

## ТЕПЛОПЕРЕНОС В ЩЕЛЕВЫХ КАНАЛАХ

Т.А. Enyutina, V.M. Tereshchenko, T.N. Patrusheva,  
V.S. Bondarev, S.G. Marchenkova

## HEAT TRANSFER IN ANNULAR CHANNELS

**Енютина Т.А.** – канд. техн. наук, доц. каф. инженерных систем зданий и сооружений Инженерно-строительного института Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: tamara.taiga@yandex.ru

**Терещенко В.М.** – инженер, зам. директора по IT-технологиям Института архитектуры и дизайна Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: kniffko@mail.ru

**Патрушева Т.Н.** – д-р техн. наук, проф. каф. экологии и безопасности жизнедеятельности Балтийского государственного технического университета «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург. E-mail: tamara.taiga@yandex.ru

**Бондарев В.С.** – канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. лаб. кристаллографии Института физики им. Л.В. Киренского СО РАН, г. Красноярск. E-mail: tamara.taiga@yandex.ru

**Марченкова С.Г.** – канд. техн. наук, доц. каф. технологии и организации общественного питания Торгово-экономического института Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: tamara.taiga@yandex.ru

**Enyutina T.A.** – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Engineering Systems of Buildings and Constructions, Construction Institute, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: tamara.taiga@yandex.ru

**Tereshchenko V.M.** – Engineer, Deputy Director on IT-Technologies, Institute of Architecture and Design, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: kniffko@mail.ru

**Patrusheva T.N.** – Dr. Techn. Sci., Prof., Chair of Ecology and Health and Safety, D.F. Ustinov Baltic State Technical University "Voenmeh", St. Petersburg. E-mail: tamara.taiga@yandex.ru

**Bondarev V.S.** – Cand. Phys.-Math. Sci., Senior Staff Scientist, Lab. of Crystallography, L.V. Kirensky Institute of Physics, SB RAS, Krasnoyarsk. E-mail: tamara.taiga@yandex.ru

**Marchenkova S.G.** – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Technology and Organization of Public Catering, Trade and Economic Institute, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: tamara.taiga@yandex.ru

С целью создания дополнительной защиты боевой одежды пожарных от перегрева была разработана конструкция специального вкладыша, содержащего элементы из материала с памятью формы. Устройство имеет щелевое пространство, заполняемое азотом, поступающим из специального баллончика. Для разработки вкладыша необходимо знать теплотехнические характеристики, в частности коэффициенты теплоотдачи для вычисления тепловых потоков. Цель исследования: проведение анализа системы дифференциальных уравнений применительно к данному конкретному случаю теплопереноса, получение расчетных формул для местного (локального) и среднего коэффициентов теплоотдачи  $\alpha$ , расчет тепловых потоков  $Q$  для двух инертных газов – азота и гелия. На основании полученных результатов были сделаны следующие выводы: 1) сформулированы упрощения для решения системы дифференциальных уравнений конвективного теплообмена; 2) получены уравнения для вычисления местного (локального) коэффициента теплоотдачи и среднего по высоте плоской стенки коэффициента теплоотдачи для случая свободного движения потока газа в ограниченном пространстве; 3) результаты анализа системы дифференциальных уравнений позволяют рассчитать тепловые потоки для щелевых пространств в условиях переноса теплоты, что достаточно часто встречается в технических устройствах, в частности, для уменьшения тепловых потерь в окружающую среду (создание тонких воздушных слоев в обмуровке паровых

котлов и промышленных печей, в тепловой изоляции трубопроводов отопления и горячего водоснабжения и так далее); 4) выполнены расчеты тепловых потоков для инертных газов – азота и гелия, результаты которых указывают, что для заполнения пространства защитного вкладыша следует использовать азот.

**Ключевые слова:** конвективный теплообмен, теплопроводность, коэффициент теплоотдачи, тепловой поток, плотность теплового потока.

