

ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛО- И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
КОЛБАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ В ПРОЦЕССЕ НАГРЕВА

D 14

Г.К. Бабанов, Н.В. Ткач, В.В. Рубаник

Основными задачами в развитии техники и технологии в настоящее время является применение прогрессивных способов нагрева и на этой основе интенсификация процессов при обеспечении высокого качества продукции, создание поточных линий, оснащенных средствами для автоматического регулирования процессов.

Принципиально новые возможности появляются при использовании высокочастотного и особенно электроконтактного нагрева, так как тепло генерируется непосредственно в продукте, а температура равномерно распределяется по всему объему.

Известно, что мясопродукты, в частности фарш для колбасных изделий, являются сложными объектами тепловой обработки не только в связи со специфическими физико-химическими и биологическими свойствами, но и из-за влияния этих свойств на их тепло- и электрофизические характеристики.

В Украинском научно-исследовательском институте мясной и молочной промышленности проведены комплексные исследования процессов тепловой обработки мясного фарша методом электроконтактного нагрева током промышленной частоты и разработаны технология и оборудование для производства сосисок без оболочки.

С целью обоснования параметров процесса тепловой обработки сосисок и расчета соответствующей аппаратуры для их производства изучены тепло- и электрофизические свойства и плотность фаршей из говяжьего нежирного мяса, свиного нежирного мяса, хира-сырца свиного мягкого измельченного и некоторых колбасных

фаршей, а также влияние на эти свойства физико-химических изменений и фазовых превращений, происходящих в фарше в процессе нагрева.

Тепло- и электрические свойства фаршей исследовали при нагревании в технологическом диапазоне температур от 20 до 80°C с интервалом в 10°C.

Теплофизические свойства определяли методом, основанным на закономерностях распространения тепловой волны в теле, неограниченном от коротковременно действовавшего плоского источника тепла постоянной мощности.

Установлено, что температуропроводность всех фаршей увеличивается с ростом температуры по кривой, близкой к экспоненте (рис. 1), теплопроводность при нагревании незначительно увеличивается и линейно зависит от температуры.

Теплоемкость изменяется по кривым (рис. 1), характер которых зависит от соотношения компонентов фарша.

Для определения величины теплового эффекта от денатурации белков и степени его влияния на теплофизические свойства последние были получены для говяжьего фарша при повторном нагреве (рис. 1). Фарш нагревали до 80°C, затем охлаждали до 5°C и при повторном нагреве определяли теплофизические свойства в интервале температур от 20 до 80°C.

Как видно из рис. 1, температурные функции температуропроводности и теплопроводности для фарша при повторном нагреве располагаются несколько выше, а удельной теплоемкости ниже в сравнении с теми же функциями для фарша, полученными при первичном нагреве.

Уменьшение теплоемкости фарша при повторном его нагреве в сравнении с теплоемкостью фарша при первоначальном нагреве

подтверждает предположение о том, что на величину теплофизических характеристик влияет расход тепла, идущего на тепловую денатурацию белков. Количество тепла Q_d , затрачиваемого на денатурацию белков, содержащихся в I кг фарша из говяжьего мяса при его нагревании, отражено заштрихованной площадью (рис. I).

Величина Q_d может быть вычислена

$$Q_d = Q - Q_n \left[\frac{\Delta X}{\text{кг}} \right], \dots \dots \dots (1)$$

где

Q - количество тепла, необходимое для нагрева I кг фарша до нужной температуры;

$$Q = \int_{20}^{70} f(t) dt \dots \dots \dots (2)$$

Q_n - количество тепла, необходимое для повторного нагрева фарша до той же температуры,

$$Q_n = \int_{20}^{70} g(t) dt \dots \dots \dots (3)$$

$f(t)$ - зависимость теплоемкости фарша от температуры;

$g(t)$ - зависимость теплоемкости того же фарша от температуры при повторном нагреве.

