

УДК 637.5

*Р.Ю. Турна, П.Г. Гакал, Е.П. Ганжа*

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», ул. Чкалова, 17, г. Харьков, 61070, Украина

## **ОБЗОР МОДЕЛЕЙ ТЕПЛООБМЕНА ДЛЯ УСЛОВИЙ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ТУШЕК ПТИЦЫ**

*В статье рассмотрены математические модели теплообмена тушек птиц, а также методы оценки продолжительности охлаждения тушек птицы, которые используются при проектировании поточных линий холодильной обработки. Представлен анализ моделей и методов, перечислены их достоинства и недостатки применительно к задачам проектирования поточных линий охлаждения. Сформулированы требования к моделям теплообмена.*

**Ключевые слова:** Теплообмен тушек птиц – Продолжительность охлаждения – Холодильная обработка – Темп охлаждения.

*Р.Ю. Турна, П.Г. Гакал, Е.П. Ганжа*

Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» вул. Чкалова, 17, м. Харків, 61070, Україна

## **ОГЛЯД МОДЕЛЕЙ ТЕПЛООБМІНУ ДЛЯ УМОВ ПОТОКОВИХ ЛІНІЙ ХОЛОДИЛЬНОЇ ОБРОБКИ ТУШОК ПТИЦІ**

*У статті розглянуті математичні моделі теплообміну тушок птиці, а також методи оцінки тривалості охолодження тушок птиці, які використовуються при проектуванні поточкових ліній холодильної обробки. Представлено аналіз моделей і методів, перераховані їх достоїнства і недоліки стосовно завдань проектування поточкових ліній охолодження. Сформульовано вимоги до моделей теплообміну.*

**Ключові слова:** Теплообмін тушок птиці – Тривалість охолодження – Холодильна обробка – Темп охолодження.

### **I. ВВЕДЕНИЕ**

Сегодня отрасль производства мяса птицы – наиболее динамично развивающаяся отраслей переработки мяса в Украине. Это обусловлено переходом в последние годы к крупнотоварному производству, в котором используются новые мировые технологии в содержании, кормлении и переработке птицы. Потребительский спрос на мясо птицы постоянно растет и до конца еще не удовлетворен. Причина высокого спроса в низкой стоимости и высоком качестве продукта, в результате чего наблюдается смещение соотношения годового потребления мяса на душу населения в сторону роста потребления мяса птицы.

В технологической схеме переработки мяса птицы холодильная обработка является наиболее инвестиционным и энергозатратным участком. Необходимость дальнейшего совершенствования и интенсификации процесса охлаждения привела к внедрению поточных высокопроизводительных линий холодильной обработки мяса птицы. В настоящее время наибольшее распространение получили три способа охлаждения тушек птиц: воздушный, погружением в холодную воду (так называемая технология охлаждения в ледяной воде) и гидроаэрозольно-испарительный способ. По существу каждый из этих способов является компромиссным решением по совокупности раз-

личных требований, при котором одни желаемые показатели достигаются в ущерб другим. Тем не менее, наибольший интерес представляет технология охлаждения в ледяной воде, которая, как показывает предварительный анализ, имеет преимущества по сравнению с другими способами по энергозатратам и продолжительности охлаждения.

При проектировании любой линии охлаждения необходимо знать суммарную тепловую нагрузку, которая равняется сумме тепловых потоков с поверхности объектов охлаждения. При этом необходимо учитывать, что в системах поточковой холодильной обработки тушек птиц ледяной водой, каждый объект охлаждения находится на своем, отличном от всех, часовом интервале холодильной обработки. На входе линии охлаждения тушки птицы «горячие», с наиболее высокими удельными тепловыми потоками с поверхности, а на выходе они «холодные» с низкими удельными тепловыми потоками. Поэтому, проектирование систем поточной холодильной обработки требует также знания динамики изменения тепловых потоков с поверхности объектов охлаждения при его движении в охлаждающей среде. Данную информацию можно получить, только решая сопряженные задачи теплообмена тушки птицы с водой при ее движении в ледяной воде. Однако, ввиду сложности объекта охлаждения (тушка птицы – объект охлаждения неправильной формы), существующие

модели теплообмена носят или эмпирический или полумпирический характер, что затрудняет их использование при проектировании поточных линий охлаждения. В данной работе сделан обзор моделей теплообмена объектов неправильной формы, приведены их достоинства и недостатки, перечислены требования к модели теплообмена, с учетом требований, выдвигаемых моделью всей системы охлаждения.