In order to create additional protection of fighting clothes for firefighters against overheating the design of special insert containing elements from material with shape memory was developed. The construction has slot-hole space filled by the nitrogen arriving from special barrel. For the development of the insert it is necessary to know heat technical characteristics, in particular heat transfer coefficients. The research objective was carrying out the analysis of the system of differential equations in relation to this concrete case of heat transfer, receiving settlement formulas for local and average heat transfer coefficients, calculation of  $Q$  thermal streams for two inert gases, i.e. nitrogen and helium. On the basis of received results the following conclusions were drawn: 1) simplifications for the decision of the system of differential equations of convective heat exchange were formulated; 2) the equations for calculation of local coefficient of thermolysis and the average on height of a flat wall of coefficient of thermolysis for the case of free movement of the stream of gas in limited space were received; 3) the results of the analysis of the system of

differential equations allowed to calculate thermal streams for slot-hole spaces in the conditions of warmth transfer that rather often meets in technical devices, in particular, for the reduction of thermal losses in the environment (creation of thin air beds in a brickwork envelope of boilers and industrial furnaces, in thermal isolation of pipelines of heating and hot water supply and so on); 4) calculations of thermal streams for inert gases, i.e. nitrogen and helium were executed which results specified that for filling the space of protective insert it was necessary to use nitrogen.

**Keywords:** convective heat exchange; heat conductivity; heat transfer coefficient; heat flux, heat flux density.

**Введение.** С целью создания дополнительной защиты боевой одежды пожарных от перегрева была разработана конструкция специального вкладыша, содержащего элементы из материала с памятью формы [1]. Устройство образует щелевое пространство, заполняемое азотом, поступающим из специального баллончика. Для вкладыша необходимо знать теплотехнические характеристики, в частности, коэффициенты теплоотдачи для вычисления тепловых потоков. Постановка задачи, тщательная и корректная, приведена в [2], а аналитическое решение представлено в данной статье.

**Цель и задачи исследований:** проведение анализа системы дифференциальных уравнений применительно к данному конкретному случаю теплопереноса; получение расчетных формул для местного (локального) и среднего коэффициентов теплоотдачи  $\alpha$ ; расчет тепловых потоков  $Q$  для двух инертных газов – азота и гелия.

**Условия и методы исследований.** Между стенками вкладыша возможно как независимое развитие пограничных слоев, когда восходящий и нисходящий пограничные слои не взаимодействуют друг с другом, так и наложение слоев с образованием сложных циркуляционных контуров. В данной работе исследуется перенос теплоты для случая независимого формирования пограничных слоев.

В работе [2] представлены уравнения теплоотдачи, энергии, движения и сплошности (уравнение сохранения массы). К ним введены методические дополнения: 1) при

выводе уравнения энергии поясняется формула конвективной составляющей теплового потока в выражении первого закона термодинамики для потока жидкости или газа (известные литературные источники не содержат таких сведений, что затрудняет понимание сути уравнения энергии); 2) предлагается простой вывод уравнения сплошности.

Система уравнений:

$$\begin{aligned} & \text{– теплоотдачи } \alpha = -\frac{\lambda}{\Delta t} \left( \frac{\partial t}{\partial n} \right)_c; \\ & \text{– энергии } \frac{Dt}{dt} = \alpha \nabla^2 t; \\ & \text{– одномерного движения } \rho \frac{Dw_x}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + g_x \rho - \\ & \rho g_x \beta \Delta t + \mu \frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2}; \\ & \text{– сплошности } \frac{\partial(\rho w_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho w_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w_z)}{\partial z} = 0, \end{aligned}$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $\beta$  – коэффициент объемного расширения, 1/К;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости, Па·с;  $w$  – скорость потока, м<sup>2</sup>/с.

Для решения системы уравнений с целью получения формулы для коэффициента теплоотдачи необходимо знать условия однозначности, включающие в себя физические свойства потока жидкости или газа, геометрические характеристики теплоотдающей поверхности, начальные распределения температуры для нестационарных задач, а также граничные условия, определяющие теплообмен на границе стенка – поток.

В данном исследовании изучается теплоперенос в условиях стационарного режима между поверхностью нагретой вертикальной пластины и потоком газа, находящегося в движении за счет свободной конвекции.

Начало координат расположено у нижней кромки пластины. Ось  $x$  направлена вертикально, ось  $y$  – по нормали к поверхности. Вблизи стенки образуется пограничный слой, толщина которого возрастает по мере перемещения потока (рис. 1).

