в оценке готовности фάρша. Ее трактуют как усилие нормального отрыва пластины от продукта на единицу площади [31,35]. Обычно отрываема пластина захватывает часть продукта, отрыв-адгезионно-когезионный [31]. Встречающиеся в литературе данные [23,24] носят сугубо частный характер, т.к. эксперименты были поставлены при постоянных значениях переменных, от которых зависит липкость: давление и время предварительного контакта, площадь пластин, толщина слоя продукта, скорость приложения силы.

Прибор для измерения [14,16,35] имеет электропривод к верхней пластине, которая закреплена на тензометрической банке; нижняя пластина крепится неподвижно на столике; продукт помещается ровным слоем между пластинами. Время и усилие отрыва автоматически записывается на ленте осциллографа от тензометрического датчика. В поставленных экспериментах взяты постоянными следующие параметры: пластины из нержавеющей стали площадью  $0,0010 \text{ м}^2$ ; толщина слоя продукта  $0,0003 \text{ м}$  (для первой и второй проб по длительности куттерования ее приходилось увеличивать до  $0,0006 \text{ м}$ ); скорость перемещения подвижной части прибора  $0,00358 \text{ м/сек}$ ; время предвари-



тельного контакта 300 сек, давление предварительного контакта  $2350 \text{ н/м}^2$ . Опыт работы с прибором показал, что при таких условиях получают достаточно хорошо сопоставимые данные, а сами условия можно считать подходящими для всех тонкоизмельченных фаршей вареных колбас.

#### Кинематические и энергетические характеристики куттера

наряду со временем обработки полностью определяют качество получаемого фарша. Немаловажную роль играет повышение температуры фарша, по которой можно судить о мощности, развиваемой режущим механизмом. Мощность измеряли самопишущим ваттметром, температуру - ртутным термометром с малым диаметром резервуара, запаздывание его показаний на  $0,2^\circ\text{C}$  составляет около  $0,15 \text{ мин.}$  /22/ .

Объемные свойства, особенно в связи с тенденцией к созданию автоматизированных линий изготовления сосисок без оболочки, имеют большое значение. В предлагаемых схемах линий /I,2,I3/ фарш заполняется в форму, с торцов вводятся поршни для подпрессовки, через них можно также подводить электроэнергию, затем форма с фаршем направляется на термообработку. Правильная организация процесса возможна при обеспечении наиболее благоприятных внешних воздействий и учете температурных изменений объемных свойств фарша.

Все эксперименты проводили на консистометре Гепплера /I4,26,4I/ . Фарш закладывали в цилиндр, подпрессовывали давлением  $0,156 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$  6 мин, давлением (Р)  $0,312 \cdot 10^5$ ;  $3,12 \cdot 10^5$  и  $10,6 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$ , выдерживали в течение 180 сек и затем, не снимая давления, заполняли термостат водой при температуре  $80-90^\circ\text{C}$  /8,9/ . При достижении в центре температуры  $71^\circ\text{C}$ , а в некоторых случаях  $80^\circ\text{C}$ , отключали горячую воду и подводили холодную. Во время всего про-

цесса регистрировали деформацию и температуру фарша. Деформацию измеряли индикатором часового типа; температуру — специальной термодпарой, введенной в фарш через доньшко цилиндра, место соединения герметизировано. Температуры воды и фарша записывались на электронном автоматическом потенциометре ЭПП-09.

Удельная электропроводность фарша ( $\alpha$ ,  $\text{ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ ) довольно сложная и малоизученная физическая характеристика /35/. Имеются сведения о возможности ее использования для качественной оценки мяса и фарша /12,25,30,35/. При этом факторы, влияющие на прохождение электрического тока, будут зависеть от биохимических реакций, протекающих в мясных тканях во время старения, посола, термообработки и т.д. Кроме того, внешние воздействия — добавляемая вода, механическая обработка, вызывают дополнительные и резкие изменения как в структуре тканей, так и в составе внутри и внеклеточного вещества. Эти изменения тем более существенны, чем более неоднороден состав фарша (вода, жир, соль и проч.). Следует также учитывать, что электрический ток проходит через элементы клеток и окружающую их среду. Участие элементов клетки в проводимости может быть самым различным.

Измерения проводили в специальной кювете, изготовленной из стекла и имеющей водяную рубашку. На внутренней поверхности кюветы впаены платиновые, черненные электроды. Сопротивление продукта определяли уравновешенным мостом Кольрауша. Напряжение 1в, частота тока 15 кгц от генератора звуковой частоты ГЗ-34; в качестве нуль-прибора использован электронный осциллограф СИ-1. Емкостный эффект и сопротивление самоиндукции незначительны,  $\text{Cos } \psi = 0,992$ . Особое внимание было обращено на тарировку кюветы.

Объективная качественная характеристика готовых колбасных изделий по механическим свойствам не получила еще должного распространения на мясокомбинатах. Работы, посвященные изучению "нежности" выполняются довольно часто /3,33/. Однако общепринятой ее оценки пока нет, хотя мы полностью согласны с А.А.Соколовым /38/, что наиболее объективными показателями нежности будут усилие и работа среза, усилие и работа сжатия. Исследования проводили на приборе А.С.Большакова и А.К.Фомина /II/, в котором реализуется смятие цилиндра из готовой колбасы и его срез по двум плоскостям нормально оси. В качестве объектов были взяты готовые колбасы, сваренные в пароварочной камере. Результаты экспериментов - кривые: усилие среза (на две поверхности) - время, записываются на электронном автоматическом потенциометре ЭПП-09. Каждая кривая состоит из двух частей. Первая часть показывает нарастание силы, величина которой определяется ординатой от нулевой отметки до записываемой кривой. В этот период проявляются силы сопротивления изделия смятию (сжатию); возникающие деформации имеют характер упруго-пластических. Площадь диаграммы представляет собой работу смятия. По достижении максимума, когда прикладываемое извне напряжение превышает предельное напряжение среза ( $\Pi H_{\text{ср.}}$ ), образец начинает необратимо разрушаться. Поскольку эффективная площадь образца непрерывно уменьшается, постольку усилие среза (напряжения) также уменьшается. Площадь этой части диаграммы показывает работу среза.

Напряжение среза определяется по тарировочным данным, без учета сил трения в подвижных частях, которые малы:

$$b = \frac{P}{2F} = \frac{\alpha h}{2F} = \alpha_1 h \frac{H}{M^2} \quad /2/,$$

где  $P$  - усилие, прикладываемое к подвижной части /Н/,

$F$  - площадь нормального сечения образца  $2,01 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ,

$\alpha$  - коэффициент пропорциональности, представляет собой тангенс угла наклона на тарировочной диаграмме

$$/276 \frac{\text{Н}}{\text{М}} /, \quad \alpha_1 = \frac{\alpha}{200 \cdot F} = 6,87 \cdot 10^3 \frac{2\text{Н}}{\text{М}^2 \cdot \text{см}},$$

- отклонение линии от нулевого положения на диаграмме потенциометра (см).

Удельная работа, определяемая площадью диаграммы:

$$A_{\text{уд.}} = \frac{W_n \alpha}{W_g F_1} \int_{\ell} h \, dl = \beta \cdot \ell \text{ гкс/м}^2 \quad /3/,$$

где  $W_n$  - скорость подвижной части прибора (м/сек);

$W_g$  - скорость ленты диаграммы (м/сек);

$\beta$  - постоянная прибора: для среза 50, для смятия  $157 \frac{\text{Н}}{\text{М} \cdot \text{см}^2}$  ;

$\ell$  - площадь диаграммы /см<sup>2</sup>/,

$\ell$  - длина соответствующей части диаграммы /см/;

$F_1$  - площадь смятия (произведение диаметра отверстия на толщину пластины  $1,28 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ) или удвоенная площадь среза ( $4,02 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ).

Для определения выхода готового продукта фарш в количестве 0,8 - 1 кг от каждой пробы набивали в кутизиновую оболочку диаметром 50 мм, затем варили по общепринятому методу в пароварочной камере. Влагосодержание и жирность фарша находили обычными методами /17,36,37/ .

Таким образом, экспериментально определяли все важнейшие характеристики сырого фарша, готового изделия из него и динамику изменения объема при термообработке.

## ВЫБОР И СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для тонкого измельчения мяса выбрали два распространенных куттера. Куттер малой модели /МК/ завода Саксония, фирмы "Нагема" (ГДР) имеет чашу емкостью 80 л, куда закладывали 40±45 кг сырья. Режущий инструмент состоит из 3 серповидных ножей и приводится во вращение электродвигателем мощностью 6,6 кВт с числом оборотов в минуту 1450. Куттер большой модели /БК/ завода "Идеал" (ЧССР) имеет чашу емкостью 240 л, куда закладывали 70±75 кг сырья. Режущий инструмент состоит из 5 серповидных ножей и приводится во вращение электродвигателем мощностью 24 кВт с числом оборотов в минуту 1450. Число оборотов чаши у куттеров одинаковое – около 8 об/мин.

В качестве объекта исследования был выбран один из типичных видов мясного фарша – фарш русских сосисок. Его готовили из 50% жирной свинины от лопатки и 50% говядины первого сорта от лопатки и шейной части. Мясо измельчали на волчке с диаметром отверстий решетки 3 мм, добавляли 2% соли и выдерживали при 4°C в течение 20–22 часов. При куттеровании добавляли воду температурой 11–12°C. Вначале куттеровали говядину с половиной от всего количества добавляемой воды 105 сек на МК и 45 сек на БК. Затем закладывали свинину и добавляли остальную воду и необходимые по рецептуре специи.

Во время куттерования ( $T_k$ ) через 4, 7, 10, 14, 18 и 22 мин для МК и 3, 5, 6, 7, 9 и 12 мин для БК отбирали пробы для исследования. Соответственно их обозначали I, II, III, IV, V и VI. Количество добавляемой воды ( $m_B$  в кг на кг мяса) меняли от 0,2 до 0,5. Всего было составлено по 4 рецептуры на каждый куттер (см. табл. I).

Влажность  $W$  в кг в кг воды на кг исходного продукта или содержание  $U$  в кг воды на кг сухого остатка (BC), а также жир-

ность  $\varphi$  в кг жира на кг исходного продукта сведены в табл. I для фарша и мяса. При этом влажность и ВС связаны соотношением  $W = \frac{u}{1+u}$

Таблица I

Куттер	№ образца	Характеристика фарша			Колич. воды	Характеристика мяса	
		$u_n$	$w_n$	$\varphi$		$u_m$	$w_m$
МК	1	2,21	0,689	0,166	0,20	1,683	0,627
	2	2,44	0,710	0,146	0,30	1,653	0,623
	3	2,70	0,730	0,127	0,40	1,650	0,622
	4	3,01	0,751	0,111	0,50	1,677	0,626
БК	5	2,06	0,676	0,183	0,25	1,440	0,590
	6	2,30	0,697	0,158	0,30	1,540	0,606
	7	2,55	0,718	0,154	0,45	1,453	0,592
	8	2,98	0,749	0,113	0,40	1,850	0,649

Из таблицы видно, что ВС исходного мяса, кроме восьмого образца, изменяется в довольно узком диапазоне. Поэтому жирность и ВС фарша удалось связать аналитической зависимостью

$$\varphi = 0,47 u_n^{-1,3} \quad /4/$$



Таким образом, диапазон изменения влажности и жирности достаточно широк и охватывает все встречающиеся на производстве отклонения от нормы. Фарш измельчался на двух куттерах распространенного типа.

#### ЗАВИСИМОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФАРША ОТ ДЛИТЕЛЬНОСТИ КУТТЕРОВАНИЯ И ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ

##### Сдвиговые свойства.

В начальном периоде куттерования размер частиц немного меньше исходного; добавленная вода образует толстые прослойки, облегчающие деформацию; ПНС имеет небольшие значения. Для первой пробы наблюдается сложная зависимость ПНС от ВС. В этом же периоде происходит интенсивное разрезание частиц, их общая поверхность увеличивается, влага из свободной переходит в поверхностно-связанную. При этом ПНС достигает максимального значения. Дальнейшее продолжение процесса (второй период) ведет к некоторому "размочаливанию" волокон, ПНС уменьшается. В последнем периоде перекуттерования — принципиально структура фарша остается без изменений, т.е. коагуляционной. Начиная со второго периода, повышение температуры, увеличение числа мельчайших частиц /24/, аэрирование массы /6/ и эмульгирование жира /21/ ведет к вторичному структурообразованию /38/. Одновременно /6/ происходят коллоидно-химические изменения. Для шестой пробы ПНС может быть больше или меньше, чем для пятой, в зависимости от величины ВС. Относительные изменения ПНС для первого и второго периодов показаны на рис. I. Следует отметить, что в диапазоне ВС текучего состояния, чем больше поверхность частиц, тем зависимость реологических параметров от ВС более значительна /10/.

В противоположность ПНС, ПВ во времени уменьшается, достигает минимума и увеличивается (см. рис. I). Они входят в уравнение

$$\text{Бингама } \theta = \theta_0 + \zeta \varepsilon \quad ,$$

где  $\theta$  - напряжение сдвига,

$\varepsilon$  - градиент скорости.

Описанный механизм изменения ПНС и ПВ обусловлен пересечением кривых течения на реограммах. При максимальной прочности структуры требуется наибольшее напряжение для начала течения  $|\theta_{0max}|$ . Для дальнейшего развития и поддержания течения в продукте необходимы меньшие напряжения по сравнению с грубодисперсным и перекуттерованным фаршем. Различным углом наклона кривых течения определяется темп разрушения структуры (см.рис. I), который имеет максимум при  $\theta_{0max}$  и  $\zeta_{min}$

Поскольку цель куттерования - получение фарша с прочной структурой и наибольшей водосвязывающей способностью, основной характеристикой будет ПНС, а не ПВ, которая проявляется при высоких градиентах скорости. Время, при котором все показатели фарша достигают экстремальных значений, а строение его наиболее однородно при компактной укладке частиц, названо оптимальным временем куттерования (ОВК -  $\tau_{opt}$ ).

Х. Линке /6/ установил, что при добавлении воды к мясу разделение мышечных волокон происходит быстрее, т.е. хорошо гидратированное мясо измельчается лучше /17/. В наших экспериментах также с полной очевидностью установлено, что ОВК с увеличением влажностного содержания уменьшается. Кроме того, найдено критическое ВС

$U_2 = 2,7$ ; при котором ОВК минимально. При  $U > U_2$  ОВК опять увеличивается. Последнее объясняется утолщением водно-белковых прослоек между частицами и, следовательно, уменьшением сил сцепления между

элементами коагуляционной структуры. Таким образом, частицы находятся как бы в плавающем состоянии и их относительные смещения облегчены, а период релаксации с увеличением ВС уменьшается. Согласно существующей теории куттерования /4,5,19,32/ , наилучшие условия для измельчения создаются, когда время воздействия ножа на продукт равно или меньше периода релаксации упругих деформаций, т.е. продукт можно рассматривать, как упруго-твердое тело. Обводнение фарша отклоняет его состояние от упругого.

Для вычисления ОВК (в мин) по экспериментальным данным получена аналитическая зависимость

$$\tau_{opt} = a(\omega - \omega_2)^2 + \tau_{opt}^* \quad /5/$$

где  $\tau_{opt}^*$  - наименьшее ОВК при критическом ВС,

$a$  - коэффициент, характеризующий интенсивность изменения ОВК, (см.табл. 2).

Таблица 2.

Свойства	МК (малый куттер)			БК (большой куттер)		
	$a$	$\tau_{opt}^*$	$\omega_2$	$a$	$\tau_{opt}^*$	$\omega_2$
Сдвиговые	6	12,5	2,7	4	6,7	2,7
Липкость	15	10,7	2,6	5	6,0	2,6

Функциональные изменения величины свойств, когда в качестве аргументов приняты  $\tau_k$  и  $\omega$ , дают криволинейные пространственные поверхности. Для удобства практического использования в пределах ошибки экспериментов для каждого ВС при ОВК найдены свойства

и построены графики их изменения (рис. 2). С увеличением ВС все свойства уменьшаются по экспоненциальному закону, что было проверено неоднократно измерениями в различных экспериментах, в том числе и на других пластично-вязких системах /10/. Поэтому нельзя согласиться с Р.Хаммом и К.Ризнером /42/, которые утверждают, что вязкость как функция количества добавленной воды может быть прямой или кривой (выпуклой, вогнутой). Они не получили достоверного характера кривой, т.к. не учитывали ВС мяса и степень его измельчения. В то же время ими установлен интересный факт независимости истории добавления воды в фарш при измерении вязкости. При куттеровании последовательность добавления воды (льда) значительно сказывается на величине реологических свойств.

Аналитическая обработка кривых (см.рис. 2) дала расчетные зависимости

$$R_{\text{экт}} = \varphi \exp(-bx) \quad /6/$$

где  $R_{\text{экт}}$  - любое свойство фарша (ПНС, ПВ или В) при ОВК, т.е. его экстремальное значение,

$X = W - 0,48$  - избыточная относительная влажность,

$\varphi, b$  - эмпирические коэффициенты, первый характеризует величину свойства при  $X = 0$ , второй - темп изменения свойств (угол наклона прямой) при увеличении  $\bar{X}$ .

Числовые значения коэффициентов для восьми уравнений по рис. 2 сведены в табл. 3. Отклонения экспериментальных значений свойств от вычисленных по уравнению /6/ приведены также в табл.3.

Таблица 3.

Модель куттера	М К				Б К			
	ПНС динамич.	ПНС статич.	ПВ	В	ПНС динамич.	ПНС статич.	ПВ	В
Коэффициенты	$\frac{\varphi}{\beta}$ 5200 II	7600 II	I65 I2,4	55 I2,4	4600 II	2700 7,8	I6,5 3,57	I3 6,9
Отклонения в %	0 <sup>x)</sup>	+7 -15	0 <sup>x)</sup>	+8 -1	±12	± 4,5	0 +5	±8

x) одна точка отклоняется на 20% при ВС = 3,01.

Темп разрушения структуры, как неоднократно было показано в предыдущих работах /14, 35/, не зависит от влажности фарша. ПРИ ОБК во всех опытах  $m = 0,760 \pm 0,770$  (отклонение I,3%).

Измельчение мяса на МК дает фарш, все величины свойств которого в принятом диапазоне влажности больше, чем на БК, что обусловлено худшим измельчением на МК соединительной ткани. Она способствует большей прочности структурного каркаса в фарше.

При исследовании влияния давления, влажности и температуры на структурно-механические свойства /15/ фарш русских сосисок измельчали на МК I4 мин. При нулевом избыточном давлении и температуре 22°C полученные в /15/ зависимости приведены к виду /6/. Отличие этих значений от данных табл. 3 обусловлено постоянством времени куттерования. Отклонение по формулам /15/ от результатов

по уравнению /6/ составляют для ПНС от +12 до - 10%, для В и ПВ  $\pm 10\%$  при измельчении на МК; при измельчении на БК для ПНС  $\pm 13\%$ ; В и ПВ отклоняются до 40%.

Как было отмечено выше, при изменении  $\tau_k$  свойства не остаются постоянными. Поэтому для оценки этих изменений предложено безразмерное уравнение:

$$\frac{R}{R_{\text{экт}}} = H + \mathcal{L} \left( \frac{\tau_k}{\tau_{\text{опт}}} - 1 \right)^2 \quad /7/$$

где  $R$  - текущее значение свойства при любом  $\tau_k$ ,

$R_{\text{экт}}$  - экстремальное значение свойства, вычисленное по уравнению /6/, ОК вычислено по /5/,

$H, \mathcal{L}$  - эмпирические коэффициенты, первый соответствует отношению свойств при ОК, второй характеризует интенсивность изменения свойств при любом времени.

Пределы применимости уравнения /7/ по времени куттерования  $\pm 50\%$  от оптимального его значения, что вполне достаточно для практических расчетов. Числовые значения свойств представлены на рис. 1, коэффициенты к уравнению /7/ - в табл. 4.

Следует отметить, что при измерении свойств коническим пластометром, если  $U \geq 2,7$ , понижения ПНС при перекуттеровании фарша не обнаружено.



Таблица 4 .

Наименование	Значение отношения	Числовые величины коэффициентов			
		При $0,5 \leq \frac{\tau_k}{\tau_{опт}} \leq 1$		При $1 \leq \frac{\tau_k}{\tau_{опт}} \leq 1,5$	
		$\frac{R}{R_{экт}}$	$H$	$L$	$H$
Предельное напряжение сдвига	$\frac{\theta_0}{\theta_{0max}}$	I	-1,5	I	-0,75
Пластическая вязкость	$\frac{h}{h_{min}}$	I	+1,0	I	+0,60
Темп разруше- ния структуры	МК $m$	0,77	-0,35	0,765	-0,25
	БК $m$	0,76	-0,35	0,765	-0,25
Липкость	$\frac{\rho_0}{\rho_{0max}}$	I	-0,8	I	-0,5

Результаты измерений, проведенных вискозиметром Реотест, показали удовлетворительное совпадение с результатами, полученными на РВ-8. На рис.3 показаны реограммы по разрушенной структуре /а/ и изменение ЭВ от откружной скорости вращения ротора /б/. При ВС от 2,21 до 2,7 совпадение результатов по РВ-8 и Реотесту наблюдается при числе оборотов ротора до 1 об/сек; ЭВ совпадают до скорости 0,1 м/сек. Затем реограммы по Реотесту резко уходят вверх от реограмм по РВ - 8, а ЭВ, наоборот, отходят несколько вниз. Отклонение реограмм по Реотесту объясняется биением и проскальзыванием ротора по фаршу. При высоком ВС (3,01) совпадение практически полное, т.к. фарш становится "жидким" и довольно легко заполняет образовавшуюся в результате биения пустоту. Кроме того, его легкая текучесть обеспечивает быструю релаксацию на-

пряжений по высоте рабочего зазора, и следовательно, исключает спиралеобразное движение фарша в нем. Такое движение обусловлено воздушной подушкой у нижнего торца ротора. Данные по ЭВ на Рео-тесте могут быть систематически занижены по сравнению с РВ-8 на величину до 6%.

