

## ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРЕНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕЛЬНОМЫШЕЧНОЙ ТКАНИ ГОВЯДИНЫ МЕТОДОМ ПЕНЕТРАЦИИ

<sup>1</sup>Савинок О.Н., канд. техн. наук, доцент, <sup>2</sup>Косой В.Д., д-р техн. наук, профессор,

<sup>3</sup>Гарбуз В.Г., канд. техн. наук, доцент

<sup>1</sup>Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

<sup>2</sup>Московский государственный университет пищевых производств, г. Москва, Россия

<sup>3</sup>ЧП Фирма «Гармаш», г.Одесса, Украина

*На базе экспериментальных данных получены и обоснованы рациональные параметры измерения реологических характеристик мышечной ткани говядины методом пенетрации. Обоснована заданная величина усилия сопротивления продукта, равная 0,5 кг, обеспечивающая использование конусов с углом при вершине от 10° до 30°.*

*Rational and justified parameters of measurement of the rheological characteristics of the beef muscle tissue using the method of penetration were obtained on the basis of experimental data. The value of the force of the resistance of the product is equal to 0,5 kg providing the use of a cone with an angle at the vertex from 10° to 30° is justified.*

Ключевые слова: динамический пенетрометр, реологические характеристики, автолиз, мышечная ткань говядины.

**Поставка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими заданиями.** В настоящее время существенно изменились условия выращивания крупного рогатого скота мясных пород, предназначенных для промышленной переработки на мясопродукты. Ранее, предпочтительно, использовался пастбищный способ откорма. На сегодняшний день используется стойловое содержание животных, при этом кормление проводится по заданной комплексной программе, обеспечивающей максимальный привес живой массы.

Естественно, особенности современной зоотехнологии не могли не сказаться на химических показателях мяса и повлиять на биохимические процессы, происходящие в сырье в послеубойный период. Поэтому возникла необходимость в проведении комплексных исследований процесса автолиза, позволяющих определить рациональную продолжительность выдержки мяса на этапе холодильного хранения.

Качественные характеристики мяса, как сырья, в соответствии с нормативной документацией включают изучение органолептических и микробиологических показателей. В последнее десятилетие проводят определение водородного показателя. Однако, ни органолептические, ни микробиологические показатели не могут дать объективной оценки тех технологических свойств, на которых базируется качество готовых мясных продуктов. Водородный показатель не всегда отражает реальное состояние мяса, как биохимической системы.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Многие факторы по-разному влияют на технологические свойства. К таким свойствам относятся реологические характеристики цельнокускового мяса, как исходного сырья, которые определяют нежность и сочность готового продукта. Наиболее изученным и информативным показателем для мяса, как упруго-эластичного тела, является предельное напряжение сдвига (ПНС) определяемое методом пенетрации.

В основе метода пенетрации лежит измерение глубины погружения индентора ( $h$ , мм), выраженное величиной пенетрации ( $h_n$ ), при заданных условиях измерения (вид индентора; масса или усилие внедрения; продолжительность внедрения), которая напрямую зависит от консистенции продукта. Измерение численных значений величины пенетрации возможно за счет силы тяжести при использовании статического пенетromетра, или за счет принудительного внедрения индентора при использовании динамического пенетromетра. Единицей измерения пенетрации является условная линейная величина, равная 0,1 мм [1].

Пенетromетры позволяют определять комплекс реологических характеристик, как в относительных, так и абсолютных величинах, исходя из исходной измеряемой величины пенетрации. При использовании статического пенетromетра величина пенетрации при заданном инденторе (определяется за определенное заданное время погружения, обычно 5 с), или максимальной величины пенетрации, соответствующей достижению равновесному состоянию между силами тяжести и сопротивления продукта. При используемом динамическом пенетromетре задается сила сопротивления продукта, при достижении которой фиксируется величина пенетрации.