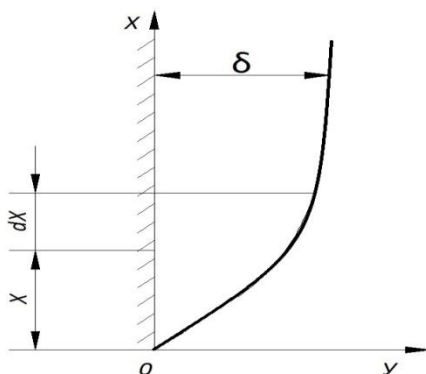


Рис. 1. Формирование пограничного слоя ( $\delta$  – текущая толщина пограничного слоя)

Вначале система уравнений подвергается анализу с учетом следующих упрощений [3]:

– физические свойства, кроме плотности, постоянны и не зависят от температуры (в том числе и коэффициент объемного расширения);

– при стационарном режиме  $\frac{Dt}{dt} = 0$  и  $\frac{Dw_x}{dt} = 0$ ;  
– перенос теплоты происходит в направлении оси  $y$ ;  
– движение одномерное, направлено по оси  $x$ , скорость потока  $w_x$ ;

– сила давления незначительна, и ею можно пренебречь, тогда градиент давления равен нулю:  $\frac{\partial p}{\partial x} = 0$ ;

– сила тяжести минимальна, поэтому ею можно пренебречь;

– температура нагретой поверхности практически одинакова и постоянна, поэтому принимается условие:  $t_c = \text{const}$ ;

– температура в сечении изменяется только в направлении  $y$ .

В данной статье рассматривается теплоотдача только с нагретой стороны вкладыша, имеющей температуру  $t_c$ .

Для упрощения вида формул в процессе решения используется избыточная температура  $\vartheta = t_c - t$ , где  $t$  – текущая температура пограничного слоя,  $t_c$  – температура стенки. На стенке  $\vartheta_c = t_c - t_{ж}$ , где  $t_{ж}$  – температура газа вдали от стенки. Уравнение теплоотдачи получит следующий вид:

$$\alpha = -\frac{\lambda}{\vartheta_c} \left( \frac{d\vartheta}{dy} \right)_{y=0}. \quad (1)$$

На основании многочисленных исследований теплоотдачи вертикальной пластины при свободном движении потока можно принять, что температура в пограничном слое изменяется по параболическому закону:

$$\vartheta = \vartheta_c \left( 1 - \frac{y}{\delta} \right)^2. \quad (2)$$

Уравнение (2) имеет граничные условия:

– на стенке при  $y = 0$   $\vartheta = \vartheta_c$ ;

– на внешней границе слоя при  $y = \delta$   $\vartheta = 0$ .

Формула (2) дифференцируется:

$$\frac{d\vartheta}{dy} = -\frac{2\vartheta_c}{\delta} + \frac{2\vartheta_c}{\delta^2} y = -\frac{2\vartheta_c}{\delta} \left( 1 - \frac{y}{\delta} \right),$$

откуда

$$\left( \frac{d\vartheta}{dy} \right)_{y=0} = -\frac{2\vartheta_c}{\delta}, \quad (3)$$

и уравнение теплоотдачи (1) получит следующий вид:

$$\alpha = \frac{2\lambda}{\delta}. \quad (4)$$

Таким образом, для определения коэффициента теплоотдачи требуется найти толщину пограничного слоя  $\delta$ . С этой целью используется уравнение движения, в котором с учетом принятых условий присутствуют только подъемная сила и сила трения:

$$0 = -\rho g_x \beta \vartheta + \mu \frac{\partial^2 \omega_x}{\partial y^2}, \quad (5)$$

где  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости, Па·с.

Плотность газа при малой разности температур представляется в виде слабой линейной зависимости от температуры:

$$\rho = \rho_{ж} (1 - \beta \vartheta),$$

где  $\rho_{ж}$  – плотность вдали от стенки при температуре потока  $t_{ж}$ .