На рис. 4 б показана зависимость давления сопротивления при обтекании фаршем квадратной пластины (длина стороны 0,045 м). ВС фарша 2,44 (образец № 2). Интересно отметить, что сопротивление (кривая 1) и ПНС (кривая 2) изменяются подобно; экстремальные значения кривых достигаются при ОВК.

Аналитические обобщения давления сопротивления, подобно выполненным для ПНС, ПВ и других, не имеют смысла, т.к. оно зависит в первую очередь от расстояния лопасти до оси вращения чаши. Изменяя это расстояние, можно варьировать скорость от 0,125 до 0,4 м/сек. Эксперименты по длительности куттерования, а также специальные при снятых ножах, позволили получить критериальное уравнение динамики обтекания лопасти:

$$\frac{P}{\theta_0} = 1600 d^{0,8} \left( \frac{\theta_0 d}{\zeta_{эф. W}} \right)^{-1} \quad /8/$$

$$P = 1600 d^{-0,2} \zeta_{эф. W} \quad /9/$$

где 1600 - коэффициент, имеющий размерность  $m^{-0,8}$ ,

$d$  - диаметр шара или сторона квадрата.

Графически это /8/ пояснено на рис. 4 а; на рис. 4 б показано изменение критериев подобия по длительности куттерования.

Метод обтекания лопасти при изготовлении фарша может быть использован для объективного контроля его готовности по величине структурно-механических свойств. Создание автоматических линий приготовления фарша /18/ без подобного прибора обречено на неудачу.

Таким образом, довольно подробно рассмотрен механизм измельчения при различной влажности, найдено критическое ВС (2,7), при котором ОВК наименьшее. Рассмотрен механизм измельчения во времени, установлено наличие экстремальных значений всех свойств при ОВК. Исследовано обтекание лопасти фаршем. Найдены аналитические зависимости для расчета всех исследованных параметров куттерования. Обоснован выбор ПНС и давления сопротивления как наиболее объективных характеристик процесса (по сдвиговым свойствам). ПНС легко определить в производственных условиях с помощью конического пластометра (время измерения - 3 мин, подготовительно-заключительных операций - 2÷3 мин). Давление сопротивления при обтекании лопасти измеряется непосредственно в чаше куттера и может быть записано самопишущим прибором.

Реотест пригоден для исследования сдвиговых свойств фарша после изменения конструкции ротора - рифленый цилиндр со сферическим торцом, и устранения биения ротора. Он может быть рекомендован для лабораторных исследований в промышленности и научных учреждениях. Показания Реотеста удовлетворительно согласуются с показаниями РВ-8.

### Липкость

Подобно НДС липкость ( $\bar{\rho}_o$ ) во время куттерования увеличивается, достигает максимума и уменьшается (рис.5) Кроме того, она зависит и от ВС. Изменение липкости во время куттерования обусловлено, в основном, теми же причинами, которые влияют на изменение НДС. Однако, ОВК не совпадает с предыдущими данными. ОВК, найденное по липкости, составляет 0,86 - 0,96 от ОВК по другим реологическим свойствам. Сокращение ОВК можно объяснить, рассматривая сущность выражения свойств - сдвиговые свойства характеризуют энергию взаимодействия между элементами структуры, т.е. поведение всего объема системы в условиях напряженного состояния; липкость характеризует энергию свободной поверхности системы, а поверхностные слои обладают особыми свойствами вследствие влияния соседних фаз. Следовательно сдвиговые и поверхностные свойства не тождественны, хотя по физической сущности похожи. Тогда можно сделать вывод, что максимум энергии на поверхности достигается во время куттерования быстрее, чем максимум энергии в объеме. Вероятно нарастание липкости в первую очередь обусловлено появлением аморфного, бесформенного вещества фарша, которые /6/ обнаруживаются лишь с пятой минуты куттерования (тип куттера не указан), а после этого внешний вид образца под микроскопом не **меняется**. А.А. Соколов /37/ отмечает, что в первый трехминутный период преобладает механическое разрушение тканей, затем частицы начинают интенсивно набухать и связывать воду. При этом суммарная поверхностная энергия частиц увеличивается, вследствие увеличения общей поверхности раздела. В остальном изменение липкости во

время куттерования происходит под воздействием тех же самых факторов, которые вызывают изменение сдвиговых свойств.

Найденные значения ОВК по  $\bar{\rho}_{o\ max}$  представлены на рис. 6. Здесь критическое ВС  $\underline{U}'_2 = 2,6$  меньше, чем для сдвиговых свойств. Для расчета ОВК по кривым 1 и 2 (см. рис. 6) получена зависимость (см. формулу 5 и табл. 2).

Рассмотрение поверхностей (см. рис. 5) и кривых 3 и 4 на рис. 6 показывает, что при увеличении ВС липкость увеличивается при толщине слоя продукта 0,0003 м. В этом же случае сдвиговые свойства уменьшаются. С другой стороны, при толщине слоя 0,001 м увеличение ВС ведет к уменьшению липкости, что аналогично изменению сдвиговых свойств. Такая разница в поведении липкости вызвана тем, что при толщине 0,0003 м в основном проявляются силы адгезии, т.е. поверхностные, течение отсутствует; при толщине 0,001 м — когезии, т.е. объемные, возможно течение фарша между пластинами, а объемная прочность (например ПНС) с увеличением ВС уменьшается. Интересно отметить, что при толщине слоя 0,001 м липкость при ОВК связана с ВС соотношением  $\rho_{o\ max} = 14,2 \cdot 10^3 \cdot \exp(-2,68)$ , которое по форме подобно /6/; либо более простым  $\rho_{o\ max} = 12 \cdot 10^3 \cdot (1 - 0,148 \underline{U})$ . Отклоняется на 20% только одна точка при  $BC = 3,01$ ; совершенно аналогично отклонению для ПНС и ПВ (см. табл. 3). Таким образом, с увеличением толщины слоя измеряется уже не липкость в чистом виде, а вместе с объемными свойствами. Максимум на кривых липкости достигается за одно и то же время куттерования, даже если при измерениях толщина слоя фарша между пластинами была разной.

Кривая 5 на рис. 6 показывает изменение относительной



липкости при различном времени куттерования. Ее характер подобен характеру кривых для сдвиговых свойств. Аналитическая зависимость, описывающая кривую 5, имеет вид уравнения 7, значения коэффициентов - в табл. 4.

При изменении липкости фарша через сутки ОВК остается неизменным, а  $\bar{\beta}_{o \max}$  уменьшается примерно на 10%. Кривая  $\bar{\beta}_o(\tau_k)$  подобна кривой, полученной сразу же после куттерования фарша. Эти условия полностью сохраняются для двух выбранных толщин слоев фарша.

Таким образом, установлен механизм изменения липкости во время куттерования и при различном ВС; найдены аналитические зависимости для расчета ее абсолютной величины, а также максимальные значения липкости и соответствующее им ОВК. При меньшей толщине слоя в большей мере проявляется адгезия, поэтому абсолютные значения липкости отличаются более резко, чем при толстом слое, когда в большей мере реализуется когезия. Используемый прибор для измерения липкости проверен на практике и может быть рекомендован для лабораторных исследований.

#### Удельная электропроводность

Электропроводность при 18<sup>0</sup>С определяли для всех проб фарша. Кроме того, исследовали температурные зависимости электропроводности у проб фарша через одну по времени куттерования, т.е. для II, IV и VI.

Как и следовало ожидать, электропроводность во время куттерования чрезвычайно изменчива. В противоположность всем



остальным реологическим экспериментам на кривых  $\alpha$  ( $\tau_k$ ) имеется несколько экстремумов (до четырех). При этом, одно и то же время куттерования в области ОВК при  $\underline{U}_H < 2,4$  дает меньшие экстремальные значения  $\alpha$ , при  $\underline{U}_H > 2,4$  - большие. Кривые 5 и 6 на рис. 7 показывают значения электропроводности при ОВК, найденном, соответственно, по липкости и предельному напряжению сдвига.

Время куттерования, при котором достигаются экстремальные значения  $\alpha$ , характеризуется кривыми 1 для БК и 2 для МК (см. рис. 7). Рассмотрение зависимостей не позволяет сделать столь однозначных выводов, как это было возможно при рассмотрении всех остальных параметров процесса.

С увеличением ВС  $\alpha$  вначале увеличивается разко, достигая наибольшего значения в области критического ВС /2,4/, затем несколько уменьшается (кривые 3 для БК, 4 для МК). При этом следует учитывать, что кривые 3, 4 на рис. 7 показывают значения электропроводностей при времени куттерования, соответствующих кривым 1 и 2. Увеличение  $\alpha$  объясняется большим участием дисперсионной среды в проводимости тока.

Температурные изменения электропроводности носят практически линейный и положительный характер до температуры 48-52°C /35/. Затем интенсивность ее роста понижается за счет выделения бульона, что связано с денатурацией белков. При температуре в пределах 50-72°C следует говорить уже о проводимости сложной системы фарш-бульон. При 72°C значения электропроводности на 7-10% меньше экстраполированных значе-

Кривая 5 на рис. 6 показывает изменение относительной

ний по первоначальной области.

Температурные изменения экстремальной электропроводности при различном ВС (кривые 3, 4 на рис. 7) в пределах температур 18-50°C описываются формулой:

$$\kappa \cdot 10^2 = 0,6 \underline{U}_H - q + 0,035 t \left[ z - |\underline{U}_H - 2,45| \right], /10/$$

где член в прямых скобках берется по абсолютной величине,

$t$  - температура фарша,

$q, z$  - эмпирические коэффициенты

для БК

$$q = 0,84;$$

$$z = 1;$$

для МК

$$q = 0,94;$$

$$z = 1,29.$$

Полученная зависимость применима при  $2,15 \leq \underline{U}_H \leq 2,8$ .