Статические пенетрометры нашли применение в научно-исследовательских лабораториях, динамические – распространены на производстве из-за своей компактности, малого веса и технической безопасности. Учитывая то, что объектом исследования была длиннейшая мышца спины говяжьих полутуш, рационально было использовать именно динамический пенетрометр.

**Формулирование целей статьи (постановка задач).** Исследования, проведенные учеными МГУПП [2] обосновывают использование в качестве рабочего органа пенетрометра конического индентора с углом при вершине  $60^\circ$  для вязко-пластичных биосистем. Для упруго-эластичных тел, к которым относится цельнокусковое мясо, использование такого рабочего органа нерационально, в виду низкой точности измерения, за счет незначительного внедрения индентора в продукт. При задании большого значения силы сопротивления продукта, внедрение конического индентора увеличится, что вызовет значительное разрушение ткани мяса. Поэтому, задачей данной работы было определение рациональных параметров измерения реологических характеристик мышечной ткани мяса методом пенетрации. Для выполнения поставленной задачи были проведены комплексные исследования в производственных условиях.

Учитывая то, что полученные данные будут рекомендованы для использования в производственных условиях, объектами исследования была партия туш крупного рогатого скота (КРС), выращенная в одном хозяйстве при одинаковых условиях откорма. Точкой контроля была L.dorsi между 7-8 спинными позвонками.

Для определения комплекса реологических свойств, методом пенетрации, необходимо установить максимальное фиксированное усилие сопротивления продукта, задаваемое на пенетрометре при достижении которого регистрируется глубина внедрения индентора в измеряемую среду. Измерительным рабочим органом выбираем конические инденторы, использование которых позволяют рассчитать по теории академика Ребиндера П.А. предельное напряжение сдвига соответствующей среды (система продукта).

Для выбора рационального угла при проведении исследований мышечной ткани говядины, выбираем инденторы с углом при вершине  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ . Для проведения эксперимента был выбран малогабаритный переносной пенетрометр марки ППМ-4, с помощью которого будет фиксироваться величина пенетрации выбранного индентора при достижении заданного усилия сопротивления ткани. За рациональное усилие сопротивления продукта выбрана величина равная 0,5 кг. Данная величина позволяет использовать все три выбранных угла конусов.

**Изложение основного материала исследований с полным обоснованием полученных научных результатов.** Для выявления закономерности изменения реологических характеристик мышечной ткани туши КРС, первоначально была измерена величина пенетрации в разные периоды автолиза (более детально проанализированы данные в критических точках 1 ч и 44 ч после убоя [3]). При этом, определение относительного пенетрационного напряжения  $\Theta_{\pi}$ , измеряемой в атмосферах (атм) или в паскалях (Па), будет проводиться по формуле:

$$\Theta_{\pi} = \frac{P}{h^2}, \quad (1)$$

где  $P$  – усилие, заданного сопротивления продукта, кг или Н;  
 $h$  – величина внедрения, см или м.

Тогда статическое ( $\Theta_0$ ) или динамическое ( $\Theta_{ог}$ ) предельные напряжения сдвига будут рассчитаны, согласно теории П.А. Ребиндера по следующим уравнениям:

$$\Theta_0 = \kappa \frac{m}{h^2} \quad (2a), \quad \text{или} \quad \Theta_{ог} = \kappa_1 \frac{P}{h^2}, \quad (2б)$$

где:

$\kappa$  – константа конуса для расчета статического ПНС, имеющая размерность Н/кг;

$m$  – полезная масса подвижной части прибора;

$\kappa_1$  – безразмерная константа конуса;

$P$  – заданное сопротивление продукта при внедрении в него соответствующего конического индентора.

Имеются различные зависимости по определению константы конуса, полученные разными авторами и дающие хорошую сопоставимость величины ПНС, определяемой с использованием конических инденторов с разным диапазоном углов, полученных на системах с различной структурой. Для обоснования выбора уравнения по определению константы конуса, обеспечивающая получение практически одинаковых значений ПНС, были проанализированы результаты исследований, приведенные в таблице 1.