Тогда для подъемной силы можно написать

$$-\rho g_x \beta \vartheta = -\rho_{ж} g_x \beta \vartheta + \rho_{ж} g_x \beta^2 \vartheta^2.$$

Здесь

$$\rho_{ж} g_x \beta^2 \vartheta^2 \rightarrow 0, \text{ так как } \beta \vartheta \ll 1 \text{ [4].}$$

Тогда можно записать

$$\mu \frac{d^2 \omega_x}{dy^2} = \rho_{ж} g_x \beta \vartheta. \quad (6)$$

Граничные условия:

– при  $y = 0$   $\omega_x = 0$ ;

– при  $y = \delta$   $\omega_x = 0$ .

В (6) подставляется  $\vartheta$  из (2):

$$\mu \frac{d^2 \omega_x}{dy^2} = -\rho_c g \beta \vartheta_c \left( 1 - \frac{y}{\delta} \right)^2 = -\frac{\rho_c g \beta \vartheta_c}{\mu} \left( 1 - \frac{y}{\delta} \right)^2. \quad (7)$$

Обозначая  $\frac{\rho_c g \beta \vartheta_c}{\mu} = A$ , уравнение (7) можно записать так:

$$\frac{d^2 \omega_x}{dy^2} = -A \left( 1 - 2 \frac{y}{\delta} + \frac{y^2}{\delta^2} \right).$$

Это уравнение дважды интегрируется:

$$\frac{d\omega_x}{dy} = -A \left( y - \frac{y^2}{\delta} + \frac{1}{3\delta^2} y^3 \right) + C_1;$$

$$\omega_x = -A \left( \frac{y^2}{2} - \frac{1}{3\delta} y + \frac{1}{12\delta^2} y^4 \right) + C_1 y + C_2. \quad (7a)$$

С учетом граничных условий определяются постоянные интегрирования:

$$C_1 = A \frac{\delta}{4}; C_2 = 0,$$

и уравнение (7a) получит вид

$$\omega_x = A \left( \frac{\delta}{4} y - \frac{1}{2} y^2 + \frac{1}{3\delta} y^3 - \frac{1}{12\delta^2} y^4 \right). \quad (8)$$

Формулу (8) можно исследовать на максимум, для чего достаточно использовать выражение, стоящее в скобках. Максимальное значение скорости в пограничном слое имеет место при значении  $y \sim 0,375\delta$ .

Распределение скорости по толщине пограничного слоя приведено на рисунке 2.

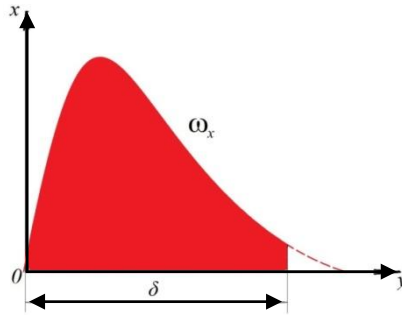


Рис. 2. Распределение скорости согласно уравнению (8)

В итоге получены формулы среднеинтегральных значений температуры и скорости в пограничном слое:

– температуры (с использованием (2))

$$\bar{\vartheta} = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} \vartheta dx = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} \vartheta_c \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2 dy = \frac{\vartheta_c}{3}; \quad (9)$$

– скорости

$$\bar{\omega}_x = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} \omega_x dy = \frac{\rho_0 g \beta \vartheta_c \delta^2}{40\mu}. \quad (10)$$

Для элементарного участка поверхности  $dF$  пластины высотой  $dx$  и протяженностью  $z$  можно сформировать условие теплового баланса: тепловой поток  $Q_k$ , передаваемый от поверхности к среде за счет конвективной теплоотдачи, равен тепловому потоку  $Q_p$ , воспринимаемому средой в изобарном процессе, т. е.

$$Q_k = Q_p$$

или

$$dQ_k = dQ_p. \quad (11)$$

Согласно закону Ньютона – Рихмана,

$$dQ_k = \alpha \vartheta_c dF = \alpha \vartheta_c dx z.$$

С учетом (4)

$$dQ_k = \frac{2\lambda}{\delta} \vartheta_c dx z. \quad (12)$$

В свою очередь,  $dQ_p$ , согласно первому закону термодинамики равно произведению изобарной теплоемкости на массовый расход потока и на изменение температуры потока, т. е.

$$dQ_p = c_p dm \bar{\vartheta}. \quad (13)$$

Массовый расход  $dm = d(\rho_0 \bar{\omega}_x \delta f)$ , где  $d(\delta f)$  – элементарная площадь сечения потока.