## II. ОБЗОР МОДЕЛЕЙ ТЕПЛООБМЕНА ТУШЕК ПТИЦ

Динамика изменения тепловых потоков с поверхности тушек птиц и продолжительность процесса охлаждения продукта в системах потоковой холодильной обработки определяют значения тепловой нагрузки на теплообменное оборудование, которая в свою очередь определяет капитальные и эксплуатационные затраты на холодильное оборудование, с помощью которого реализуется тот или иной способ охлаждения тушек птиц. Поэтому решения по выбору концепции холодоснабжения предприятия и способа охлаждения следует принимать на базе подробного технико-экономического обоснования (ТЭО). Такое обоснование может быть выполнено только с использованием математических моделей, учитывающих реальный режим работы холодильной машины и теплообменные процессы между продуктом и охлаждающей средой в системе потоковой холодильной обработки тушек птиц. Отметим, что длительность процесса охлаждения определяется как время достижения некоторой заданной среднеобъемной температуры объекта холодильной обработки. Поэтому модели должны описывать объемное температурное поле тушки.

Мясо различных категорий и состава (говядина, свинина, птица) представляют собой структуру, состоящую из заполненных водным раствором белков, солей, кислот и т.п. Однако, особенность этой структуры заключается в полном отсутствии явлений конвекции жидкости при возникновении в мясе неоднородного температурного поля. Поэтому в плане моделирования температурных полей и теплообмена при холодильной обработке мяса его можно рассматривать как твердое тело.

Определением продолжительности холодильной обработки и распределением температуры по толщине мяса и мясопродуктов различной геометрической формы занимались многие исследователи, в частности А.М. Бражников, К.П. Венгер, Н.А. Головкин, Б.Г. Рютов, Г.Б. Чижов, И.Г. Чумак, В.П. Онищенко и др.

Наиболее простые модели основаны на экспериментальных зависимостях. Однако, построение эмпирических зависимостей продолжительности процесса охлаждения методами регрессионного анализа требует проведения большого числа экспериментальных измерений. Для процессов холодильной обработки мяса вообще, а для мяса птицы в частности, такие экспериментальные ис-

следования весьма не многочисленны, носят разрозненный характер и справедливы лишь в очень узких диапазонах изменения параметров; в качестве примера можно привести работу [1]. Поэтому они не могут служить надежной основой для проектирования систем охлаждения.

В связи с этим представляют интерес модели теплообмена тушек птиц вытекающие из теоретических предпосылок, апробированные на экспериментальных результатах.

В целом для мяса и мясопродуктов имеется большое количество теоретических результатов, которые основаны на решении одномерной краевой задачи теплопроводности в линейной и нелинейной постановке. Из классического решения простых и однородных тел правильной формы А. Г. Фикиин получил с некоторыми упрощающими допущениями соотношение для расчета продолжительности охлаждения пищевых продуктов правильной формы (сфера, овал...) [2]:

$$\tau = -A \frac{R}{a} \left[ \left( \frac{2.3}{Bi} + 0.8 \right) \lg \frac{t_k - t_{o.c.}}{t_n - t_{o.c.}} - 0.12 \right],$$

где  $A$  – принимает значение 1 для пластины, 1/2 для цилиндра, 1/3 для шара;

$t_k$  – начальная температура продукта, °C;

$t_n$  – конечная температура продукта, °C;

$t_{o.c.}$  – температура окружающей среды, °C;

$Bi = \frac{\alpha R}{\lambda}$  – число Био;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи на поверхности продукта,  $Вт/(м^2 \cdot К)$ ;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности продукта,  $Вт/(м \cdot К)$ ;

$R$  – характерный размер объекта, м.

В работе [2] отмечается достаточная точность приведенного выше соотношения, особенно при охлаждении пищевых продуктов с формой, близкой к правильной (сфера, овал). В тех же случаях, когда продукты по форме значительно отличаются от правильных, необходимо для каждого вида продукта вводить коррекционные коэффициенты, которые получают в результате сопоставления результатов решения для тел классической геометрической формы с экспериментальными данными по охлаждению тел неправильной формы. Полученные полумпирические соотношения, позволяют определить продолжительность холодильной обработки реального объекта. Однако следует отметить, что для тушек птиц корреляционных коэффициентов мало, они имеют разрозненный характер и, кроме того, имеют большую погрешность.