Аппроксимация кривых прямыми проведена с ошибкой, не превышающей  $\pm 4\%$ . Отклонение экспериментальных данных от вычисленных, т.е. общая ошибка измерений и обработки лежит в пределах  $\pm 10\%$ . Характерным для всех экспериментов являются более высокие численные значения свойств при обработке фарша на МК.

Таким образом, удельная электропроводность является чрезвычайно тонкой, чувствительной характеристикой фарша. Зависимость ее от длительности куттерования имеет несколько экстремальных значений. При температуре начала интенсивной денатурации белков (около 50°C) наблюдается излом зависимости электропроводности. В качестве объективной характеристики процесса, наряду с другими свойствами, целесообразно использовать метод непрерывного ее измерения в потоке.

## Некоторые энергетические характеристики куттерования

Реологические исследования и полученные по ним обобщения позволили найти производительность куттера, исходя из ОВК и кинематических характеристик машин. Измерение возрастания температуры в чаше куттера и развиваемой режущим механизмом полезной мощности дает возможность подойти к расчету энергетических характеристик куттерования.

Основываясь на уравнении /5/ и кинематической характеристике, для МК и БК выведено обобщенное уравнение:

$$\tau_{\text{опт}} = [ 0,8 (\underline{U}_H - 2,7)^2 + 1,58 ] \Omega^{-1} \cdot 10^5 \quad \text{мин. /II/}$$

Последнее удобно тем, что содержит основные кинематические характеристики куттеров, и, вероятно, может быть распространено на другие типо-размеры машин для тонкого измельчения. Отклонение экспериментальных данных от кривой по уравнению / II / не превышает  $\pm 3\%$ . Следует заметить, что ОВК при куттеровании говяжьего мяса высшего сорта, не содержащего практически соединительную ткань, уменьшается на 25-35%. Однако, поскольку фарш русских сосисок из такого мяса не изготавливают, специальных исследований не проводили.

Обобщенная кинематическая характеристика куттера учитывает режущую способность  $f_0$ , скорость вращения ножей по наибольшему радиусу  $W_H$  и скорость подачи фарша под режущий механизм по оси вращения ножей  $W_\varphi$ :

$$\Omega = f_0 \frac{\bar{W}_H^2}{\bar{W}_\varphi} = \frac{F_g \cdot \bar{L} \cdot n_H}{M} \cdot \frac{\bar{W}_H^2}{\bar{W}_\varphi} \approx \frac{0,92 \bar{L}}{60 \rho} \left( \frac{r_H \cdot n_H}{R} \right)^2 \frac{n_H}{n_K} \text{ м}^3/\text{кг сек. мин.}^{(12)}$$

Удельная режущая способность механизма /32/ определяется зависимостью:

$$f_{10} = \frac{F_g \cdot \bar{z} \cdot n_n}{M} \quad \text{м}^2/\text{кг мин}, \quad /13/$$

где  $\bar{z}$  - число ножей,

$n_k, n_n$  - соответственно число оборотов чаши куттера и ножей в мин,

$M$  - масса фарша в куттере,

$R$  - расстояние от оси вращения чаши до оси вращения ножей,

$z_n$  - радиус ножа до крайней точки,

$\rho$  - плотность фарша (можно принять 1000 кг/м<sup>3</sup>),

$F_g$  - площадь сечения ножом слоя фарша за один оборот.

Поскольку между периферийной кромкой ножа и чашей куттера всегда имеется зазор ( $h, \text{м}$ ), то действительная площадь будет меньше геометрической, определяемой по уравнению тела вращения, на величину площади зазора, т.е.

$$F_g = F_{geom} - F_{зазора} = \frac{M}{2\pi\rho R} - 1,93 \cdot z_n \cdot h \left( \frac{M}{\pi\rho R \cdot z_n^2} \right)^{0,41} \quad /14/.$$

При величине зазора между чашей и ножом 0,005 м  $F_g \approx 0,92 F_{geom}$ . Коэффициент (0,92) увеличивается при увеличении массы загрузки и уменьшается при увеличении зазора.

При куттеровании довольно существенно повышается температура фарша, т.к. большая часть энергии, подводимой к ножам, расходуется на преодоление сопротивления трения и перемешивание:

95 - 97% по Г.В. Бакунцу / 4, 5/.

Особенно велик темп нарастания температуры в первые минуты куттерования. При куттеровании по принятой методике, если бы загружалась вся смесь вместе, ее температура была от 5 до 7,5°C. К третьей, четвертой минуте она повышалась в 2-3 раза, причем более интенсивно в смеси с меньшим содержанием воды. В этот начальный период неустановившейся работы происходит наиболее интенсивное измельчение, перемешивание фарша с добавляемой водой и распределение его по чаше куттера. Измерение и запись самопишущим ваттметром развиваемой мощности показывает, что двигатель работает на предельной мощности. При загрузке фарша одновременно большими порциями, в момент их прохождения под ножами (2-4 сек) двигатель работает с перегрузкой до 25-40%. Максимальная температура 30°C была получена на МК за 22 мин.

В периферийном пристенном слое температура на 1-1,5°C ниже по сравнению с центральной частью потока. Все расчеты проводили по температуре центра. Для установившегося периода работы общее повышение температуры с момента загрузки говядины может быть удовлетворительно (с ошибкой до 15%) определено по зависимости:

$$\Delta t = \frac{10^6}{\bar{c} M} [5 - 2U_H (1 - \bar{K} \ln \bar{\tau}_K)] \quad /15/$$

где  $\bar{K}$  - коэффициент, зависящий от кинематических характеристик куттера, мощности, развиваемой режущим механизмом, и упруго-прочностных свойств сырья, для МК 0,217, для БК 0,347;

$\ln \bar{\tau}_K = 2,3 \lg \bar{\tau}_K$ ;  
 $\bar{c}$  - удельная теплоемкость фарша, дж/кг град.



Весьма заманчиво дать коэффициенту  $\bar{\kappa}$  не только качественное, но и объективное количественное обоснование с тем, чтобы зависимость /15/ можно было бы использовать для любой машины тонкого измельчения мяса. Г.В. Бакунц /4, 5/ предлагает в качестве характеристики доли измельчаемого мяса использовать показатель куттерования, тогда  $\bar{\kappa} = 10$ . Однако, числовое значение модуля упругости сжатия  $/10^9 \text{ н/м}^2/$ , принятое Бакунцем, никак не обосновано. По нашим экспериментам /14, 35/ найдены значения модулей: при сдвиге  $0,12 \cdot 10^5$ ; при осевом сжатии  $2 \cdot 10^5$ ; при объемном сжатии  $60 \cdot 10^5$ . М.Н. Клименко и А.И. Пелеева /20/ нашли значения модуля осевого сжатия  $0,1 \cdot 10^5$ . В пользу величины, принятой Бакунцем, можно сказать, что она соответствует высоким скоростям сжатия, больше  $10 \text{ м/сек}$ , когда мясо ведет себя как истинно-упругое тело.

Эффективная теплоемкость фарша сосисок русских /13/ составляет  $3,94 \cdot 10^3 \text{ дж/кг град}$ . Если воспользоваться правилом аддитивности /27/ для ее определения, то для всех образцов пределы изменения  $(3,92 \div 3,94) \cdot 10^3$ . При этом теплоемкость сухого мяса  $2,3 \cdot 10^3$ , жира-сырца  $4,19 \cdot 10^3$ .

В производственных условиях при куттеровании повышение температуры значительно ниже, так как в фарш добавляется лед с водой при  $0^\circ\text{C}$ . Тогда в расчетную формулу следует ввести поправку на скрытую теплоту плавления льда ( $q = 0,335 \cdot 10^6 \text{ дж/кг}$ ), т.е. из правой части /15/ вычесть  $\frac{q \cdot m_{\text{л}}}{c M}$ , где  $m_{\text{л}}$  — количество льда в кг, загружаемое в куттер.

По количеству подведенного тепла  $Q = \bar{c} M \Delta t$ , исходя из /15/, можно определить развиваемую режущим механизмом мощность:

$$N = \frac{Q}{60 \cdot \tau_{\text{к}}} \text{ Вт.} \quad /16/$$



Следует учесть при использовании /16/, что даже если в куттер добавляется лед, поправка в /15/ не вводится.

На рис. 8 представлены типичные кривые изменения мощности по длительности куттерования на МК. Показания ваттметра (кривая 4) для установившегося периода возрастают при 4-6 мин. К этому времени основная масса мяса измельчена. Затем начинается спад мощности; некоторая задержка и даже возрастание ее наблюдается при ОВК.

Кривая 3 построена по температуре фарша (уравнение 16). За начальную принята температура при 4 мин. куттерования, когда истинная мощность (по ваттметру) наибольшая. Можно считать, что кривая 3 монотонно убывает, подчиняясь экспоненциальному закону. Интересно отметить, что при перекуттеровании фарша кривые 3 и 4 сближаются. Мощность, вычисленная по температуре (теплу) от самого начала процесса (кривые 1 и 2), получается больше истинной по ваттметру. Этот, казалось бы, парадокс объясняется просто. В начальный период, как отмечено, куттер развивает максимальную мощность. Приобретаемый фаршем запас тепла суммируется и увеличивает кажущуюся мощность на протяжении всего дальнейшего процесса.

Таким образом найдена обобщенная зависимость для расчета оптимального времени куттерования на любой из исследованных машин. Полученны данные для определения роста температуры при куттеровании; они позволяют заранее установить температуру фарша при ОВК и, если она оказывается выше нормы, принять меры к ее уменьшению (добавлять вместо воды лед, переохлаждать

мясо и т.д.). На кривых мощности по ваттметру отмечен горизонтальный участок, соответствующий ОВК. Изменение температуры фарша связано с мощностью, развиваемой режущим механизмом.

#### ИЗМЕНЕНИЕ ОБЪЕМНЫХ СВОЙСТВ ФАРША ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ

От каждого образца фарша для исследования при давлении  $0,312 \cdot 10^5$  н/м<sup>2</sup> отбирали II, IV, VI пробы; IV пробу, кроме того, исследовали при давлении  $3,12 \cdot 10^5$  и  $10,6 \cdot 10^5$ . Последнее обусловлено тем, что время куттерования четвертой пробы близко к оптимальному. На рис. 9 представлены кинетические кривые деформации; соответствующие давления указаны буквами а, б, в.

Относительную объемную деформацию вычисляли по изменению объема, причем абсолютное уменьшение объема считали положительным

$$\varepsilon(\bar{p}, \tau) = \frac{V_H - V(\bar{p}, \tau)}{V_H} = \frac{h_H - h(\bar{p}, \tau)}{h_H}, \quad /17/$$

где  $\varepsilon(\bar{p}, \tau)$  - относительная деформация при давлении  $\bar{p}$  и времени его действия  $\tau$ ,

$V_H$  - начальный объем фарша в приборе после подпрессовки,

$V(\bar{p}, \tau)$  - объем фарша при давлении  $\bar{p}$  и времени его действия  $\tau$ ,

$h(\bar{p}, \tau)$  - высота при соответствующем объеме.