С учетом (10)

$$dm = d\left(\rho_0 \frac{\rho_0^2 g \beta \vartheta_c^2}{40\mu} f\right) = \frac{3\rho_0^2 g \beta \vartheta_c^2}{40\mu} f d\delta,$$

$$dm = d\left(\rho_0 \frac{\rho_0^2 g \beta \vartheta_c \delta^2}{40\mu} f\right) = \frac{3\rho_0^2 g \beta \vartheta_c}{40\mu} f \delta^2 d\delta,$$

тогда

$$dQ_p = c_p \frac{3\rho_0^2 g \beta \vartheta_c^2}{40\mu} \bar{\vartheta} f d\delta. \quad (14)$$

Выражение (12) и (14) подставляют в (11):

$$\frac{3\rho_0^2 g \beta \vartheta_c}{40\mu} \delta^3 d\delta = \frac{6\lambda}{c_p} dx.$$

После интегрирования

$$\frac{3\rho_0^2 g \beta \vartheta_c}{160\mu} \delta^4 d\delta = \frac{6\lambda}{c_p} x + C. \quad (15)$$

Постоянную  $C$  определяют из условия на нижней кромке пластины: при  $x = 0$   $\delta = 0$ , откуда следует что  $C = 0$ .

Уравнение (15) дает возможность определить толщину пограничного слоя:

$$\delta = 4,23 \sqrt[4]{\frac{\mu \lambda x}{c_p \beta \rho_0^2 \vartheta_c g}}. \quad (16)$$

Подставив (16) в (4), получим выражение для местных коэффициентов теплоотдачи:

$$\alpha = \frac{2\lambda}{\delta} = 0,473 \sqrt[4]{\frac{c_p \beta \rho_0^2 \vartheta_c \lambda^3 g}{\mu x}}. \quad (17)$$

Для приведения уравнения (17) к безразмерному виду обе части умножаются на  $\frac{x}{\lambda}$ , а подкоренное выражение на  $\frac{\mu}{\mu}$ :

$$\frac{\alpha x}{\lambda} = 0,473 \sqrt[4]{\frac{c_p \beta \rho_0^2 g \beta \vartheta_c \lambda^3}{\mu x} \frac{x^4}{\lambda^4} \frac{\mu}{\mu}},$$

$$\frac{\alpha x}{\lambda} = 0,473 \sqrt[4]{\frac{g \beta \vartheta_c x^3}{\mu^2 / \rho_0^2} \frac{\mu c_p}{\lambda}},$$

где  $\frac{\alpha x}{\lambda} = Nu$  – критерий Нуссельта;  $\frac{g \beta \vartheta_c x^3}{\mu^2 / \rho_0^2} = \frac{g x^3}{\nu^2} \beta \vartheta_c = Gr$  – критерий Грасгофа;  $\frac{\mu c_p}{\lambda} = Pr$  – критерий Прандтля.

Тогда критериальное уравнение для расчета местных коэффициентов теплоотдачи на вертикальной пластине при свободном движении потока получит вид

$$Nu = 0,473(Gr Pr)^{0,25}. \quad (18)$$

Средний по высоте пластины коэффициент теплоотдачи определяется по формуле

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{l} \int_0^l \alpha dx = \frac{1}{l} \int_0^l cx^{-0,25} dx = \frac{4}{3} cl^{-0,25} = \frac{4}{3} \alpha_{x=l},$$

и расчётное уравнение получит вид

$$Nu = 0,67(Gr Pr)^{0,25}. \quad (19)$$

Для заполнения щелевого пространства защитного вкладыша от перегрева следовало выбрать доступный и дешевый инертный газ [1], физические свойства которого обеспечивали бы наименьшие значения тепловых потоков Q. Были рассмотрены два газа – азот и гелий. Расчеты средних по высоте стенки коэффициентов теплоотдачи по уравнению (19) и тепловых потоков для этих газов с использованием [5] приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

