

ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

УДК 536.24

В. Б. Кунтыш, А. Б. Сухоцкий

Белорусский государственный технологический университет

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛОТДАЧИ ПЛАСТИЧЕСКИМ РАСЧЛЕНЕНИЕМ НАКАТНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ РЕБЕР БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ В ПОТОКЕ ВОЗДУХА

Приведены результаты экспериментального исследования средней приведенной теплоотдачи и аэродинамического сопротивления шестирядного шахматного пучка из труб с накатными спиральными рассеченными на короткие пластинки алюминиевыми ребрами. Трубный пучок снаружи обтекается вынужденным перпендикулярным потоком воздуха. Ребра накатаны на стальной несущей трубе диаметром 25 мм, наружный диаметр ребра – 56 мм, коэффициент оребрения – 15,23. Подобные трубы применяются в калориферах лесосушильных камер, в воздухонагревателях сушильной части бумаго- и картоноделательных машин, в аппаратах воздушного охлаждения химической, нефтехимической промышленности. Ребристые трубы расположены в решетках по вершинам равностороннего треугольника с шагом 58 мм.

Для интенсификации теплоотдачи применен способ разрушения пограничного слоя воздуха на ребрах с созданием вихревого режима его движения в межреберных каналах. Реализация способа осуществлена радиальной рассечкой каждого ребра на высоту 4,5 мм дисковой фрезой с углом заточки зубьев 30°. В результате образовались короткие пластинки дугообразной формы, равномерно расположенные по окружности ребра.

Средняя теплоотдача пучка из труб с интенсифицированными ребрами увеличилась по сравнению с пучком со сплошными ребрами на 13% при опережающем росте аэродинамического сопротивления на 28%. Опыты проведены в интервале числа Рейнольдса от 4500 до 25 000.

Ключевые слова: биметаллическая труба, алюминиевое спиральное ребро, нагрев воздуха, теплоотдача, аэродинамическое сопротивление, шахматный пучок.

V. B. Kuntysh, A. B. Sukhotskiy

Belarusian State Technological University

INTENSIFICATION OF THE CONVECTIVE HEAT EXCHANGE BY THE PLASTIC DISMEMBERING OF ROLLING ALUMINIUM RIBS OF BIMETALLIC TUBES IN AIR STREAM

The results of an experimental research of the average resulted convective heat exchange and aerodynamic resistance of a six-row chess bunch of tubes with rolling spiral divided into short plates aluminium ribs are provided. The tube bunch is outside flowed round by the forced perpendicular stream of air. Ribs are rolled on a steel bearing pipe of 25 mm in diameter, the outside diameter of a rib is 56 mm, ribed factor is 15.23. Similar tubes are applied in hot-air heaters wood-dryer chambers, in hot-blast stoves dryer parts paper and cardboard machines, in apparatuses of air cooling in chemical, petrochemical industris. Ribbed tubes are in lattices on apexes of an equilateral triangle with step of 58 mm.

The way of destruction of a boundary layer of air is applied to ribs with creation of an eddy flow of its traffic in intercostal channelsa to intensify convective heat exchange . The implementation of the way is carried out by the radial cut of each rib at the hight on altitude of 4.5 mm by a side milling cutter with an angle of rounding-off shoulder of teeths of 30°. As a result the short plates of the bow-shaped form which has been in regular intervals had on a round of a rib were formed.

The average convective heat exchange of a bunch of pipes with the intensified ribs increased in comparison with a bunch with continuous ribs by 13% at the leading growth of an aerodynamic resistance on 28%. Experiences are spent in the interval Reynolds number from 4,500 to 25,000.

Keywords: bimetallic tube, aluminium spiral rib, air heating, convective heat exchange, aerodynamic resistance, chess bunch.

Введение. Биметаллические ребристые трубы (БРТ) с накатными алюминиевыми ребрами, обтекаемые снаружи поперечным потоком воздуха, применяются в калориферах лесосушильных камер, сушильной части бумаго- и картоноделательных машин, в устройствах для сушки обоев и иных теплотехнологических установках. Отдельная область применения БРТ – это аппараты воздушного охлаждения (АВО) технологических продуктов химической, нефтехимической, газовой промышленности, на выпуск и ремонт которых расходуется свыше полутора миллиона метров таких труб [1] ежегодно.

