

DYNAMICS OF HEAT FLOW IN FREEZING MEAT PRODUCTS BY LAYERS

A.G. Mazurenko, V.G. Fyodorov, V.I. Chromov

TECHNOLOGICAL INSTITUTE OF FOOD INDUSTRY, KIEV
RESEARCH INSTITUTE OF MEAT INDUSTRY, MOSCOW

Using a new method of measuring local heat flow density we have got new data on kinetics and dynamics of process of heat extraction from meat products in freezing quickly in rotor apparatus.

It has been studied influence of constructive and technological characteristics (flue section for freezing agent, product and packing material type, pressure, etc.) on process intensity and stability. Some recommendations on increasing apparatus productivity are worked out.

In order to generalize data under question new units (criteria) of similitude are given as follows: unit of heat flow and unbounded time of the process. With the help of computer "Mir-2" the process is divided into three characteristic periods. Each period and the entire process have equations of similitude.

DYNAMIQUE DES FLUX THERMIQUES AU COURS DE LA FRIGORIFICATION DES DENREES CARNEES EN BLOC

A.G. Mazourenko, V.G. Fedorow, V.I. Chromov

INSTITUT TECHNOLOGIQUE DE L'INDUSTRIE ALIMENTAIRE
INSTITUT DE RECHERCHES SCIENFIQUES

Par suite de l'application de la méthode spéciale du mesurage de la densité locale pour la première fois on a obtenu les données sur la cinétique et la dynamique du processus du détournement de la chaleur des denrées carnées au cours de leurs frigorification dans les batteries de rotor de congélation.

On a examiné l'influence des paramètres constructifs et technologiques (section du canal du frigorigène pour les dalles frigorifiques, espèce du produit et du matériel d'emballage, pression sur le produit, etc.) sur l'intensité et la régularité du processus. On a élaboré des recommandations pour augmenter le rendement de la batterie.

Pour généraliser les données expérimentales, on a proposé des nouveaux nombres (critères) de similitude - le nombre paramétrique du flux thermique et le temps sans normes du processus. A l'aide de "Paix-2" le processus est divisé en trois périodes caractéristiques. Pour chaque période et pour le processus tout entier on a obtenu des équations de similitude.

DYNAMIK DER WÄRMESTRÖME BEI GEFRIEREN DER FLEISCHPRODUKTEN IN DEN BLOCKEN

Mazurenko A.G., Fjodorow W.G., Chromow W.I.

DAS KIEWER TECHNOLOGISCHE INSTITUT FÜR NAHRUNGSMITTELINDUSTRIE

DAS WISSENSCHAFTLICHE FORSCHUNGSINSTITUT FÜR FLEISCHINDUSTRIE DER SOWJETUNION

Als Ergebnis der Verwendung der Spezialmethodik der Messung der Lockaldichtung der Wärmeströme wurden zum ersten Mal Angaben über Kinetik und Dynamik des Vorganges der Wärmeableitung von Fleischprodukten bei Gefrieren in Rotorschnellgefrierungsagregaten erhalten.

Es wurde die Wirkung der konstruktiven und technologischen Parameter (des Schnittes der Kanäle für Kühlagregaten in den Gefrierungsplatten der Art des Produktes und Verpackungstoffen, des Druckes auf das Produkt u.s.w.) auf Intensität und Gleichmäßigkeit des Vorganges. Es wurden auch Empfehlungen auf Steigerung der Leistungsfähigkeit des Aggregates ausgearbeitet.

Für Verallgemeinerung der Versuchsmaterialie sind neue Zahlen (Kriterien) Ebenbilder - parametrische Zahl des Wärmestromes und unbegrenzte Zeit des Vorganges vorgeschlagen. Mit Hilfe EZWM "MIR-2" ist der Prozeß in drei charakteristische Periode geteilt. Für jedes Periode und für den ganzen Prozeß sind Gleichungen des Ebenbildes bekommen.

ДИНАМИКА ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ ПРИ ЗАМОРАЖИВАНИИ МЯСОПРОДУКТОВ В БЛОКАХ

А.Г.Мазуренко, В.Г.Федоров, В.И.Хромов

Киевский технологический институт пищевой промышленности

Всесоюзный научно-исследовательский институт мясной промышленности

В результате применения специальной методики измерения локальной плотности тепловых потоков впервые получены данные о кинетике и динамике процесса теплоотвода от мясопродуктов при замораживании в роторных скороморозильных агрегатах.