Опыт решения задач теплопроводности для пластины с использованием экспериментально определенного коррекционного коэффициента применительно к мясу в полутушах, показывает, что этот коэффициент зависит от коэффициента гомотропности  $\Phi$ :

$$\Phi = \frac{V}{S \cdot R},$$

где  $V$  – объем продукта, м<sup>3</sup>;

$S$  – площа охладжуваної поверхності продукту, м<sup>2</sup>;

$R$  – характерний розмір, м.

С урахуванням коефіцієнта гомохронності продовжителіності холодильної обробки в системі нескінченна пластина – реальний об'єкт може визначатися по наступній формулі:

$$\tau = \frac{\tau_{nl}}{\Phi},$$

де  $\tau_{nl}$  – продовжителіність охолодження пластини, с.

Такий підхід виявився найбільш вдалим при описанні процесу заморожування м'яса в полутушках [3, 4]. Однак, слід врахувати, що тривалість процесу холодильної обробки в відповідності з наведеним співвідношенням визначається при постійних значеннях коефіцієнтів теплоотдачі на поверхності продукту і температури охолоджуваної середовища. Реально ці параметри в системах холодильної обробки харчових продуктів змінюються як во часі, так і в просторі. Тому використовувати дане співвідношення для проектування поточних ліній охолодження при змінюваній во часі температурі охолоджуваної середовища, коефіцієнті теплоотдачі з поверхності об'єкта охолодження складно, а іноді і неможливо.

Щоб уникнути цих недоліків автори [5] запропонували використовувати так званий фактор форми  $\Gamma = \frac{1}{\Phi} - 1$  об'єкта охолодження в самому диференціальному рівнянні теплопровідності. В результаті була сформульована інтерполяційна одномерна крайова задача теплопровідності для моделювання процесу охолодження тіл неправильної форми, з перемінними граничними умовами, в якій інтерполяційним параметром виступає коефіцієнт форми  $\Gamma$ :

$$\begin{cases} C_e(T) \cdot \rho(T) \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = \frac{1}{x^2} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left[ \lambda(T) \cdot x^2 \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial x} \right]; \\ x \in [R_1, R_2], \quad \tau > 0 \\ T(x, 0) = f(x), \\ -\lambda[T(R_1, \tau)] \frac{\partial T(R_1, \tau)}{\partial x} + \\ + \alpha_1(\tau) \cdot [T_{c1}(\tau) - T(R_1, \tau)] = 0; \\ -\lambda[T(R_2, \tau)] \frac{\partial T(R_2, \tau)}{\partial x} + \\ + \alpha_2(\tau) \cdot [T_{c2}(\tau) - T(R_2, \tau)] = 0. \end{cases}$$

Індекси 1,2 крайової задачі відповідають поверхностям теплообміну – зовнішній і внутрішній.

Інтерполяційна задача заморожування тушок кур в повітрі в такій постановці дозволила отримати середнє значення фактора форми  $\Gamma$ , який виявився рівним 0,81 [6].

Однак в даній моделі процес теплообміну розглядається для окремої тушки птахи при заданих умовах охолодження, тоді як на практиці граничні умови в процесі холодильної обробки змінюються в результаті спільних процесів теплообміну між продуктом і охолоджуваною середовищем. К тому ж задача в такій постановці не враховує особливості технологічного процесу споживання холоду всієї системи в цілому.

Для визначення тривалості охолодження м'ясних продуктів широке розповсюдження в холодильній техніці отримали також моделі, розроблені на основі теорії регулярного режиму охолодження твердих тіл, запропонованої Г.М. Кондратьєвим [7].

В відповідності з теорією, процес охолодження скільки завгодно складного тіла можна розділити на дві основні стадії: нерегулярний режим охолодження і стадія регулярного режиму охолодження. На першій стадії всяка нерівномірність в початковому розподілі відображається на розподілі температури в наступні моменти. На стадії регулярного режиму охолодження зв'язок між надлишковою температурою і часом описується простою експонентою, а тривалість охолодження в межах цієї стадії визначається по простому співвідношенню:

$$\tau = \frac{1}{m} \ln \frac{T_n - T_{o.c.}}{T_k - T_{o.c.}},$$

де  $T_n$  і  $T_k$  – початкова і кінцева температура об'єкта відповідно, К.

В теорії регулярного режиму розглядається тільки друга стадія охолодження продукту. Задача охолодження в цьому випадку вважається повністю розв'язаною при визначенні зв'язку темпа охолодження від коефіцієнта теплоотдачі.