Основные достоинства БРТ – технологичность в серийном изготовлении, коррозионная стойкость алюминия к воздействию внешней среды, возможность получения ребра в широком диапазоне изменения геометрических параметров. Общим недостатком теплообменников, трубные пучки которых состоят из БРТ, является низкий коэффициент теплоотдачи $\alpha \approx 30\text{--}90 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ по воздушной стороне, что предопределяет их значительные габариты и металлоемкость. Основным способом улучшения массогабаритных характеристик является интенсификация конвективного теплообмена, обеспечивающая повышение тепловой эффективности БРТ, выражающееся в росте коэффициента теплоотдачи при неизменных затратах мощности на прокачку потока воздуха через трубный пучок.

Для интенсификации теплоотдачи поперечнообтекаемых пучков из БРТ наиболее применение получил метод разрушения и обновления пограничного слоя воздуха на боковой поверхности ребра, его турбулизации и непрерывного вихреобразования в межреберных каналах [2]. Для практической реализации метода применено пластическое расчленение ребра на всю высоту [2–5] по окружности с образованием отдельных коротких пластинок (лепестков) в форме знака «интеграл». Концы каждого лепестка отогнуты в противоположные стороны. При такой рассечке не происходит удаление металла ребра, как это имело место в [6]. Линия расчленения ребер располагалась как вдоль продольной оси трубы и составляла с плоскостью поперечных ребер угол $\gamma = 90^\circ$, так и винтообразно с углом $\gamma < 90^\circ$. Отогнутые относительно боковой плоскости ребра концы лепестков играют роль турбулизаторов потока воздуха с образованием отрывной области сзади них. На расчлененных ребрах сплошность пограничного слоя нарушается, он вновь формируется и обновляется, а также турбулируется. В межреберных полостях наблюдается непрерывное вихреобразование. Количественные эффекты интенсификации теплоотдачи и изменения аэродинамического сопротивления

пучков с расчлененными (разрезными) ребрами различны и зависят от геометрических параметров пластинок, пространственной ориентации пластинок [7] и ее отогнутых концов [8] относительно межреберной полости, формы пластинок. Но общим для всех исследованных на первом этапе пучков из БРТ явилось расчленение на полную высоту каждого сплошного ребра с образованием отдельных элементов.

Анализ течения потока в межреберных каналах выявил, что при полном расчленении ребра не достигается энергетически эффективная интенсификация теплоотдачи. В трубах происходит полное загромождение межреберных полостей отогнутыми торцами пластинок, при этом оно возрастает к основанию межреберных каналов, в которых скорость потока заметно ниже по сравнению со скоростью у вершин ребер. Перекрытые межреберные полости ограничивают движение вихрей и уменьшают воздействие их на пристеночную структуру потока. Перекрытые межреберные полости труб также являются источниками повышенной засоряемости частицами пыли, находящейся в воздухе, и уменьшают свободное сечение для движения, что вызывает дополнительный рост аэродинамического сопротивления.

Существенным технологическим недостатком явилась невозможность расчленения ребер на высоту более 5 мм [9] в серийном промышленном производстве. Исследование [10] показало, что аналогичный эффект достигается мелкой насечкой ребра на высоту $h_p \approx 2\text{--}4$ мм по винтовой линии с углом $\gamma = 30\text{--}45^\circ$. Результаты работы [8, 11] подтвердили достигнутые эффекты интенсификации. Рассечка (насечка) ребер только периферийной части способствует созданию высокотурбулизованного [12] потока воздуха в межреберных полостях труб при минимальном их загромождении. Применение периферийной насечки ребер устранило основное препятствие по внедрению этих труб в промышленное аппаратостроение, так как был разработан инструмент [13] для выполнения этой операции. Он представлял цилиндрическую кольцевую фрезу с зубьями-резцами [11], устанавливаемую на оси (валке) станков ХПРТ [14], несущей накатные диски. Операция насечки совмещена с операцией накатки ребер, не требует дополнительных затрат времени, поэтому производительность станков остается неизменной.

С учетом изложенного на Таллинском машиностроительном заводе была разработана конструкция БРТ (рис. 1) с новыми расчлененными ребрами, в которых устранена явно выраженная отогнутость концов лепестков как нежелательный элемент. При этом лепесткам при насечки ребер придается слабоизогнутая форма.