Исследовано влияние конструктивных и технологических параметров (сечения каналов для хладагента в морозильных плитах, вида продукта и упаковочного материала, давления на продукт и т.п.) на интенсивность и равномерность процесса. Выработаны рекомендации по повышению производительности агрегата.

Для обобщения опытных данных предложены новые числа (критерии) подобия - параметрическое число теплового потока и безразмерное время процесса. С помощью ЭЦВМ "Мир-2" процесс разделен на три характерных периода. Для каждого периода и для всего процесса получены уравнения подобия.

ДИНАМИКА ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ ПРИ ЗАМОРАЖИВАНИИ МЯСОПРОДУКТОВ В БЛОКАХ

А.Г.Мазуренко, В.Г.Федоров – Киевский технологический институт пищевой промышленности,
г. Киев, СССР;
В.И.Хромов – Всесоюзный научно-исследовательский институт мясной промышленности,
г. Москва, СССР

Внедрение в мясную промышленность нового непрерывнодействующего высокопроизводительного оборудования обуславливает необходимость детального исследования процессов теплообмена при тепловой и холодильной обработке мясопродуктов.

Мясопродукты принадлежат к группе термолabileльных пищевых продуктов, на физико-химические свойства которых, а следовательно, и на пищевую ценность, может влиять, среди других факторов, непосредственно уровень теплового потока, т.е. количество энергии, подводимой к продукту либо отводимой от него в единицу времени. Тепловой поток меняется в процессе обработки как в пространстве из-за различных теплофизических свойств компонентов продукта, так и во времени, в связи с изменением движущей силы процесса – температурного напора – и конструктивными особенностями оборудования.

Особенно резкие изменения тепловых потоков происходят при замораживании мясопродуктов блоками в роторных скороморозильных агрегатах, которые получают все большее распространение. Опыт внедрения этих новых агрегатов в условиях мясокомбинатов, а также на рыбоперерабатывающих судах показывает их перспективность. Вместе с тем, тепловые расчеты агрегатов производят устаревшими методами. Время замораживания продукта τ_k рассчитывают по формуле Р.Планка, предложенной более 60 лет назад, без учета охлаждения продукта до криоскопической температуры t_{cr} и в предположении, что теплоемкость замороженного продукта равна нулю, а остальные свойства – постоянны.

Полученную величину τ_k используют для определения средней интенсивности отвода тепла (плотности теплового потока) q_{cp} , в случае замораживания блока толщиной h с двух сторон пластинами с поверхностью F :

$$q_{cp} = \frac{h \rho \Delta i}{2 F \tau_k} \quad (I)$$

где Δi – разность энтальпий продукта в начале и конце процесса;
 ρ – средняя плотность продукта.

По величине q_{cp} подбирают холодопроизводительность установок, обслуживающих технологический процесс. Динамику изменения плотности теплового потока $q(\tau)$ при этом не учитывают, что приводит к увеличению расхода энергии на замораживание, а иногда – к нарушению режима работы холодильных установок.

Настоящие экспериментальные исследования кинетики и динамики интенсивности теплоотвода мы производили на моделях агрегата, а также роторных скороморозильных агрегатах в условиях мясокомбинатов.

Измерительная аппаратура состояла из маловиберционных миниатюрных тепломеров, разработанных в Киеве, и медь-константановых термопар. Тепломеры работают по принципу вспомогательной стенки, содержат более 2 тыс. дифференциально соединенных микротермоэлементов, представляют собой диски диаметром 12-25 мм, толщиной 1-1,5 мм, их предварительно градуируют по эталонному тепловому потоку при рабочих температурах минус 50... плюс 50°C. Эффективная теплопроводность дисков несколько выше, чем у мясопродуктов, поэтому их закладка в продукт или на его поверхность не искажала процесс переноса теплоты.

Коммутацию датчиков теплового потока и температуры на самопишущей потенциометр производили через гибкий кабель, чтобы не вносить в измерения погрешности, связанные с контактными токосъемниками.

Экспериментально полученные зависимости $q(\tau)$ для вращающихся агрегатов и неподвижных моделей отличались в связи с различными динамическими возмущениями (остановки агрегата для загрузки, изменение ориентации блоков в пространстве и т.п.), но основная кинетическая закономерность была одинаковой (рис. 1).