**Расчет среднего коэффициента теплоотдачи для азота**

$\bar{t}_c, ^\circ\text{C}$	$t_{ж}, ^\circ\text{C}$	$Pr$	$Gr \cdot 10^{-5}$	$(Gr Pr) \cdot 10^{-5}$	$Nu$	$\alpha, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$	$Q, \text{Вт}$
70	60	0,696	4,19	2,916	82,32	5,91	9,46
60	50	0,698	4,68	3,36	84,69	6,03	9,65
50	40	0,699	5,24	3,3619	87,15	6,1	9,76

Таблица 2

**Расчет среднего коэффициента теплоотдачи для гелия**

$\bar{t}_c, ^\circ\text{C}$	$t_{ж}, ^\circ\text{C}$	$Pr$	$Gr \cdot 10^{-5}$	$(Gr Pr) \cdot 10^{-5}$	$Nu$	$\alpha, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$	$Q, \text{Вт}$
70	60	0,675	9,04839	6,1077	17,61	7,086	11,33
60	50	0,675	8,5249	5,7543	17,35	7,114	11,3
50	40	0,675	7,933	5,355	17,4	7,162	811,4

Анализ полученных данных позволил сделать вывод, что принятым требованиям удовлетворяет азот. Значения тепловых потоков Q не превышают 5 кВт/м<sup>2</sup>, что согласуется с требованиями к боевой одежде пожарных.

Таким образом, в статье приведено решение системы дифференциальных уравнений, получены уравнения для расчета местного (локального) и среднего по высоте потока коэффициентов теплоотдачи в условиях стационарного теплопереноса между поверхностью нагретой вертикальной пластины и потоком газа, находящегося в движении за счет свободной конвекции, а также выполнены расчеты тепловых потоков для инертных газов.

**Выводы**

1. Сформулированы упрощения для решения системы дифференциальных уравнений конвективного теплообмена.
2. Получены уравнения для вычисления местного (локального) коэффициента теплоотдачи и среднего по высоте плоской стенки коэффициента теплоотдачи для случая свободного движения потока газа в ограниченном пространстве.
3. Результаты анализа системы дифференциальных уравнений позволяют рассчитать тепловые потоки для щелевых пространств в условиях переноса теплоты, что достаточно часто встречается в технических устройствах, в частности, для уменьшения тепловых потерь в окружа-

ющую среду (создание тонких воздушных слоев в обмуровке паровых котлов и промышленных печей, тепловой изоляции трубопроводов отопления и горячего водоснабжения и т. д.).

4. Выполнены расчеты тепловых потоков для инертных газов – азота и гелия, результаты которых позволили сделать вывод, что для заполнения пространства защитного вкладыша следует использовать азот.

**Литература**

1. Патент на изобретение № 2553005 от 24.07.2014. Защитный вкладыш от перегрева / Енютина Т.А., Афанасьев В.Е., Терещенко В.М. [и др.]. – Оpubл. 10.06.2015.
2. Емельянов Р.Т., Турышева Е.С., Пылаев М.А. и др. Исследование процесса теплопереноса в ограниченном пространстве // Вестн. КрасГЯУ. – 2015. – № 6. – С. 73–78.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высш. шк., 1967. – 487 с.
4. Новиков И.И., Воскресенский К.Д. Основы ядерной энергетики: прикладная термодинамика и теплопередача. – М.: Гос. изд-во лит. в области атомной науки и техники, 1961. – 548 с.
5. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники: справочник. – М.: Атомиздат, 1968. – 484 с.

Literatura

1. Patent na izobretenie № 2553005 ot 24.07.2014. Zashhitnyj vkladish ot peregreva / Enjutina T.A., Afanas'ev V.E., Tereshhenko V.M. [i dr.]. – Opubl. 10.06.2015.
2. Emel'janov R.T., Turysheva E.S., Pylaev M.A. i dr. Isledovanie processa teploperenosa v ogranichenom prostranstve // Vestn. KrasGAU. – 2015. – № 6. – S. 73–78.
3. Lykov A.V. Teorija teploprovodnosti. – M.: Vyssh. shk., 1967. – 487 s.
4. Novikov I.I., Voskresenskij K.D. Osnovy jadernoj jenergetiki: prikladnaja termodinamika i teploperedacha. – M.: Gos. izd-vo lit. v oblasti atomnoj nauki i tehniki, 1961. – 548 s.
5. Chirkin V.S. Teplofizicheskie svojstva materialov jadernoj tehniki: spravochnik. – M.: Atomizdat, 1968. – 484 s.