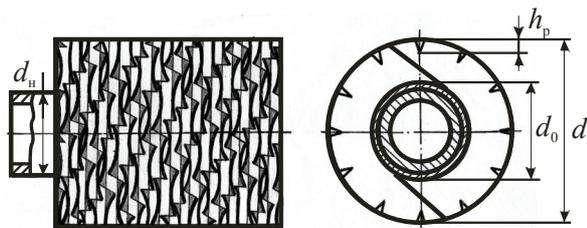


Рис. 1. Теплообменная труба с расчлененными спиральными ребрами

Цель работы – опытное исследование теплоаэродинамических характеристик труб с новой формой расчлененных ребер для оценки энергетической эффективности возникшего интенсифицированного конвективного теплообмена.

Основная часть. В качестве объекта исследования были выбраны стандартные БРТ АВО, ребра которых подвергнуты насечке (рис. 1) машинным способом на стане ХПРТ. Геометрические параметры ребер и трубы, мм: наружный диаметр ребра $d = 56$; высота, шаг и средняя толщина ребра $h = 14$, $s = 3$, $\Delta = 0,75$; диаметр трубы у основания $d_0 = d - 2h = 28$; высота расщепки $h_p = 4,5$; количество расщепок на окружности ребра $z_p = 12$; угол заточки зубьев-резцов фрезой $\beta = 30^\circ$; угол наклона плоскости расщепки к плоскости ребра $\gamma = 45^\circ$. Ребра накатаны на несущей гладкой стальной трубе с наружным диаметром $d_n = 25$ мм и толщиной стенки 2 мм. Коэффициент оребрения трубы $\phi = 15,23$. Значение ϕ вычислены по параметрам гладкого сплошного ребра.

Из труб собирался шахматный шестирядный пучок, моделирующий теплообменные секции АВО. Высота оребренной части трубы 400 мм. В решетках пучка трубы располагались в вершинах равностороннего треугольника с шагами: поперечным $S_1 = 58$ мм; продольным $S_2 = 50,2$ мм и среднедиагональным $S_2' = 58$ мм. Выбранные шаги соответствовали промышленным значениям для изучаемого типоразмера труб. Экспериментальное исследование пучка проводилось в аэродинамической трубе разомкнутого типа 400×400 мм [15] в перпендикулярном потоке воздуха. Обработка результатов наблюдений является общепринятой и изложена в [14].

Теплоотдача исследовалась локальным тепловым моделированием посредством парожидкостного калориметра кипящего типа. Труба-калориметр размещалась в середине первого, третьего и пятого поперечного ряда пучка. Опытные данные наблюдений обрабатывались в числах подобия Нуссельта (Nu_i), Рейнольдса (Re), Эйлера (Eu), значения которых вычислялись как $Nu_i = \alpha_i d_0 / \lambda$, $Re = \omega d_0 / \nu$, $Eu = \Delta p / (\rho \omega^2)$, где α_i – приведенный коэффициент теплоотдачи,

отнесенный к полной теплоотдающей площади поверхности оребрения калориметра i -го ряда, Вт/($m^2 \cdot K$); λ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/($m \cdot K$); ω – скорость воздуха в сжатом поперечном сечении пучка, м/с; ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха, m^2/s ; Δp – перепад статического давления воздуха в пучке, Па; ρ – плотность воздуха, kg/m^3 . Физические параметры воздуха λ , ν , ρ определялись по его средней температуре в пучке.

Результаты опытов экспериментальными точками приведены на рис. 2. В верхней части – теплоотдача i -х рядов, в нижней части – аэродинамическое сопротивление шести рядов пучка. Здесь же штрихпунктирными линиями нанесены соответствующие характеристики этого пучка до расщепки ребер [15].