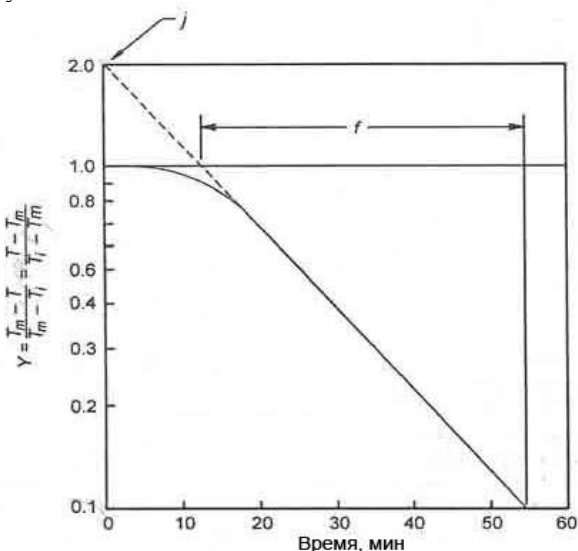
Експериментальні дослідження моменту настання регулярного режиму охолодження при холодильній обробці тушок птахи і зв'язку темпа охолодження від коефіцієнта теплоотдачі в літературі, к сожалению, відсутні. Такі дослідження проводилися тільки для м'ясних полутушок [8]. Отримані в результаті таких досліджень співвідношення знайшли широке розповсюдження в інженерній практиці розрахунку тривалості охолодження м'ясних полутушок в залежності від режимів холодильної обробки. Однак отримані в [8] результати не придатні для тушок птахи. Крім того, для поточної холодильної обробки, в умовах постійної зміни во часі температури охолоджуваної середовища, коефіцієнтів теплоотдачі на поверхності продукту, теплофізических властивостей продукту, методи розрахунку тривалості охолодження на основі теорії регулярного режиму не розроблені.

В зарубіжній літературі для характеристики тривалості першої і другої стадій режимів охолодження, тривалість охолодження тіла записують в декількох інших видах:

$$\tau = \frac{-f}{2.303} \ln\left(\frac{Y}{j}\right),$$

где  $Y$  – избыточная температура продукта,  $K$ ;  
 $j$  – коэффициент запаздывания.

Геометрический смысл и значения остальных параметров ( $f$  и  $j$ ) наглядно представлены на рисунке 1.



**Рисунок 1** – Типичная кривая охлаждения твердого тела.

Таким образом, для определения времени охлаждения необходимо знать коэффициенты  $f$  и  $j$ . В общем случае, коэффициенты  $f$  и  $j$  зависят от геометрической формы тела и числа Био. Коэффициент запаздывания  $j$  также является функцией координат. В работах [9, 10] представлены значения коэффициентов  $f$  и  $j$  для бесконечной пластины, бесконечного цилиндра и сферы в зависимости от числа Био. Однако следует принимать во внимание то, что эти значения получены для случая: однородного начального поля температур; постоянных теплофизических свойствах продукта; постоянных граничных условий 3-го рода. Коэффициент запаздывания в работах представлен для температуры в центре, средней температуры и температуры поверхности тел правильной формы.

Для тел неправильной формы в работах [11, 12] предприняты попытки получить общие выражения для коэффициентов  $j$  и  $f$  в зависимости от формы продукта. Однако соотношения, представленные в этих работах, не пригодны для расчета продолжительности охлаждения тушек птицы из-за сложной геометрии продукта и наличия внутренней полости у тушки птицы.

Для описания процессов холодильной обработки мясных продуктов используют и нелинейные двух- и трехмерные краевые задачи теплопроводности, численный анализ которых проводится методами конечно-разностной аппроксимации, конечных элементов. Следует отметить неэффективность задач в такой постановке, которая обусловлена тем, что теплообмен между объектами охлаждения и охлаждающей средой, как правило, моделируется усредненными по поверхности ко-

эффициентом теплоотдачи, а это делает двух- и трехмерную постановку задачи некорректной, так как для таких задач необходимо пользоваться локальными значениями коэффициентов теплоотдачи. Кроме того, данные модели сложны, их использование затруднительно в системных моделях, описывающих теплообмен и гидродинамику продукта и охлаждающей среды, теплообмен с окружающей средой, работу холодильной машины, систему автоматики и т. д.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные модели теплообмена обладают общим недостатком, затрудняющим их использование в системных моделях, а именно: процесс охлаждения рассматривается для отдельной тушки птицы, как правило, при фиксированных условиях охлаждения, с осредненными по поверхности теплообмена коэффициентами теплоотдачи и без учета изменения параметров охлаждающей среды в процессе охлаждения.