Под действием давления  $\varepsilon(\tau)$  увеличивается (см. рис. 9). Наибольшие изменения происходят в первые 20 сек, дальнейшее увеличение деформации (в течение 180 сек) составляет всего  $0,2 \div 0,8\%$ . Полученные кинетические уравнения /14, 26/, справедливые в области пластических деформаций ( $\bar{p} > 3,5 \cdot 10^5$ ), дают ошибку до  $\pm 15\%$ . В связи с этим кинетическое уравнение заменили более простым конечным:

$$\varepsilon(\bar{p}, 180) = 2 \cdot 10^{-2} (\bar{p} \cdot 10^{-5})^{0,63}, \quad /18/$$

которое охватывает всю область исследованных давлений, но экспериментальные точки отклоняются до  $\pm 20\%$ . Столь большая ошибка обусловлена различными влажностью, жирностью и степенью измельчения мяса и широким диапазоном изменения давления, характерным для зон мгновенной упругости, упругого последования и пластических деформаций. К сожалению, не удалось обнаружить зависимость между величиной деформации и временем куттерования. При измерениях на консистометре существенное влияние на результат оказывают даже незначительные изменения исходного объема, например, за счет наличия малейших воздушных пузырьков. Поэтому различия абсолютной деформации фарша по высоте в 0,02 мм, отмечаемые для проб, куттерованных разное время, соизмеримы с ошибкой эксперимента. Делать какие-либо выводы, основываясь на этом, не целесообразно. Решение вопроса будет достоверным только тогда, когда объем рабочей части прибора будет увеличен до  $0,04 \div 0,05$  кг вместо существующего 0,005 кг.

По кинетическим кривым и массе фарша в приборе оказалось

возможным определить его плотность ( $\rho$  кг/м<sup>3</sup>). Во всех экспериментах вычисленные величины в пределах  $\pm 3\%$  согласуются с полученной ранее формулой для фарша докторской колбасы /14/ в области давлений  $P \cdot 10^{-5} = 0,3 \div 15$  :

$$\rho = 1037 - (290S + 10,5 U) + 22 \lg P \quad /19/.$$

Ошибка /19/ уменьшится до  $\pm 1,5\%$ , если коэффициент перед логарифмом увеличить до 25 при  $P > 2 \cdot 10^5$  и уменьшить до 20 при  $P < 10^5$  н/м<sup>2</sup>. Плотность фарша является важным показателем для реологических и теплотехнических расчетов. Д.Ш. Стивенсон, /39/ предлагает устройство непрерывного контроля количества жира в фарше, основанное на изменении плотности.

Плотность готового продукта после варки и охлаждения на  $1 \div 1,5\%$  меньше плотности под этим же давлением сырого фарша перед варкой. При варке частично удаляется бульон и жир — масса фарша уменьшается, но одновременно уменьшается и объем на величину соответствующую объему выделенного бульона; с другой стороны объем также увеличивается за счет увеличения объема денатурированных белков мяса. Эти три разнородных процесса вызывают указанное изменение плотности.

На кинетических кривых (см. рис. 9) с момента начала варки, т.е. от 180 сек. и далее, деформации уменьшаются при любом давлении. При наименьшем давлении ( $0,312 \cdot 10^5$ ) они переходят в отрицательную область, т.е. объем фарша становится больше начального. Объяснить такое резкое увеличение объема тепловым расширением, конечно, нельзя. До сих пор объемную деформацию фарша при нагревании специально не обследовали. Д.Тильгнер /40/ замечает, что тепловая денатурация сопрово-

ждается ярко выраженными структурными изменениями мяса; саркоплазма изменяет объем и разрушается. А.А. Соколов /36/ отмечает объемное расширение фарша под действием нагрева, которое больше расширения оболочки; с другой стороны, целая мышца при температуре около 45°C сокращается. Очевидно, расширение фарша в основном происходит за счет изменения конфигурации фибриллярных и разворачивания цепей глобулярных белков при избыточном присутствии воды. Плавное уменьшение деформации (см. рис. 9) происходит из-за того, что температура фарша по слоям изменяется постепенно.

Уменьшение относительной деформации фарша при нагревании, вызванное увеличением объема, можно охарактеризовать удельной объемной работой деформации:

$$A_{уд} = \frac{A}{V_H} = \bar{P} [\varepsilon(180) - \varepsilon_{min}] = \bar{P} \Delta \varepsilon \quad \text{дж/м}^3 \quad /20/,$$

где  $\varepsilon(180)$ ,  $\varepsilon_{min}$  — относительные деформации перед нагреванием и при достижении максимального объема за время  $\tau$ ;

$\Delta \varepsilon$  — разность деформаций;

$A$  — работа деформации.

Аналитическая обработка экспериментальных данных позволила найти расчетную зависимость. При отклонении экспериментальных данных не более  $\pm 8\%$ :

$$A_{уд} = \bar{P} \cdot \Delta \varepsilon = \beta \cdot 10^3 (\bar{P} \cdot 10^{-5}) \quad \text{дж/м}^3 \quad /21/,$$

где  $\beta, \pi$  - эмпирические коэффициенты:

$\beta = 1,43 - 1,82(\underline{U}_H - 2,4)$ ,  $\pi = 0,713 - 0,182(\underline{U}_H - 2,4)$  при  $2 \leq \underline{U}_H \leq 2,4$ ;

$\beta = 1,43 - 0,55(\underline{U}_H - 2,4)$ ,  $\pi = 0,713 - 0,055(\underline{U}_H - 2,4)$  при  $2,4 \leq \underline{U}_H \leq 3$

Минимум удельной работы приходится на критическое ВС /2, 4/. По удельной объемной работе деформации можно вычислить изменение объема  $\Delta \varepsilon = \beta \cdot 10^3 - 5^n \bar{P}^{n-1}$ . Наблюдается тенденция повышения температуры точки  $\varepsilon_{min}(\varepsilon)$  при увеличении ВС: для  $\underline{U}_H = 2 \div 2,1$  температура в этой точке около  $55^\circ\text{C}$ ; для  $\underline{U}_H = 2,5 \div 2,6$  около  $60^\circ\text{C}$  и для  $\underline{U}_H = 3$  около  $65^\circ\text{C}$ . При измельчении мяса на МК температуры минимума деформаций снижаются примерно на  $10-20^\circ\text{C}$ , повидимому за счет худшего измельчения соединительной ткани.

Отмеченный эффект увеличения объема при нагреве фарша и количественные обоснования процесса имеют большое практическое значение для проектирования аппаратов, в которых фарш нагревается в замкнутых формах, для определения прочностных характеристик колбасной оболочки с учетом ее возможной растяжимости и т.д.

При дальнейшем нагревании фарша до готовности деформации увеличиваются, а объем уменьшается. Это в первую очередь связано с интенсивным отделением расплавленного жира и бульона за счет уменьшения гидратации белковых веществ. Процесс массоотдачи при варке в форме отличается от процесса при варке в оболочке наличием потерь жира. Влагодотдача в двух случаях - аналогична, но выделение жира накладывает свою специфику: на графиках  $m_{ж}(\underline{U}_H)$  экстремум отсутствует.



Количество отделенного бульона и жира ( $\Delta M$ ) к начальной массе фарша ( $M_H$ ) обозначено  $m_{жк}$ :

$$m_{жк} = \frac{\Delta M}{M_H} = 0,07 \underline{U}_H + 3,6 \cdot 10^{-3} (\bar{P} \cdot 10^{-5}),, \quad /22/$$

конечную массу фарша можно вычислить по:

$$M_K = M_H [\bar{I} - 0,07 \underline{U}_H - 3,6 \cdot 10^{-3} (\bar{P} \cdot 10^{-5})] \quad /23/$$

Зависимость 22 и 23 справедливы при  $2 < U_H \leq 2,8$  при ОВК на МК и БК для исследованного диапазона давлений. В качестве примера ниже приведены экспериментальные данные, полученные при

$$\bar{P} = 0,312 \cdot 10^5:$$

$\underline{U}_H$	2,06			2,55		
$\tau_K$ , мин	5	7	12	5	7	12
$m_{жк}$	0,20	0,142	0,162	0,222	0,180	0,207

Как видно, минимум  $m_{жк}$  приходится на область ОВК.

Термограммы варки фарша позволили вычислить коэффициент температуропроводности  $\alpha$  м<sup>2</sup>/сек, который для интервала температур 50-71°C лежит в пределах от  $6 \cdot 10^{-8}$  до  $15 \cdot 10^{-8}$ . С увеличением ВС  $\alpha$  увеличивается, что согласуется с результатами П.Мазура и Л.Вожики /29/. По В.Н. Масюкову, В.М. Горбатову и П.С.Гноевому /13/ для фарша русских сосисок  $\alpha = 12,2 \cdot 10^{-8}$ . Г.К.Бабанов /1,2/ для фарша докторской колбасы нашел довольно близкие значения (около  $14 \cdot 10^{-8}$ ). Это показывает, что полученные нами на консистометре Гепплера результаты находятся в соответствии с данными других авторов. Специфичность поставленных экспериментов не позволила получить однозначных величин коэффициента температуропроводности по следующим причинам. Использован-

ный в нашей работе акалориметр - цилиндр консистометра Геплера, слишком мал по объему; время нагрева фарша в нем 1-2 мин., оно недостаточно для регулирования теплового режима /22/.

Поставленные эксперименты дают возможность сделать некоторые качественные выводы. Коэффициент температуропроводности характеризует молекулярный перенос внутренней, тепловой энергии тела, как отмечает академик А.В.Лыков /28/. В точке перегиба функции: относительная избыточная температура - время, которая с удивительным постоянством находится в области  $48 \div 53^{\circ}$ ,  $\alpha$  снижается в 1,5  $\div$  2,5 раза. При указанной температуре по А.А.Соколову /36/, Д.Тильгнеру /40/, А.С.Большакову и др. /8,9/ начинается интенсивная денатурация белков и мышечных волокон. При ней изменяются тепло - и электрофизические свойства фарша. Следовательно, денатурация белков, достигающая наибольшей интенсивности при  $50^{\circ}\text{C}$ , является глубоким физическим процессом, меняющим структуру фарша и все его свойства. Примерно в этой же области температур начинается интенсивное отделение жидкости в силу названных причин (дегидратация белков и проч.), что вызывает молярный перенос тепла, т.е. начинают взаимодействовать два противоположных процесса. Процесс нагрева связан с энергоподводом к фаршу, процесс отделения жидкости - с отводом энергии от фарша. Только уменьшением доли молекулярного переноса энергии можно объяснить снижение величины  $\alpha$ . В отмеченных работах /1,2,13/ в области  $50-70^{\circ}\text{C}$   $\alpha$  увеличивается по сравнению с более низкой температурой, поскольку на фарш не действовало избыточное

давление и интенсивный массообмен с окружающей средой отсутствовал.