Пределы интегрирования выбраны из технологических условий термообработки колбасных изделий.

$$C = f(t) = 2790 + 16(t - 20) - 0,2(t - 20)^2 \pm 120 \left[\frac{\Delta X}{\text{кг}^\circ\text{C}} \right] \dots (4)$$

$$C_n = g(t) = 2690 + 2(t - 20) - 0,05(t - 20)^2 \pm 130 \left[\frac{\Delta X}{\text{кг}^\circ\text{C}} \right] \dots (5),$$

где: C и C_n - теплоемкость фарша соответственно при первоначальном и вторичном нагреве;

t - температура в $^\circ\text{C}$.

Произведя необходимые вычисления, получим:

$$Q_d = 15250 \frac{\Delta X}{\text{кг}}$$

Температурные зависимости теплофизических свойств свиного жира-сырца представлены на рис. 2.

Увеличение теплопроводности и максимум теплоемкости при 30°C объясняется влиянием фазовых превращений жира, происходящих наиболее интенсивно в интервале от 20 до 40°C. Последующее резкое снижение теплоемкости до минимального значения при 50°C свидетельствует об уменьшении этого влияния по мере перехода твердой фазы в жидкую.

Незначительное возрастание теплоемкости при дальнейшем нагреве, очевидно, следует отнести за счет расхода энергии на разрушение жировых клеток.

На основе анализа полученных температурных зависимостей установлено, что теплофизические свойства любого колбасного фарша могут быть вычислены по закону аддитивности, исходя из соотношения рецептурных компонентов и их свойств по формуле:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i v_i \quad (6)$$

где C — удельная теплоемкость фарша;

C_i — удельная теплоемкость компонентов;

v_i — содержание каждого компонента в долях;

n — количество компонентов.

Аналогично могут быть вычислены коэффициенты температуропроводности и теплопроводности.

Исследования изменений плотности мясных фаршей дилатометрическим методом показали, что при увеличении температуры плотность незначительно уменьшается по линейному закону (рис. 3).

Удельная электропроводность (χ) мясных фаршей определена с применением мостовой схемы на базе электронного моста переменного тока типа Р568.

Установлено, что удельная электропроводность (рис. 4) возрастает при нагревании и линейно зависит от температуры в диапазоне от 20 до 50°C, что характерно для материалов с преобладающей ионной проводимостью. Снижение электропроводности после 60°C следует, по-видимому, рассматривать как влияние водно-жировой эмульсии, образующейся в фарше в результате денатурационных изменений белковых веществ и фазовых превращений жира.

Для оценки влияния на электропроводность денатурационных изменений белка, фарг после нагрева до 80°C, охлаждали и при повторном нагреве определяли указанную характеристику. Характер изменений электропроводности фарша при повторном нагреве такой же, как и при первичном. При дальнейшем нагреве фарша (до 80°C) электропроводность не изменяется.

Абсолютное значение удельной электропроводности фарша при повторном нагреве уменьшилось по сравнению с удельной электропроводностью того же образца при первичном нагреве.

Сравнение температурных зависимостей κ фарша с электропроводностью водного раствора *NaCl* (рис. 5), имеющую прямолинейную зависимость, подтверждает сделанный ранее вывод, что на характер изменений κ влияют физико-химические превращения фарша при его нагреве.

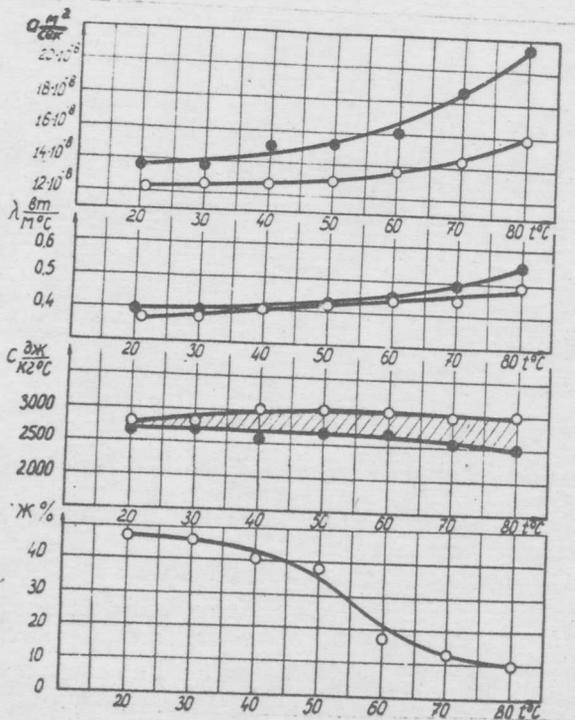


Рис. I. Зависимость теплофизических свойств фаршей из говяжьего мяса от температуры:

○ - фарш из говяжьего мяса с 2% NaCl; ● - тот же фарш при повторном нагреве; I - отношение содержания растворимого белка в % к общему количеству белка в фарше. Химсостав фарша: белок 21,42%; жир 0,15%; влага 74,23%; зола 3,79%

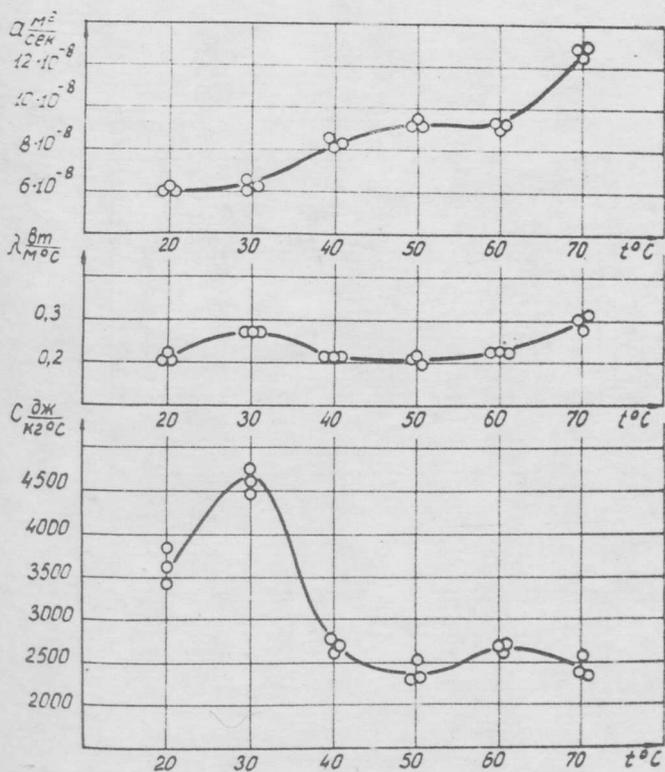


Рис. 2. Температурные зависимости теплофизических свойств свиного измельченного жира
 Химический состав жира в %: белок 4,26%, жира 79,96%,
 влага 13,72%, зола 2,41%

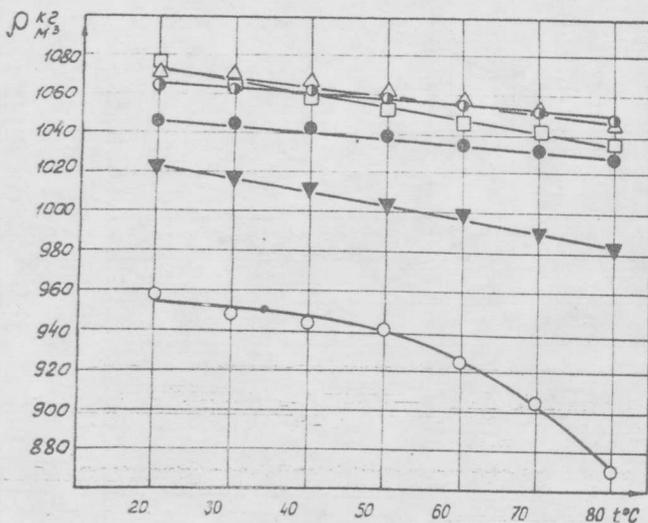


Рис. 3. Изменения плотности мясных фаршей и жира в зависимости от температуры нагревания.

- - фарш из говяжьего мяса с 35% воды и 2% *NaCl*; ○ - фарш из говяжьего мяса с 17% воды и 2% *NaCl*; □ - фарш из говяжьего мяса с 2% *NaCl*; △ - фарш из свинины нежирной с 2% *NaCl*;
- ▽ - фарш сосисок без оболочки; ○ - жир свиной внутренний измельченный с 2% *NaCl*.