В первый момент наблюдались максимальные тепловые потоки, затем они резко снижались в связи с уменьшением перепада температур и во втором периоде становились менее значительными в связи с дополнительным выделением теплоты фазовых переходов. В последнем периоде происходило в основном переохлаждение замороженного продукта, и снова резкое снижение теплоотвода.

Заданную среднеобъемную температуру продукта t_{cp} определяли по измеренным температурам в центре t_u и на поверхности продукта t_n :

$$t_{cp} = \frac{2t_u + t_n}{2}. \quad (2)$$

Оценку достоверности данных по динамике теплоотвода производили, используя уравнение теплового баланса:

$$\sum F \int_{\tau} q d\tau = m \Delta i, \quad (3)$$

где m — масса продукта в блоке.

Остаточный член баланса колебался в пределах 3–10% и не превышал 15%, что следует считать удовлетворительным в связи с неравномерностью теплоотвода по поверхности блока и ошибками при определении интеграла в уравнении (3) методом планиметрирования.

При исследовании производственного агрегата было установлено, что уровень тепловых потоков от продукта к "наружной" морозильной плите на 25–50% больше, чем к "внутренней", на протяжении всего процесса. Это объясняется, по-видимому, разной тепловой нагрузкой на плиты: на наружную — от одного блока, а на внутреннюю — от двух. Следовательно, сечение каналов, подающих в нее хладагент, недостаточно. Для подтверждения этих данных поставили опыты по измерению температурного поля продукта с помощью специального координатника, позволяющего фиксировать спай термпары, сваренной встык, на различном расстоянии от поверхности продукта, с погрешностью не более $\pm 0,3$ мм. Из рис. 2 видно, что тепловой центр блока не совпадает с геометрическим — к наружной плите идет тепло примерно от 60% продукта. Такой же результат получили, располагая тепломеры по толщине блока и измеряя послойное изменение тепловых потоков.

Увеличив проходное сечение каналов, подводящих хладагент к внутренней плите на 60–80%, добивались повышения производительности агрегата на 25–40%.

Замечено также, что уровень теплового потока зависел от вида упаковки. Замораживали свинину и говядину жилованную, печень говяжью в упаковках из полиэтиленовой пленки, растительного пергамента и ламинированной бумаги. Интенсивность теплоотвода для первых двух видов упаковки одинакова, для ламинированной бумаги — на 20–30% меньше. Расчеты показали, что только половину этой величины можно отнести за счет увеличения сопротивления толстой бумаги-картона. По-видимому, большую роль играли упругие свойства бумаги, что приводило к появлению воздушных прослоек и увеличению сопротивления.

Последнее обстоятельство было проверено в опытах на модели агрегата (неподвижность секции производственного агрегата), где можно было менять степень подпрессовки блока. Установлено, что термическое сопротивление упаковки из парафинированной бумаги снижалось от 0,01 до 0,006 m^2K/Wt при увеличении подпрессовки от 5 до 150 кПа.

Данные по влиянию подпрессовки на время замораживания представлены на рис. 3. В качестве масштаба времени взяли время замораживания при промышленной подпрессовке в 5 кПа. Из графика видна возможность увеличения производительности агрегата на 15–20% при повышении давления на продукт до 250 кПа.

Установлено, что при различных степенях подпрессовки, упаковке, температуре хладагента,

толщине блока и т.д. средний уровень тепловых потоков в процессе замораживания получается разным, но характер изменения теплового потока во времени сохраняется таким же, как показано на рис. 1. Поэтому оказалось возможным обобщить все опытные данные по замораживанию мясных и рыбных продуктов (мелкой рыбы типа салаки) блоками в производственных и лабораторных условиях. В качестве аргумента выбирали безразмерное время процесса $\Pi_\tau = \tau/\tau_k$, функцией являлась относительная плотность теплового потока $\Pi q = q/q_{cp}$. Интересно отметить, что в системе координат $\Pi q = f(\Pi_\tau)$ легко представить известное уравнение Планка, если пренебречь сопротивлением теплоотдачи к хладагенту (результаты измерений на модели агрегата показывают, что это не внесет добавочной погрешности в результат). Получается простая убывающая парабола.