**Таблица 1 – Реологические характеристики, полученные при использовании различных инденторов**

Угол индентора, $\alpha^\circ$	Величина пенетрации, $h_p$ , мм	Глубина внедрения, $h$ , см	Погрешность измерения, $\Delta_{max}$ , %	Погрешность измерения, $\Delta_{min}$ , %	$\Theta_p = P/h^2$ , $\text{кг/см}^2$	$\Theta_o$ , $\text{кг/см}^2$ (атм)	$\Theta_o$ , Па
1 час с момента убоя (продольное направление)							
10	249,5168	2,4952	1,5673	1,7713	0,0810	0,0627	6144,6
20	220,7915	2,2079	1,9493	2,0218	0,1028	0,0627	6144,6
30	191,5715	1,9157	2,6658	2,5176	0,1374	0,0627	6144,6
1 час с момента убоя (поперечное направление)							
10	369,2665	3,6927	0,9381	0,8842	0,0368	0,0285	2793,0
20	327,4168	3,2742	1,2467	1,3494	0,0466	0,0285	2793,0
30	283,5655	2,8357	2,1459	1,8091	0,0624	0,0285	2793,0
44 часа с момента убоя (продольное направление)							
10	206,861	2,06861	1,9907	1,34991	0,1173	0,0907	8888,6
20	183,4733	1,8347	1,9293	1,8905	0,1489	0,0909	8908,2
30	158,521	1,5852	2,9689	2,6712	0,19979	0,0911	8927,8
44 часа с момента убоя (поперечное направление)							
10	301,643	3,016	1,4071	1,4799	0,0555	0,04295	4209,1
20	265,1428	2,6514	1,9409	2,2123	0,0713	0,04350	4263,0
30	230,674	2,30674	3,0047	2,2205	0,0944	0,04305	4218,9

Средняя величина пенетрации приведенная в таблице 1, получена как среднеарифметическое значение экспериментальных данных, полученных при 7-8 кратном повторе.

Так как прочностные свойства вдоль и поперек волокон отличаются по абсолютной величине, для установления абсолютных значений и их соотношений, измерения проводили на поперечном сечении мышечной ткани мяса, в которое индентор внедрялся вдоль волокон и на продольном сечении, где внедрение рабочего органа происходило поперек волокон. В последнем случае, прочность мяса значительно больше по сравнению с мясом, в котором измерения проводили вдоль волокон. Прочность мяса, оцениваемая реологической величиной – ПНС измеряемой в атм или в Па. Обработка экспериментальных данных и их анализ показал, что их свойства отличаются от 1,8 до 2,3 %. По всей вероятности это соотношение будет изменяться в зависимости от содержания соединительной ткани в мясе. При этом, чем больше соединительной ткани в мясе, тем больше будет соотношение прочности мяса поперек и вдоль его волокон. Если эта гипотеза справедлива, то появится возможность эту величину использовать для оценки качества мяса, (по содержанию соединительной ткани) по соотношению бокового ПНС (поперек волокон) к осевому (вдоль волокон).

Анализируя данные, приведенные в таблице 1 полученные с использованием конических инденторов в заданном диапазоне углов при вершине, мы видим, что наибольшая величина пенетрации при заданном усилии сопротивления равной 0,5 кг получаем при конусе 10°, обеспечивающий минимальный разброс экспериментальных данных. Это позволяет выбрать данный конус для дальнейших исследований и считать его в дальнейшем рациональным. Анализ данных таблицы 1 показывает, что рациональным углом является угол конуса при вершине равным 10°, при котором минимальный разброс измеряемой величины пенетрации.

Для получения сопоставимых значений ПНС, с использованием разных конусов, необходимо выбрать и обосновать уравнение для определения их константы. С этой целью были проведены расчеты величин ПНС, с использованием различных зависимостей, по определению констант конуса, приведенных

в литературе [1]. При этом данные уравнения были получены и апробированы, в основном, на вязко-пластичных системах. Для упруго-эластичных продуктов данные исследования практически отсутствуют, кроме работ Татулова В.Ю., который использовал пенетрационный метод для оценки качества свиного мяса.