Следует отметить, что при  $0,312 \cdot 10^5$  н/м<sup>2</sup> характер изменения удельной работы, деформации за 180 сек и коэффициента температуропроводности от времени куттерования подобен. Такое подобие объясняется внутренним строением продукта. Поэтому вывод Р.С.Лернера и Э.Г. Кистера /27/ о независимости теплофизических характеристик от структурообразования, сделанный при изучении суспензий глин, неприменим для фарша.

Таким образом, в результате проведенных экспериментов установлено изменение объема фарша под давлением и найдена его плотность при изменении жирности, ВС и давления. Установлен эффект увеличения объема фарша при термообработке, найдена работа расширения. Определены потери бульона и расплавленного жира, которые интенсивно растут при температуре выше денатурации белков. Для описания процессов найдены аналитические зависимости. Показано, что величины коэффициента температуропроводности представляют собой некие суммарные, эффективные характеристики, учитывающие кроме молекулярной температуропроводности молярную, связанную с внешним массообменом. Исследования позволяют обоснованно подойти к расчету процесса варки фарша в форме при избыточном давлении, оценить прочностные характеристики оболочек для колбасных изделий, найти изменения плотности фарша и т.д.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

### Выход готовой продукции

Варка проб фарша любого одинакового исходного состава, но куттерованного различное время, дает максимальные потери жидкости при времени куттерования 5-7 мин для МК и 3,5 - 5 мин для БК. Далее с увеличением времени куттерования потери снижаются, достигая минимума при ОВК, затем вновь увеличиваются.

ВС готового изделия ( $\underline{U}_K$ ) зависит от начального ( $\underline{U}_H$ ): фарша. На рис. 10 кривые 1 и 1<sup>I</sup> представляют собой функции  $\underline{U}_K(\underline{U}_H)$ . Разность ВС  $\Delta \underline{U} = \underline{U}_H - \underline{U}_K$  (кривая 2 и 2<sup>I</sup>) имеет минимальное значение, приходящееся на  $\underline{U}_H = 2,4$ . Индекс штрих у кривых 1 и 2 характеризует изменения ВС при ОВК. На рисунке кривая 2 получена как разность между 3 и 1, где линия 3 представляет собой  $\underline{U}_K = \underline{U}_H$ . Вероятно, при критическом ВС  $\underline{U}_H = 2,4$  влага наиболее прочно связана с частицами и молекулами тканей мяса. При отклонении ВС от критического значения эта связь становится менее прочной и отделение влаги увеличивается. Способствуют влагоотдаче неоднородные поля напряжений и деформаций в продукте при варке его в оболочке.

Кривые рис. 10 описываются эмпирическими зависимостями, применимыми при :

$$\begin{aligned} \underline{U}_H &= 2,0 \div 2,8 \\ \Delta \underline{U} &= (-2,4)^2 + \Delta \underline{U}_0 && /24/ \\ \underline{U}_K &= \underline{U}_K^* - (2,9 - \underline{U}_H)^2, && /25/ \end{aligned}$$

где  $\underline{U}_0$  разность при критическом ВС : при ОВК  $\rightarrow 0,2$ ,  
по усредненным данным по всем  $\zeta_K \rightarrow 0,23$ ;

$\underline{U}_k^*$  - наибольшее влагосодержание готового продукта, при котором справедливы уравнения /24 и 25/: 2,45 при ОВК и 2,42 по усредненным величинам.

С перепадом ВС в сыром фарше и готовом продукте непосредственно связано количество отделяемого при варке бульона из готового изделия ( $M_{пл}$ ). Потери бульона ( $M_{жк}$ ) представлены в кг на кг сырого фарша набитого в оболочку ( $M_{сф}$ ):

$$M_{жк} = \frac{M_{сф} - M_{пл}}{M_{сф}} = \frac{\Delta M_{жк}}{M_{сф}} = \frac{\Delta U}{1 + \underline{U}_H} \quad |26|$$

Наибольший интерес представляет расчет выхода готовой продукции  $M_{вых}$  в кг на 1 кг исходного соленого мяса  $M_M$ . Здесь следует иметь в виду, что зависимость  $M_{вых}(\underline{U}_H)$  (кривая 4) можно получить только в том случае, если ВС мяса ( $\underline{U}_M$ ) постоянно. Так в опытах с МК это постоянство сохранялось; в опытах с БК - не сохранялось, поэтому для последних закономерность в функции  $M_{вых}(\underline{U}_H)$  отсутствует. Расчет выхода можно провести по трем идентичным зависимостям, полученным из материальных балансов:

$$M_{вых} = \frac{M_{пл}}{M_M} = \frac{M_{пл}}{M_{сф}} (1 + M_B) = \frac{1 + \underline{U}_k}{1 + \underline{U}_M} \quad |27|$$

где  $M_B$  - масса добавленной воды на 1 кг мяса (табл. I).

Таким образом, исследованы выходы готовой продукции, потери бульона и изменение ВС при варке колбасных изделий. Найдено оптимальное ВС (около 2,4), при котором отделяется наименьшее количество бульона. Установлено, что длительность куттерования фарша влияет на выход готовой продукции; наибольший выход при данном ВС соответствует ОВК.

### Структурно-механические характеристики

Подобно изменению ПНС сырого фарша по длительности куттерования, предельное напряжение среза ( $\text{ПНСр} - \bar{\sigma}$ ) готового продукта возрастает, достигает максимума и уменьшается. Максимум ПНСр приходится на ту же самую длительность куттерования, при которой сдвиговые свойства наибольшие, т.е. ОВК по сдвиговым свойствам сырого фарша и готовой продукции одинаково (см. формулу 5). При этом, хотя структура при нагреве из коагуляционной переходит в конденсационно-кристаллизационную, прочность последней обусловлена прочностью первой и способностью денатурированных белков удерживать воду. Чем больше в продукте слабосвязанной и механически захваченной (капли) жидкости, тем прочность меньше и структура становится все более рыхлой. Изменение относительной сдвиговой прочности по времени куттерования описывается формулой:

$$\frac{\bar{\sigma}}{\bar{\sigma}_{\max}} = 1 - 0,4 \left| \frac{\underline{z}_k}{\underline{z}_{\text{opt}}} - 1 \right| \quad /28/$$

где член в прямых скобках берется по абсолютной величине.

При увеличении ВС ПНСр ( $\bar{\sigma}_{\max}$ ), найденные при ОВК, уменьшаются (рис. II). Точка перегиба, лежащая в области  $\underline{z}_k = 2,2 + 2,3$  или по сырому фаршу  $\underline{z}_H \approx 2,4$ , практически совпадает с найденным значением критического ВС по опытам, связанным с определением выходов готового продукта. Следует отметить, что сдвиговые свойства сырого фарша изменяются монотонно. Изменение ПНСр по ВС описывается зависимостями

$$\bar{\sigma}_{\max} = 10^4 (4,3 - i \underline{z}_k) \quad \text{при } 1,8 \leq \underline{z}_k \leq \underline{z}_k^*$$

$$\bar{\sigma}_{\max} = 5,6 \cdot 10^6 \exp(-2,3 \underline{z}_k) \quad \text{при } \underline{z}_k^* \leq \underline{z}_k \leq 2,5 \quad /29/$$



где  $i$  - эмпирический коэффициент, характеризующий качество переработки фарша,

$\underline{u}_k^*$  - критическое ВС готового продукта, при превышении которого связь влаги с материалом ухудшается, структура становится более рыхлой; происходит ее качественное изменение:

$$\text{для МК} \quad i = 0,45; \quad \underline{u}_k^* = 2,23;$$

$$\text{для БК} \quad i = 0,72; \quad \underline{u}_k^* = 2,32.$$

На диаграммах иногда появляются "всплески", обусловленные более прочными, по сравнению с самим фаршем, включениями в него (соединительная ткань, хрящики). В конце среза фибриллы соединительной ткани собираются в пучок, при его перерезывании сила резко возрастает; толщина пучка обычно не превышает 10% диаметра образца. Чаще по количеству и больше по величине такие всплески появляются в изделиях из фарша, полученного на МК. Это показывает, что он хуже измельчает соединительную ткань и хрящики. Неравномерность распределения более прочных частиц по объему, их различная ориентация обуславливает ошибки измерений: по максимуму напряжений - до  $\pm 8\%$ , по работе сжатия - до  $\pm 10\%$ , по работе среза - до  $\pm 12\%$ .

Удельная работа смятия ( $A_{см}$ ) по длительности куттерования имеет экстремальные значения, приходящиеся на найденные ОВК. Причем при  $u_n < 2,4$  наблюдается максимум, при  $u_n > 2,4$  - минимум  $A_{см}$ . На графиках (рис. 12) видно, что при раеработке фарша на МК и БК экстремальная величина работы смятия имеет одинаковое значение. Действительно, при смятии (сжатии) однородность измельчения всех компонентов мяса не имеет решающего

значения. Зависимость  $A_{см}(\underline{U})$ , подобно другим, имеет точку перегиба при  $\underline{U}_k^* \approx 2,22$  ( $\underline{U}_H \approx 2,4$ ). Если при низком ВС разбиваются упругие, эластические и небольшие пластические деформации при небольшом отделении жидкости и сжатии пор, то с увеличением ВС начинается более интенсивное отделение жидкости; затрачиваемая энергия уменьшается быстрее, чем в первой фазе. При этом следует учитывать, что хотя усилия сжатия при увеличении ВС уменьшаются (рис. II), деформации увеличиваются. Изменение экстремальной величины работы смятия при ОВК выражаются зависимостями:

$$\begin{aligned} A_{см} &= 620 - 174 \underline{U}_k && \text{при } 1,7 < \underline{U}_k \leq 2,22; \\ A_{см} &= 1085 - 385 \underline{U}_k && \text{при } 2,22 \leq \underline{U}_k \leq 2,5. \end{aligned} \quad /30/$$

Удельная работа среза (по длительности куттерования) при ОВК имеет минимальное значение. Для МК она значительно больше, чем для БК, особенно при  $\underline{U}_k < 2,2$ . Как было отмечено выше, это объясняется худшим измельчением соединительной ткани, филок и проч. на малом куттере. Это же обуславливает больший разброс точек для МК. В области  $\underline{U}_k > 2,3+2,4$  работа среза для МК и БК совпадает. При увеличении ВС  $A_{ср. min}$  увеличивается, достигает наибольшего значения при  $\underline{U}_k \approx 2,22$  ( $\underline{U}_H = 2,4+2,45$ ) и уменьшается. При  $\underline{U}_H = 2,4$  влага наиболее прочно связана с продуктом, хотя прочность структуры не является наибольшей. Было показано, что при  $\underline{U}_H \neq 2,4$  происходит большее отделение жидкости, чем при  $\underline{U}_H = 2,4$ . Поэтому показанный на рис. I2 ход кривой  $A_{ср. min}(\underline{U})$  можно объяснить следующим. В период смятия - сжатия - уплотняются поры и отделяется свободная влага; действительная толщина и площадь образца к моменту начала среза тем меньше, чем больше от-

делилось жидкости и более уплотнены поры. Работа среза, однако, рассчитывается по первоначальной площади. Теперь предположим, что при критическом  $BC / 2,4/$  толщина образца к началу среза  $0,99 d/d$  - диаметр образца/; при меньшем  $BC - 0,85 d$ . Считая, что сила среза в области  $\underline{U}_H < 2,4$  мало изменяется, получаем в первом случае работу пропорциональную  $0,99$ , во втором -  $0,85$ . При  $\underline{U}_H > 2,4$  сила среза уменьшается, следовательно работа среза будет уменьшаться еще более интенсивно.