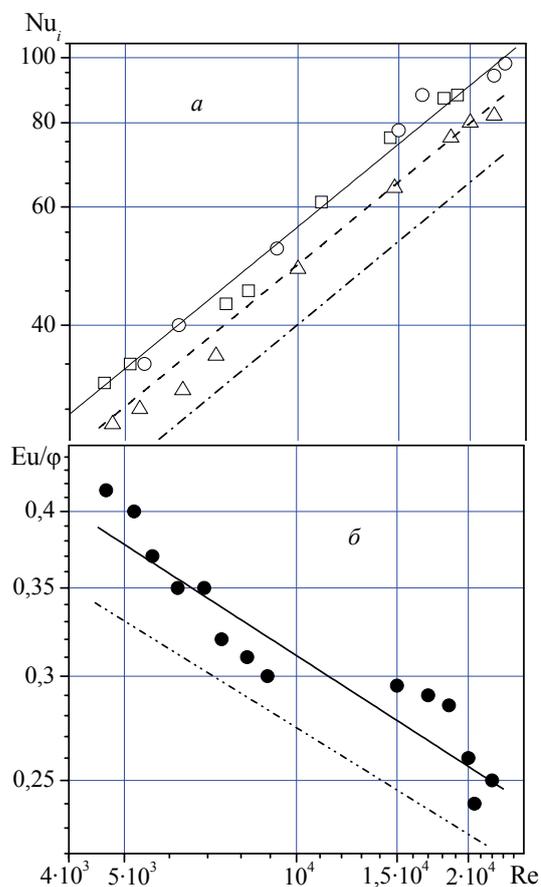


Рис. 2. Теплоотдача (а) и сопротивление (б) шестирядного пучка с расчлененными ребрами:

- Δ , \square , \circ , – опытные данные для первого, третьего и пятого рядов соответственно;
- · —, — — — первый, третий и пятый ряд до расщепки ребер; ● – опытные данные; — · · — до расщепки ребер

Теплоотдача i -х рядов и средняя приведенная теплоотдача пучка обобщаются уравнениями подобия:

$$Nu_i = C_i Re^{0,7}, \quad (1)$$

$$Nu = C Re^{0,7}, \quad (2)$$

где $Nu = \alpha d_0 / \lambda$; α – средний коэффициент теплоотдачи, полученный арифметическим усреднением значений α_i для $Re = const$, при этом принимали теплоотдачу второго ряда равной теплоотдаче третьего и последующих рядов [13]. Постоянная C_i для первого ряда равна 0,078, для остальных $C_i = 0,089$. Для средней теплоотдачи постоянная $C = 0,087$.

Уравнение для аэродинамического сопротивления пучка имеет вид

$$Eu = 62,4 Re^{-0,28}. \quad (3)$$

Сплошные линии на рис. 2 соответствуют уравнениям (1), (3), которые применимы в диапазоне $Re = (4,5-25) \cdot 10^3$.

Рассечка ребер привела к возрастанию коэффициента теплоотдачи каждого ряда пучка. Однако абсолютные значения прироста теплоотдачи по отношению к сплошным ребрам [15] для различных рядов отличаются. Интенсификация теплоотдачи первого ряда достигла значения в 22% и является наибольшей. Теплоотдача остальных рядов увеличилась лишь на 13%, что объясняется повысившейся степенью межтрубной турбулизации воздуха в направлении его движения. Средняя теплоотдача пучка увеличилась на 13%, а аэродинамическое сопротивление возросло на 28% и, как видно, процесс протекал со значительным опережением величины интенсификации теплоотдачи. Достигнутая интенсификация теплоотдачи от реализованной рассечки меньше в 2 раза по сравнению с периферийной насечкой (рассечкой) ребер на пластинки с отогнутыми концами [8] при приблизительно одинаковом увеличении сопротивления. Следовательно, короткие дугообразные лепестки без отгибки их концов в тепловом отношении менее эффективны. Анализ конструкции лепестков и их взаимного расположения показывает на возникновение замкнутых полостей между ними, в которых не происходит обновления потока с основной массой воздуха, движущейся в межтрубном пространстве.

Тангенс угла наклона кривых $Nu_i = f(Re)$ труб с рассеченными ребрами не изменился в сравнении с гладкими сплошными ребрами [14]. Следовательно, не произошло существенного изменения структуры пограничного слоя на ребре, несмотря на его разрушение расчленением ребра. Возникшие вихри воздуха в замкнутой межреберной полости были разрушены и не создали вихревой режим движения,

являющийся неотъемлемой частью повышения эффективности теплоотдачи при поперечном обтекании оребренных поверхностей [2]. Возможно, повлияло на этот процесс большая в 2 раза длина дуги лепестка по сравнению с дугой лепестка при периферийной насечке, так как при $d = const$ в нашем случае количество рассечек уменьшено до 12 против 24 для периферийной насечки. Для компенсации влияния этого фактора глубина рассечки ребер труб исследованного пучка увеличена до 4,5 мм против 2 мм у периферийно рассеченных ребер, т. е. в 2,25 раза. Из этого следует, что наибольший вклад в результирующий эффект интенсификации вносит длина дуги лепестка в сравнении с высотой рассечки и отогнутость концов ребер, что является неперемным условием доминирующего влияния на процесс возникновения вихревого режима движения потока воздуха.