Анализ полученных расчетных данных ПНС позволил выбрать уравнение для расчета констант конуса, обеспечивающих практически одинаковые результаты. Такой зависимостью является уравнение Агранат Н.Н. с поправкой Арета В.А. [1]. Авторы при обосновании выбора своего уравнения в расчетах принимали во внимание не только напряжение сдвига, действующее вдоль поверхности конуса, но и распространение пластических деформаций, возникающих в некотором объеме вокруг конуса. Наличие последних было доказано при помощи рентгеновского анализа. Учитывая влияние пластических деформаций, ими было получено следующее уравнение для расчета константы конуса:

$$K = K'g, \quad (3)$$

условно обозначенное:

$$K_A = K'_A g, \quad (4)$$

$$1/K'_A = \pi g^2 \alpha \left\{ \begin{array}{l} 2\alpha - 2(\sin \alpha + 1)^2 \ln[\sin \alpha / (\sin \alpha + 1)] \\ + [1 - \operatorname{ctg}(\pi/4 + \alpha/2)](2 \sin \alpha + 1)^2 \ln[2 \sin \alpha / (2 \sin \alpha + 1)] \\ + [\operatorname{ctg}(\pi/4 + \alpha/2) - \operatorname{ctg}(\pi/4 + \alpha)] \cdot \operatorname{ctg}^2(\pi/4 - \alpha) \ln[2 / (\operatorname{ctg} \alpha + 1)] \\ + \operatorname{ctg}(\pi/4 + \alpha/2) [\operatorname{ctg}(\pi/4 - \alpha) - (2 \sin \alpha + 1)] \end{array} \right\} \quad (5)$$

При использовании конических инденторов с углом при вершине меньше  $60^\circ$ , для расчета константы по уравнению (5), В.А. Аретом была предложена поправка:

$$K'_2 = \operatorname{tg} \alpha (\sqrt{9 \operatorname{tg}^2 \alpha + 4}) / (3 \operatorname{tg}^2 \alpha + 1) \quad (6)$$

При этом константы конуса для углов  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  соответственно равны 7,58; 5,98; 4,47.

**Выводы.** На базе экспериментальных данных получены и обоснованы рациональные параметры измерения реологических характеристик мышечной ткани говядины методом пенетрации, а именно, обоснована заданная величина усилия сопротивления продукта равная 0,5 кг, обеспечивающая использование конусов с углом при вершине от  $10^\circ$  до  $30^\circ$ .

**Выводы по данным исследованиям и перспективы дальнейших изысканий в данном направлении.** Анализ экспериментальных данных показал, что наименьшую погрешность при измерениях дает индентор с углом при вершине  $10^\circ$ , что объясняется большей глубиной внедрения конуса в мышечную ткань, увеличение угла конуса может вызывать значительные деформации тканей мяса при оценке качества и ухудшать органолептические показатели сырья, особенно если в дальнейшем оно будет использовано для производства цельнокусковых мясных изделий.

Обоснован и апробирован выбор уравнения для определения константы конуса, обеспечивающий практически одинаковые расчетные значения ПНС.

#### Литература

1. Косой В.Д. Совершенствование производства колбас (теоретические основы, процессы, оборудование, технология, рецептуры и контроль качества) [Текст] / В.Д. Косой, В.П. Дорохов. – М.: ДеЛи принт, 2006. – 766 с.
2. Косой В.Д. Инженерная реология в производстве колбас [Текст] / В.Д. Косой, А.Д. Малышев, С.Б. Юдина. – М.: КолосС, 2005. – 262 с.
3. Савинок О.Н. Кинетика созревания говядины при одностадийном охлаждении [Текст] / О.Н. Савинок, Н.Г. Азарова, В.Д. Косой, С.А. Рыжов. – Мясная индустрия. – 2011. – № 5. – С. 58–62