Характерным для всех зависимостей по начальному и конечному  $BC$  является наибольшее сближение их при  $\underline{U}_H \approx 2,4$  и  $\underline{U}_K \approx 2,2$ ; при меньших и больших значениях  $BC$  они расходятся.

Экстремальные величины общей работы ( $A_{\text{общ}} = A_{\text{см}} + A_{\text{ср}}$ ) изменяются по  $BC$  подобно напряжению среза (рис. II):

$$A_{\text{общ}} = 650 - i_1 \underline{U}_K \quad \text{при } 1,8 \leq \underline{U}_K \leq \underline{U}_K^* ; \quad /31/$$

$$A_{\text{общ}} = 7 \cdot 10^4 \exp(-2,3 \underline{U}_K) \quad \text{при } \underline{U}_K^* \leq \underline{U}_K \leq 2,5,$$

где для МК  $i_1 = 95; \quad \underline{U}_K^* = 2,21;$   
 для БК  $i_1 = 123; \quad \underline{U}_K^* = 2,27.$

Таким образом,  $\Pi_{\text{ср}}$  характеризует прочность структуры, которая зависит от измельчения мышечной, соединительной и жировой тканей, а также  $BC$  готового продукта. Этот параметр легко определяется по диаграммам и может служить объективной характеристикой качества продукта в производственных условиях. Работа смятия характеризует деформируемость и упругость продукта, а также интенсивность отделения влаги при сжатии, особенно при  $BC$  больше критического. Работа среза характеризует наличие слабосвязанной жидкости в готовом изделии и качество измельчения мяса и соединительной ткани. Общая работа изменяется подобно напряжению среза и подобно ему характеризует качество продук-

та по механическим свойствам.

Работу довольно сложно определить по диаграммам, получаемым на приборе, поэтому все три вида работы целесообразно рассчитывать при испытании машин различной конструкции с целью их объективной и всесторонней характеристики.

Для получения готового продукта наилучшего качества следует изготавливать фарш с ВС 2,4 или немного больше и куттеровать его оптимальное время. Для получения готового продукта с меньшими максимальными напряжениями среза нельзя идти по пути отклонения длительности куттерования от оптимальной и увеличения ВС; следует пользоваться поверхностно-активными и другими добавками, изменяющими прочность структуры.

Проведенные комплексные исследования вскрывают сущность изменения главнейших механических характеристик сырого фарша и готовых изделий и дают возможность получить продукт с заранее заданными свойствами. Изложенная методика позволяет научно-обоснованно подойти к оценке машин для тонкого измельчения мяса и выбрать те из них, которые дают продукт наиболее высокого качества.

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

В в е д е н и е . . . . .

Изучаемые характеристики, методы исследования, приборы

реологические свойства . . . . .

липкость мясного фарша . . . . .

кинематические и энергетические  
характеристики куттера . . . . .

объемные свойства . . . . .

удельная электропроводность фарша . . . . .

объективная качественная характеристика  
готовых колбасных изделий . . . . .

выход готового продукта . . . . .

Выбор и способ получения объектов исследования . . . . .

Зависимость изменения физических свойств фарша от  
длительности куттерования и влагосодержания . . . . .

Сдвиговые свойства . . . . .

Липкость . . . . .

Удельная электропроводность . . . . .

Некоторые энергетические характеристики  
куттерования . . . . .

Изменение объемных свойств фарша при термообработке . . . . .

Характеристики готовых изделий . . . . .

Выход готовой продукции . . . . .

Структурно-механические характеристики . . . . .

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Б а б а н о в Г.К. Исследование теплофизических параметров и технологических режимов обработки колбас в термоагрегате. II Международный конгресс по вопросам науки и технологии пищевой промышленности. Доклады, М., 1966, 21.
2. Б а б а н о в Г.К. и др. Определение теплофизических коэффициентов мясного фарша. "Мясн. индустр. СССР", 4, 1965, 45.
3. Б а к у н ц Г.В. Приборы для объективного определения нежности мяса. ЦИНТИПищепром, М., 1967.
4. Б а к у н ц Г.В. К теории обработки фарша в куттере и мешалке. "Мясн. индустр. СССР", 9, 1967, 10.
5. Б а к у н ц Г.В. Прибор для измерения физико-механических свойств фарша при куттеровании. "Мясн.индустр. СССР", 7, 1968, 6.
6. Б е м Р., П л е в а В. Микроскопия мяса и сырья животного происхождения. Изд-во "Пищевая промышленность", М., 1964.
7. Б е л к и н И.М., В и н о г р а д о в Г.В., Б е о н о в А.И. Ротационные приборы. Изд-во "Машиностроение", М., 1968.
8. Б о л ь ш а к о в А.С., Х л е б н и к о в В.И., М и т р о ф а н о в Н.С. Изменение белков мышечной и соединительной тканей соленой свинины при варке. "Мясн. индустр. СССР", 6, 34, 1968.
9. Б о л ь ш а к о в А.С., Х л е б н и к о в В.И., М и т р о ф а н о в Н.С. Влияние режима нагревания в паровой среде на качество соленой свинины. ЦНИИТЭИмясомолпрома СССР мясн.пром., 3, 16, 1968.
10. В о л а р о в и ч М.П., Б а г р о в А.А. Влияние дисперсности на зависимость реологических параметров системы глина-вода от концентрации дисперсной фазы. Сб. "Физико-химическая механика дисперсных структур", изд-во "Наука", М., 1966, 383.



11. Г о л ь д м а н Е.И., Х о л о д к о в а О.П., Б о л ь ш а -  
к о в А.С., Ш о м и н А.К. Прибор для объективной оценки  
консистенции колбасных изделий. "Мясн.индустр. СССР", 1,  
29, 1969.
12. Г о л о в к и н Н.А., Ц в е т к о в А.И. Определение элек-  
трических характеристик ткани для биологической оценки ка-  
чественного состояния продукта. Тезисы Конф. Новые физические  
методы обработки пищевых продуктов. МТИММП, М., 1967, 180.
13. Г о р б а т о в В.М., Г н о е в о й П.С., М а с ю к о в В.Н.  
Экспериментальное определение теплоемкости, температуропро-  
водности и теплопроводности мясного фарша. "Тр. ВНИИМПа,  
вып. 20", М., 1967, 39.
14. Г о р б а т о в А.В. Реология в мясной промышленности.  
ЦНИИТЭИмясомолпрома СССР, М., 1968.
15. Г о р б а т о в А.В., К о с о й В.Д. Влияние давления,  
влажности и температуры на структурно-механические свойства  
фарша. Изв.вузов "Пищевая технология", 1969 (в печати).
16. Г о р б а т о в А.В., С п и р и н Е.Т. Прибор для иссле-  
дования структурно-механических свойств мяса. Авторское  
свидетельство № 212773. Кл. 666 I4/OI, МПК A22с. Заявлено  
28.12.1966, опубликовано 29.2.1968. Бюллетень № 9, 1968.
17. G r a u R. Fleisch und Fleischwaren. Verlag P.Parey in  
Berlin und Hamburg. 1969.
18. Г у р а р и Н.Г. Сосисочный завод-автомат. "Мясн.индустр. СССР"  
2, 18, 1968.
19. Г у р в и ц В., К а у х ч е ш в и л и Э., П р и ш е д ь -  
к о Н. Измельчение мяса при низких температурах. "Мясн.  
индустр. СССР", 3, 9, 1968.

20. К л и м е н к о М.Н., П е л е е в А.И. Исследование структурно-механических свойств мяса. Изв.вузов, "Пищевая технология", 2, 1966, 82.
21. К р и с т и а н С э ф ф л. 26-я ежегодная конференция Института технологов пищевой пром-сти (США). "Мясн.индустр.СССР", 6, 44, 1968.
22. К о н д р а т ь е в Г.М. Тепловые измерения. Машгиз, М-Л., 1957.
23. Л а в р о в а Л.П., К р а в ч е н к о Н.Д., Л е в и н а Л.И. Современное колбасное оборудование. ЦИНТИПищепром, М., 1960.
24. Л а в р о в а Л.П., В о л о в и н с к а я В.П. О процессе куттерования мяса. "Мясн.индустр. СССР", I, II, 1958.
25. Л а п ш и н А.А., Б а л ь б а ш В.А., Н а з и м о в Н.П. Измерение влажности пищевых продуктов емкостным методом. Тезисы конф. Новые физические методы обработки пищевых продуктов, МТИММП, М., 1967, 136.
26. Л и м о н о в Г.Е. Исследование объемного сжатия мяса и мясоспродуктов и истечения их через отверстия и насадки. (Дисс. канд.техн.наук), МТИММП, М., 1967.
27. Л е р н е р Р.С., К и с т е р Э.Г. Теплофизические свойства водных суспензий глин. Коллоидный журнал, 29, №6, 1967, 822.
28. Л ы к о в А.В. Теория теплопроводности. Изд-во "Высшая школа", М., 1967.
29. М а з у р П., В о ж и к Л. Зависимость теплофизических свойств говяжьего мяса при посоле от его сорта и влажности. "Мясн.индустр.СССР", II, 33, 1968.
30. М а с л о в а Г.В., Н о з д р у н к о в а И.Р. К вопросу об оценке качественного состояния рыбы методом измерения ее