На рис. 3 приведены результаты сравнения тепловой эффективности пучка труб с рассеченными ребрами с идентичным пучком до применения операции рассечки, т. е. труб с гладкими ребрами.

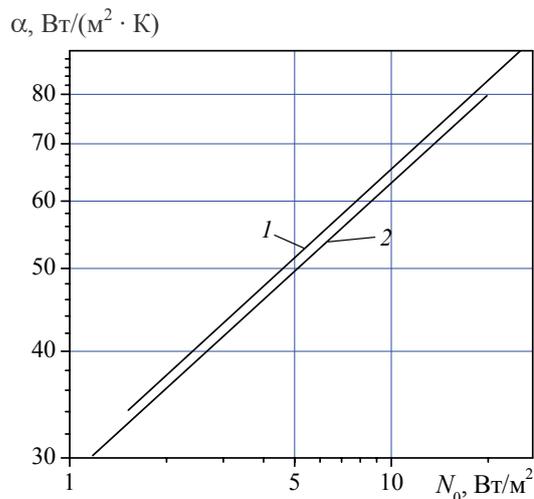


Рис. 3. Сравнение тепловой эффективности шахматных пучков:

1 – рассеченные ребра; 2 – сплошные ребра

Количественно тепловая эффективность интенсификации теплоотдачи оценивается ее коэффициентом, равным

$$\varepsilon = \alpha_i / \alpha_k, \quad (4)$$

где α_i , α_k – соответственно коэффициенты теплоотдачи i -го и k -го пучка, вычисленные при одинаковых условиях. В этом исследовании в качестве k -го пучка (базового), не подвергнутого интенсификации, принят пучок из труб с гладкими ребрами. Опытный пучок являлся i -м.

Удельную затрату мощности, Вт/м², при движении воздуха через пучок вычисляли как

$$N_0 = 0,318\psi' \frac{Eu_0}{\varphi} \rho \omega^3, \quad (5)$$

где $\psi' = \left(\frac{S_1}{d} - 1 \right) + \frac{2h}{d_0} \left(\frac{S_1}{d} - \frac{\Delta}{s} \right)$ – коэффициент,

учитывающий геометрию оребрения и компоновку пучка; $Eu_0 = Eu/z$ – число Эйлера на один поперечный ряд пучка; φ – коэффициент оребрения трубы; z – число поперечных рядов труб в пучке.

Для круглоребристых труб и ребер коэффициент оребрения

$$\varphi = 1 + \frac{2h}{s d_0} (d_0 + h + \Delta). \quad (6)$$

Расчеты для сравнения тепловой эффективности выполнены для одинаковой температуры воздуха, например $t = 50^\circ\text{C}$.

При одинаковой удельной затрате мощности $N_0 = \text{idem}$ на прокачку воздуха эффективность теплоотдачи увеличилась лишь на 6%, что значительно уступает ранее достигнутым эффектам [8, 11] на трубах, у которых концы пластинок развернуты и отогнуты по отношению к боковой поверхности круглого ребра.

Заключение. Для достижения высокой тепловой эффективности интенсификации теплоотдачи деформацией круглых ребер на короткие лепестки в поперечном потоке воздуха необходимо в межреберных полостях труб создавать вихревой режим течения формированием определенной формы концов лепестка.