При решении задач энерго- и ресурсосбережения при проектировании систем поточного охлаждения тушек птиц необходимо рассматривать всю систему охлаждения в целом, учитывая особенности технологического потребления холода, изменение параметров окружающей среды.

То есть, математическая модель охлаждения тушки птицы должна быть:

- основанной на общих закономерностях теплопроводности с минимальным использованием эмпирических коэффициентов, что позволит ее использовать для различных видов птицы, формы тушек;
- учитывать неоднородные условия теплоотдачи на поверхности тушки;
- экспериментально апробированной;
- достаточно простой, допускающей ее использование в системной модели всей линии поточного охлаждения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Большаков, А.С., Вегнер, К.П.** Замораживание мяса птицы в охлаждающих жидкостях [Текст]/Большаков А.С., Вегнер К.П. – М.: ЦНИИТЭИмясомолпром, 1969. – 25 с.
2. **Бражников, А.М.** Теория термической обработки мясopодуKтов [Текст ]/Бражников А.М. – М.: Агрoпрoмиздат, 1987. – 271 с.
3. **Головский, С.Е., Желиба, Ю.А., Чумак, И. Г.** Технология поточной холодильной обработки разделанного упакованного мяса [Текст] / Головский С.Е., Желиба Ю.А., Чумак И.Г. – Л.: ЛТИХП, 1991. – 117 с.
4. **Желиба, Ю.А., Соколов, В.А., Онищенко, В.П.** Холодильная обработка упакованных тушек птиц в воздушных поточных скороморозильных аппаратах [Текст]/Желиба Ю. А., Соколов В. А., Онищенко В. П. – Л.: ЛТИХП, 1991. – С. 117-118..
5. **Онищенко, В.П., Чумак, Н.И.** Системы охлаждения для холодильников мясокомбинатов [Текст] / Онищенко В.П., Чумак Н.И. // Холодильная техника. – 1992. – №11-12. – С. 10-12.

6. **Желиба, Ю.А.** Режимы и аппараты поточной холодильной обработки тушек кур [Текст]/Желиба Ю.А. // Диссерт. на соискание ученой степени к.т.н. – Одесса.: ОИИТЭ, 1993. – 183 с.
7. **Кондратьев, Г.М.** Регулярный тепловой режим [Текст]. – М.: Гостехиздат, 1954. – 408 с.
8. **Головкин, Н.А.** Аналитические исследования технологических процессов обработки мяса холодом [Текст]/ Головкин Н.А., Юшков П.П., Алямовский И.Г., Гейнц Р.Г., Логинов Л.И. – М.: ЦНИИТЭИмясомолпром, 1970. – 183с.
9. **Pflug, I.J., Blaisdell, J.L. and Kopelman, J. 1965.** Developing temperature time curves for objects that can be approximated by a sphere, infinite plate, or

infinite cylinder, *ASHRAE Transactions*, Vol. 71(1): pp. 238-248.

10. **Lacroix, C., and Castaigne, F. 1988.** Freezing time calculation for products with simple geometrical shapes, *Journal of Food Process Engineering*, Vol. 10(2): pp. 81-104.
11. **Smith, R.E., Nelson, G.L. and Henrickson, R.L. 1968.** Applications of geometry analysis of anomalous shapes to problems in transient heat transfer, *Transactions of the ASAE*, Vol. 11(2): pp. 296-302.
12. **Cleland, A.C., and R.L. Earle. 1982.** A simple method for prediction of heating and cooling rates in solids of various shapes, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 5(2): pp. 98-106.