- электрических параметров. Тезисы конф. Новые физические методы обработки пищевых продуктов. МТИММП, М., 1967, 191.
31. Н и к о л а е в Б.А. Измерение структурно-механических свойств пищевых продуктов. Изд-во "Экономика", 1964.
32. П е л е е в А.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. Пищепромиздат, М., 1963.
33. П и р с о н А. Новое в исследовании мяса и мясопродуктов. "Мясн.индустр. СССР", 6, 44, 1967.
34. Р е б и н д е р П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур. Сб. "Физико-химическая механика дисперсных структур", Изд-во "Наука", М., 1966, 3.
35. Р о г о в И.А., Г о р б а т о в А.В. Новые физические методы обработки мясопродуктов. Изд-во "Пищевая промышленность", М., 1966.
36. С о к о л о в А.А. Физико-химические и биохимические основы технологии мясопродуктов. Изд-во "Пищевая промышленность", М., 1965.
37. С о к о л о в А.А. и др. Технология мяса и мясопродуктов. Пищепромиздат, М., 1960.
38. С о к о л о в А.А., С а б и р о в А.Б. Структурно-механические свойства колбасного фарша. Сб. "Новые исследования в мясной промышленности", ЦИНТИПищепром, М., 1967, 34.
39. S t e v e n s o n I.S. Mixture density control apparatus. USA. Patent. Cl. 73-433, №3.330.160. Appl. 30.10.1964. Publ.11.07.1967.
40. T i l g n e r D.I. Fleischwirtschaft, 16, №11, 1115, 1964.
41. T h i e b e n F. Der Einfluß der Konsistent von Wurstbräuten auf die Einwaagegenauigkeit bei der automatisierten Herstellung von Brüh- und Kochwurst- konservен. Die Fleischwirt-

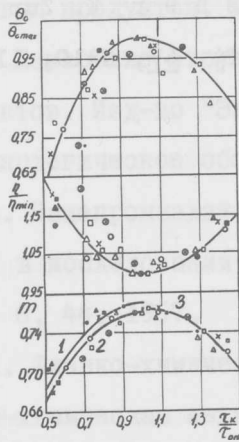
schaft, 49, №1, 39, 1969.

42. H a m m R., R i e s n e r K. Zur Rheologie des Fleisches. Die Fleischwirtschaft, 47, №10, 1122, 1967; 48, №2, 192, 1968.

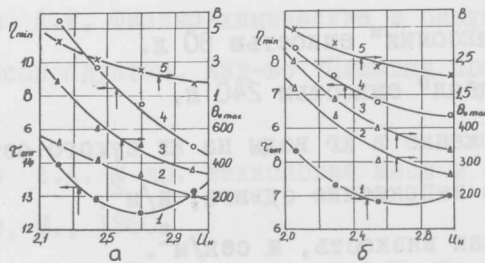
#### СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

- МК - куттер "Саксония" емкостью 80 л.  
БК - куттер "Идеал" емкостью 240 л.  
ВС - влагосодержание в кг воды на кг сухого остатка.  
ПНС - предельное напряжение сдвига, н/м<sup>2</sup>.  
ПВ - пластическая вязкость, н сек/м<sup>2</sup>.  
ЭВ - эффективная вязкость, н сек/м<sup>2</sup>.  
ПНСр - предельное напряжение среза, н/м<sup>2</sup>.  
ОВК - оптимальное время куттерования, мин.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

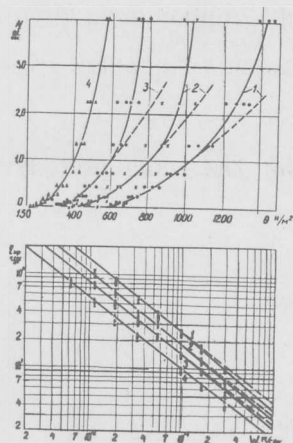


**Рис. 1.** Зависимость относительного изменения свойства от относительного времени куттерования.



**Рис. 2 а,б.** Зависимость экстремальных параметров процесса куттерования от ВС:

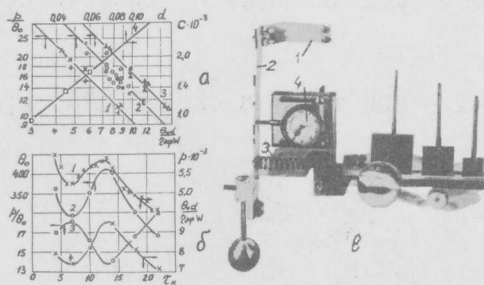
а - для МК; б - для БК. 1 - ОВК; 2- динамическое ПНС, полученное по разрушенной структуре на РВ-8; 3- ПНС, полученное на КП-3 и по неразрушенной структуре на РВ-8; 4 - ПВ; 5 - коэффициент ЭВ при единичной скорости.



**Рис. 3.**

Реограммы фарша /а/ по разрушенной структуре и зависимости ЭВ от окружной скорости вращения ротора /б/ для Реотеста.

Примечание: цифра у кривой показывает номер образца (см. табл. I) при длительности куттерования на МК I4 мин. Пунктирная линия - результаты измерений на РВ-8.



**Рис. 4 а, б, в.**

а) Критериальная зависимость динамики обтекания фаршем лопасти (пластина, шар) с характерным размером:

1 - 0,0292;

2 - 0,045;

3 - 0,060 м;

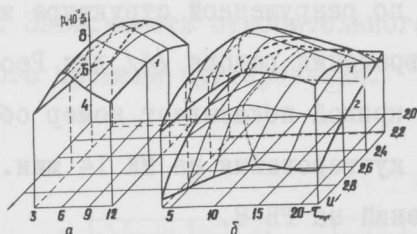
4 - зависимость коэффициента к уравнению от размера лопасти;



б) зависимость давления сопротивления при движении лопасти в фарше /1/, ПНС /2/ и критериев подобия /3,4/ от длительности куттерования;

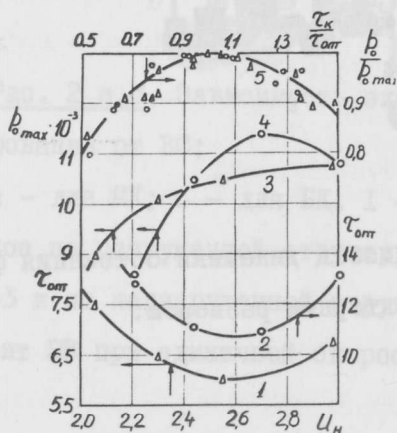
в) прибор для измерения давления сопротивления при обтекании лопасти фаршем:

- 1 - Г-образная станина;
- 2 - упругая балка;
- 3 - демпфирующая пружина;
- 4 - индикатор часового типа.



**Рис. 5 а,б.** Зависимость липкости от времени куттерования и ВС фарша:

а - БК; б - МК; 1 - при толщине слоя 0,0003 м; 2 - при 0,001 м.



**Рис. 6.** Влияние ВС на ОВК:

1 - БК; 2 - МК; на максимальное значение липкости при ОВК;  
 3 - БК; 4 - МК; 5 - зависимость относительной липкости от относительного времени куттерования.

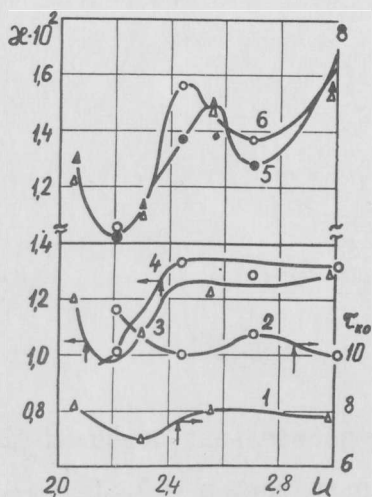


Рис. 7. Зависимость электропроводности /3-6/ и времени куттерования, при котором она достигает экстремума /1,2/ от ВС.

- БК; - МК; 3,4 - изменение экстремальных значений электропроводности; 5,6 - изменение электропроводностей, найденных по ОВК для липкости /5/ и ПНС /6/.

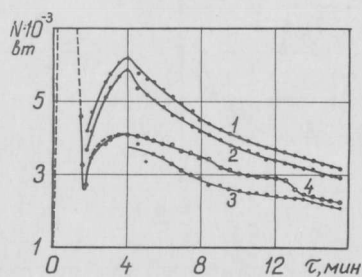


Рис. 8. Зависимость мощности, развиваемой при куттеровании фарша, от длительности процесса:

1 - расчетная по температуре в центре; 2 - то же периферии;  
 3 - то же по первой, если за начальную взята температура при  
 4 мин. куттерования; 4 - записанная ваттметром.

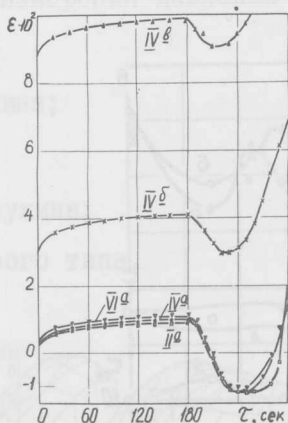


Рис. 9. Кинетика относительных объемных деформаций проб фарша (II, IV, VI) под давлением: а - 0,312, б - 3,12, в - 10, 6 · 10<sup>5</sup>, при температуре 20<sup>0</sup>С (до 180 сек.) и нагревании (ВС фарша 2,55).

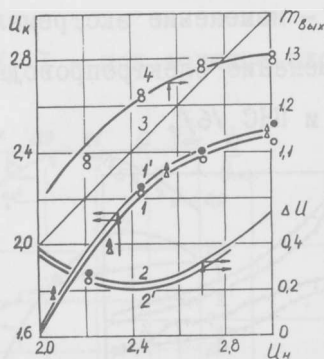


Рис. 10. Зависимость характеристик готовых изделий от начального ВС фарша:

I - конечное ВС по осредненным данным по всем временам

куттерования; 2 - разность ВС по осредненным данным, I I и 2 I то же при ОВК; 3 - линия равного начального и конечного ВС; 4 - выход готовой продукции при постоянном исходном ВС мяса (I,665).

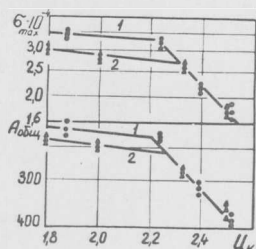


Рис. 11. Зависимость ПНСр и полной работы среза при ОВК от ВС готового продукта:

I - для колбасы, полученной при куттеровании фарша на МК, 2 - то же на БК.

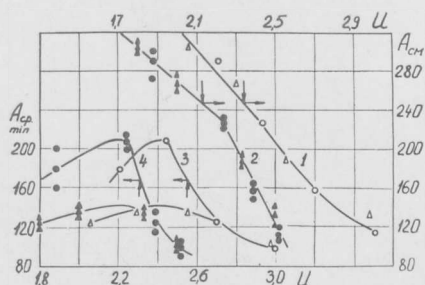


Рис. 12. Зависимость удельных работ смятия (1,2) и среза (3,4) готового изделия от ВС сырого фарша (1,3) и сваренной колбасы (2,4).

Summaries

Zusammenfassungen

Выводы