УДК 621.6.04

А.В. Черняков, А.П. Шевченко,  
В.С. Коваль, М.А. Бегунов, А.В. Евченко

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЬЦЕВОЙ ПОДАЧИ ЗЕРНА НА КОНИЧЕСКУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

А.В. Chernyakov, А.П. Shevchenko,  
V.S. Koval, M.A. Begunov, A.V. Evchenko

THE RESEARCH OF RING SUPPLY OF GRAIN ON CONIC SURFACE

**Черняков А.В.** – канд. техн. наук, доц. каф. агрономии и агроинженерии Тарского филиала Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина, Омская обл., г. Тара. E-mail: chernyakovavforester@mail.ru

**Шевченко А.П.** – канд. техн. наук, доц., преп. каф. агрономии и агроинженерии Тарского филиала Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина, Омская обл., г. Тара. E-mail: ap.shevchenko@omgau.org

**Коваль В.С.** – канд. техн. наук, доц. каф. агрономии и агроинженерии Тарского филиала Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина, Омская обл., г. Тара. E-mail: koval\_v.s@mail.ru

**Бегунов М.А.** – канд. техн. наук, доц. каф. агрономии и агроинженерии Тарского филиала Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина, Омская обл., г. Тара. E-mail: maksim-begunov@mail.ru

**Евченко А.В.** – канд. техн. наук, доц. каф. агрономии и агроинженерии Тарского филиала Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина, Омская обл., г. Тара. E-mail: evchenko67@mail.ru

**Chernyakov A.V.** – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Agronomy and Agroengineering, Tarsky Branch, P.A. Stolypin Omsk State Agrarian University, Omsk Region. Tara. E-mail: chernyakovavforester@mail.ru

**Shevchenko A.P.** – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Asst. Chair of Agronomy and Agroengineering, Tarsky Branch, P.A. Stolypin Omsk State Agrarian University, Omsk Region. Tara. E-mail: ap.shevchenko@omgau.org

**Koval V.S.** – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Agronomy and Agroengineering, Tarsky Branch, P.A. Stolypin Omsk State Agrarian University, Omsk Region. Tara. E-mail: koval\_v.s@mail.ru

**Begunov M.A.** – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Agronomy and Agroengineering, Tarsky Branch, P.A. Stolypin Omsk State Agrarian University, Omsk Region. Tara. E-mail: maksim-begunov@mail.ru

**Evchenko A.V.** – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Agronomy and Agroengineering, Tarsky Branch, P.A. Stolypin Omsk State Agrarian University, Omsk Region. Tara. E-mail: evchenko67@mail.ru

*Совершенствование зерноочистительных машин, основанных по принципу воздушной очистки, происходит по одному из направлений – созданию закрученного воздушного потока. Конический сепаратор с закрученным воздушным потоком делит зерновой материал на две фракции: легкую и тяжелую. От способа подачи исходного зернового материала на конус сепаратора во многом зависит качество его разделения на фракции. В исходном варианте подача зерна из бункера, расположенного вверху, осуществлялась потоком на конус рассекателя, а оттуда – на рабочий конус сепаратора. Поэтому перекося бункера относительно вертикали влечет за собой неравномерность кольцевой подачи зерна, и, как следствие, неудовлетворительное каче-*

*ство очистки зерна. Предлагаемый авторами статьи способ модернизации рассекателя позволит снизить неравномерность кольцевой подачи зерна, что, в свою очередь, повысит эффективность работы сепаратора. Для экспериментальных исследований сконструирован и изготовлен рассекатель, имеющий делители, находящиеся на конусе. Они способствуют равномерному разделению зернового материала уже на начальных стадиях его выхода из бункера. При исследовании работы питатель-дозатора выяснилось, что на подачах зернового материала в пределах 20–60 кг/ч качество его работы считается удовлетворительным, при подачах 80 кг/ч и более качество работы резко падает. По результатам опытов по очистке зерна, проведен-*