В реальных условиях форма кинетической кривой (рис. 1) более сложная, чем эта парабола. Самый начальный участок охлаждения является беспорядочным, затем наступает экспоненциальная зависимость так называемого регулярного режима охлаждения, на которую с момента достижения криоскопической температуры накладывается парабола Планка. Замерзшая поверхность тут же начинает переохлаждаться - добавляется еще одна экспонента. Хорошо известно, что аналитическое описание полной кривой весьма затруднительно, попытки учесть факторы, опущенные Планком, приводят к громоздким соотношениям, которые не используются в практических расчетах. Поэтому целесообразно применять методы теории подобия, т.е. составлять уравнения, связывающие безразмерные числа, характеризующие отдельные стороны явления. Такими числами подобия и являются параметрические числа Π_k и Π_τ .

При расчете Πq определяли средний тепловой поток q_{cp} из опытных данных:

$$q_{cp} = \frac{1}{\tau_k} \int q d\tau. \quad (4)$$

В безразмерных координатах все опытные точки группируются возле одной кривой такого же типа, как на рис. 1. Простейшее обобщение получается, если разбить ее на три участка, соответствующие начальному охлаждению, основному замораживанию и переохлаждению. Длина этих участков $0,25\Pi_\tau$; $0,5\Pi_\tau$ и $0,25\Pi_\tau$. Внутри каждого участка можно считать зависимость $\Pi q = f(\Pi_\tau)$ линейной. Взамен кривой получаем ломаную. Статистическая обработка опытных данных с помощью ЭЦВМ "Мир-2" дает наиболее вероятные значения коэффициентов для отрезков ломаной:

$$\begin{aligned} \Pi q &= 2,12 - 4,17 \Pi_\tau \pm 0,16; & 0 < \Pi_\tau < 0,25 \\ \Pi q &= 1,39 - 0,93 \Pi_\tau \pm 0,07; & 0,25 < \Pi_\tau < 0,75 \\ \Pi q &= 2,03 - 1,73 \Pi_\tau \pm 0,07; & 0,75 < \Pi_\tau < 1. \end{aligned} \quad (5)$$

Физической природе процесса более соответствуют экспоненциальные зависимости для каждого отрезка Π_τ , поэтому были проведены соответствующие вычисления:

$$\begin{aligned} \Pi q &= 2,18 \exp(-2,61 \Pi_\tau) \pm 9\%; & 0 < \Pi_\tau < 0,25 \\ \Pi q &= 1,49 \exp(-0,99 \Pi_\tau) \pm 8\%; & 0,25 < \Pi_\tau < 0,75 \\ \Pi q &= 8,76 \exp(-3,27 \Pi_\tau) \pm 15\%; & 0,75 < \Pi_\tau < 1. \end{aligned} \quad (6)$$

Наконец, с помощью ЦВМ были подобраны коэффициенты к уравнению кубической параболы, позволившего рассчитывать Πq во всем интервале Π_τ без увеличения погрешности:

$$\Pi q = 2,17 - 5,76 \Pi_\tau + 8,95 \Pi_\tau^2 - 5,12 \Pi_\tau^3 \pm 0,10. \quad (7)$$

Уравнения (5-7) можно использовать не только для определения плотности теплового потока как функции времени, но, представив их в другом виде - $\tau_k = f(q, \tau)$ и создав возможность для контроля и автоматизации процесса замораживания по новому параметру - плотности теплового потока, - определять время полного замораживания продукта по показанию тепломера, закрепленного на морозильной плите, в любой момент времени.