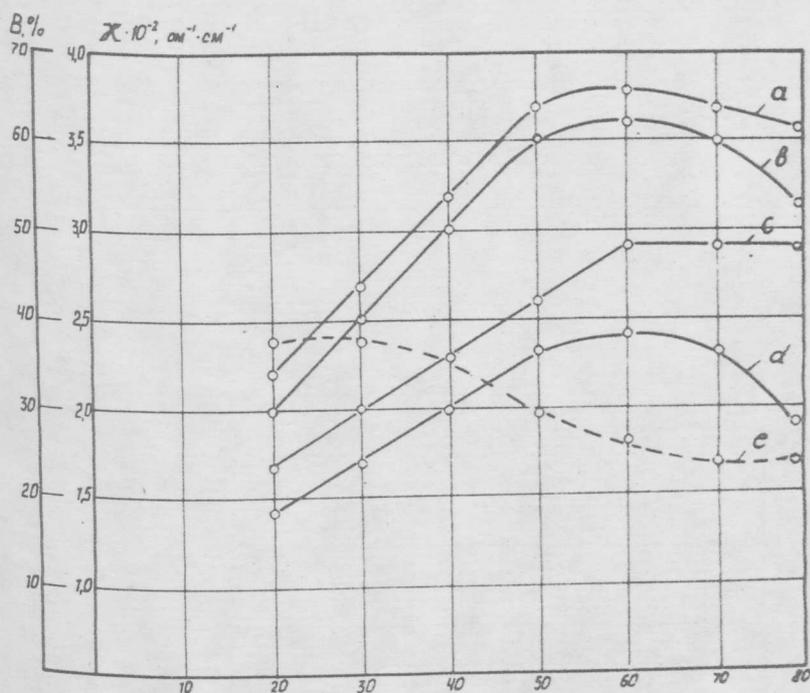


Рис. 4. Зависимость удельной электропроводности различных мясных фаршей от температуры:
 а - фарш из мяса говяжьего I сорта; б) фарш сосисок без оболочки;
 с - фарш сосисок без оболочки при повторном нагреве; д - фарш из мяса свиного жирного; е - процентное содержание нерастворимых белков; Химический состав фаршей сосисок в %: влага - 65,6, зола - 2,2, белок 12,25, жир - 20, 6.

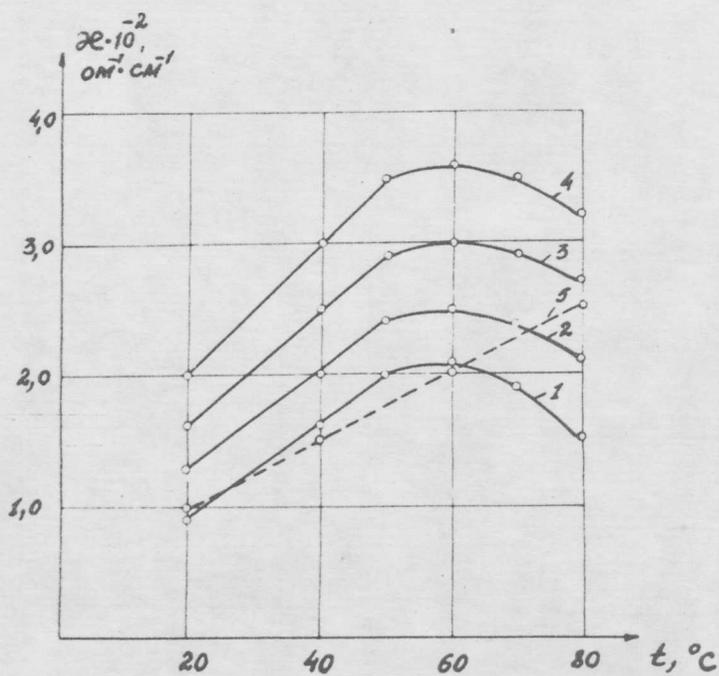


Рис. 5. Изменения удельной электропроводности фарша при различном содержании NaCl :

- 1 - фарш с содержанием 1% соли; 2 - фарш с содержанием 1,5% соли;
 3 - фарш с содержанием 2% соли; 4 - фарш с содержанием 2,5% соли;
 5 - водный раствор