**R.U. Turna, P.G. Gakal, E.P. Ganja**

National aerospace university «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv  
17, Chkalova str., Kharkiv, 61070, Ukraine

## REVIEW OF HEAT TRANSFER MATHEMATICAL MODELS FOR STREAM COOLING LINES OF POULTRY CARCASSES

*Mathematical models of heat transfer for stream cooling lines of poultry carcasses, as well as methods of cooling time prediction in such systems are presented in the paper. The main goal of paper is the review of existing models and methods to define advantages and disadvantages each of them. The review allows to choose more appropriating models and methods and requirements for them in frame of stream cooling lines designing on the base of system principles. The basic requirements are: the model should be universal and doesn't depend on form of carcasses; the models must take into account the non uniform heat transfer conditions on the product surface; the model should be experimentally approval and should be simplified enough to include it into the system model of stream cooling line.*

**Keywords:** Heat transfer in poultry carcasses – Cooling time – Cooling treatment – Rate of cooling.

### LIST OF REFERENCES

1. **Bilshakov, A.C., Vegner, K.P.** Zamoragivanie miasa ptitsu s ochlagdauchuch jidcostiach [Meat birds freezing in the cooling liquid (in Russian). – Moscow; TSNIITEImiasomolprom, 25 p.
2. **Bragnikov, A.M.** Teoria termicheskoi obrabotki miasoprodukтов [The theory of meat foods thermal processing (in Russian). – Moscow: Agropromizdat, 271 p.
3. **Golovski, S. E., Dzeliba, U. A., Tchumak, I. G.** Technologia potocznoi kholodilnoi obrabotki razdelannogo upakovanogo miasa [The technology of refrigerating streaming processing of partitioned and packed meat (in Russian). – Leningrad. – LTIKhp, pp. 117.
4. **Dzeliba, U. A., Sokolov, V.A., Onichenko, V.P.** Kholodilnay obrabotka upakovanuch tychek ptits v vozdushnuh potocznuh skoromorozylnih apparatah [Refrigerant processing of bird carcasses in the air streaming fast freezing apparatus (in Russian), Leningrad, LTIKhp, pp: 117-118.
5. **Onichenko, V.P., Tchumak, N.I.** Systemi ohlagdenia glia holodilnikov miasokombinatov [The cooling system for refrigerants of meat processing and packing factory (in Russian). *Holodilnya Technika*, Vol. 11-12: pp. 10-12.
6. **Dzeliba, U. A.,** Regimu i apparatus gnjchnoy holodilnoy obrabotki tychek kyr [The regimes and apparatus of hen carcasses refrigerant streaming pro-

cessing (in Russian). *Candidate thesis*, Odessa; OINTE: 183 p.

7. **Condratiev, G. M.** Regularny teplovoi regime [The regular thermal regime (in Russian). – Moscow; Gostehizdat, 408 p.
8. **Golovkin, N. A.** Analyticheskoe issledovanie tehnologiticheskikh prosessov obrabotki miasa holodom [The processes of meat processing by cool – analytical investigation. Moscow; TSNIITEImiasomolprom, 183 p.
9. **Pflug, I.J., Blaisdell, J.L. and Kopelman, J. 1965.** Developing temperature time curves for objects that can be approximated by a sphere, infinite plate, or infinite cylinder, *ASHRAE Transactions*, Vol. 71(1): pp. 238-248.
10. **Lacroix, C., and Castaigne, F. 1988.** Freezing time calculation for products with simple geometrical shapes, *Journal of Food Process Engineering*, Vol. 10(2): pp. 81-104.
11. **Smith, R.E., Nelson, G.L. and Henrickson, R.L. 1968.** Applications of geometry analysis of anomalous shapes to problems in transient heat transfer, *Transactions of the ASAE*, Vol. 11(2): pp. 296-302.
12. **Cleland, A.C., and R.L. Earle. 1982.** A simple method for prediction of heating and cooling rates in solids of various shapes, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 5(2): pp. 98-106.

**Здравствуйте, Алена,  
отвечаю на Ваши вопросы:**

**Русский язык,  
ФИО авторов:**

- 1) Турна Рустем Юсуфович
- 2) Гакал Павел Григорьевич
- 3) Ганжа Евгений Петрович

**Полное название организации - Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковско-го "Харьковский авиационный институт"**

**Адрес организации - ул. Чкалова, 17, г. Харьков, 61070 Украина**

**Українська мова,**

**ПІБ авторів:**

- 1) Турна Рустем Юсуфович
- 2) Гакал Павло Григорович
- 3) Ганжа Євген Петрович

**Повна назва організації - Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"**

**Адреса організації - вул. Чкалова, 17, м. Харків, 61070 Україна**

**English**

**Names:**

- 1) Turna Rustem Usufovich
- 2) Gakal Pavlo Grigorovich
- 3) Ganja Eugeniyy Petrovich

**Organisation - National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"**

**Address - 17, Chkalova str., Kharkiv, 61070, Ukraine**