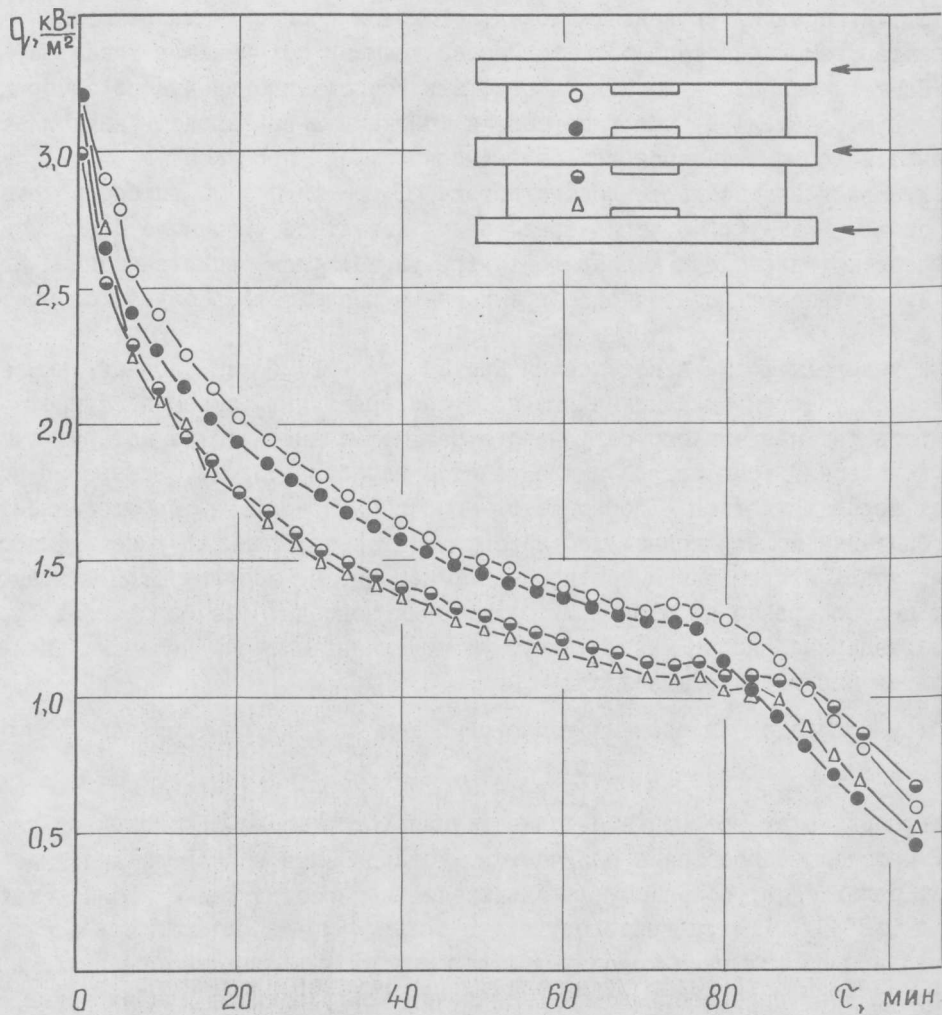


Рис. 1. Кинетика тепловых потоков при замораживании жилованной говядины в модели агрегата до среднеобъемной температуры минус 12°C :

- ; ● - изменение теплового потока во времени (верхняя и нижняя плоскость блока, верхняя секция блок-формы);
- ; Δ - изменение теплового потока во времени (верхняя и нижняя плоскость блока, нижняя секция блок-формы)

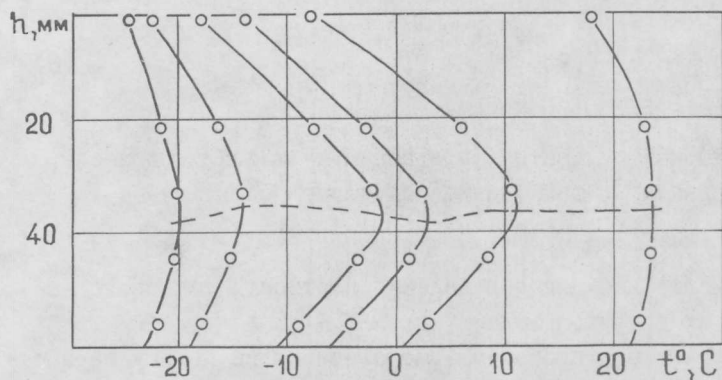


Рис. 2. Изменение температурного поля при замораживании жилованной говядины в роторном агрегате

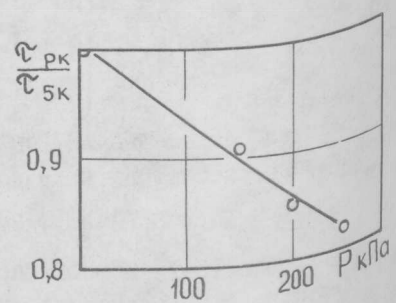


Рис. 3. Зависимость относительного времени замораживания мясopодуKтов от давления подпрессовки