Литература

1. Кунтыш В. Б., Сухоцкий А. Б., Самородов А. В. Перевод эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения в энергосберегающий режим. Технические решения с расчетом экономического эффекта // Химическая техника. 2014. № 6. С. 20–25.
2. Антуфьев В. М. Эффективность различных форм конвективных поверхностей нагрева. Л.: Энергия, 1966. 184 с.
3. Кунтыш В. Б., Иохведов Ф. М. Влияние относительной глубины межреберной полости на тепловую эффективность, теплообмен ребристых пучков труб и интенсификация теплоотдачи в них // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1970. № 4. С. 127–136.
4. Кунтыш В. Б., Иохведов Ф. М., Таранян И. Г. Интенсификация теплоотдачи в пучках оребренных труб // Теорет. основы хим. технологии. 1973. Т. VII, вып. 4. С. 616–621.
5. Таранян И. Г., Иохведов Ф. М., Кунтыш В. Б. Исследование влияния параметров оребрения на теплоотдачу и сопротивление шахматных пучков труб с поперечными гладкими и интегральными ребрами // Теплофизика высоких температур. 1972. Т. X, № 5. С. 1049–1054.
6. Терех А. М., Шаповал О. Е., Письменный Е. Н. Среднеповерхностный теплообмен поперечно-омываемых коридорных пучков труб с разрезным спирально-ленточным оребрением // Пром. теплотехника. 2001. Т. 23, № 1–2. С. 35–41.
7. Письменный Е. Н. Теплообмен и аэродинамика пакетов поперечно-оребранных труб. Киев: Альтерпресс, 2004. 244 с.
8. Кунтыш В. Б., Пиир А. Э. Интенсификация теплоотдачи трубных пучков аппаратов воздушного охлаждения насечкой кромок спиральных накатных ребер // Изв. вузов. Энергетика. 1991. № 8. С. 111–115.
9. Кунтыш В. Б., Иохведов Ф. М., Таранян И. Г., Мирмов Н. И. Приспособление для изготовления теплообменных труб с поперечными разрезными ребрами // Технология судостроения. 1974. № 10. С. 43–45.
10. Кокорев Б. И., Вишневский В. Г. Семенов С. М., Плаксин Ю. В. Результаты исследования теплообменных труб с разрезными поперечными ребрами // Теплоэнергетика. 1978. № 2. С. 35–37.
11. Кунтыш В. Б. Интенсификация теплоотдачи шахматных пучков труб периферийной насечкой спиральных ребер // Изв. вузов. Энергетика. 1993. № 5–6. С. 111–117.
12. Письменный Е. Н., Шаповал О. Е., Терех А. М. Особенности течения на поверхности разрезного ребра // Пром. теплотехника. 2001. Т. 23, № 6–7. С. 64–67.
13. А. с. 1606213 СССР. Инструмент для обработки поперечных ребер теплообменных труб / Г. И. Шереш, К. А. Варма, Л. Э. Вийк // Бюл. изобр. 11990. № 42. С. 52.
14. Кунтыш В. Б., Пиир А. Э., Егоров А. И., Шмеркович В. М. Экспериментальное исследование теплоотдачи и сопротивления пучков АВО из биметаллических труб // Изв. вузов. Энергетика. 1977. № 12. С. 89–93.
15. Кунтыш В. Б., Кузнецов Н. М. Тепловой и аэродинамический расчеты оребренных теплообменников воздушного охлаждения. СПб.: Энергоатомиздат, 1992. 280 с.

16. Легкий В. М., Тупицын Ю. К., Письменный Е. Н. Влияние шаговых соотношений на теплоотдачу и аэродинамическое сопротивление шахматных поперечно омываемых пучков труб с внешним спирально-ленточным оребрением // Теплообмен в энергетических установках. Киев: Наук. думка. 1978. С. 78–82.

References

1. Kuntyshev V. B., Sukhotski A. B., Samorodov A. V. Transfer of maintenance of air cool apparatuses in power saving up regime. Designs with economic benefit calculation. *Himicheskaja tehnika* [Chemical technics], 2014, no. 6, pp. 20–25 (In Russian).

2. Antufyev V. M. *Efektivnost' razlichnyh form konvektivnyh poverhnostei nagreva* [Efficiency of various forms of the convective heating surfaces]. Leningrad, Energiya Publ., 1966. 184 p.

3. Kuntyshev V. B., Iohvedov F. M. Agency of relative depth of an intercostal cavity on thermal efficiency, heat exchange of ridge tube bunches and convective heat exchange intensification in them. *Izvestia Akademii nauk SSSR. Energetika i transport* [News of Academy of Sciences of the USSR. Power engineering and transport], 1970, no. 4, pp. 127–136 (In Russian).

4. Kuntyshev V. B., Iohvedov F. M., Taranian I. G. Convective heat exchange intensification in bunches ribbed tubes. *Teoreticheskie osnovy himicheskoi tehnologii* [Theoretical bases of chemical engineering], 1973. vol. 7, ex. 4, pp. 616–621 (In Russian).

5. Taranian I. G., Iohvedov F. M., Kuntyshev V. B. Research of agency of parametres ribbing on a convective heat exchange and resistance of chess tube bunches with the transverse smooth and integrated ribs. *Teplofizika vysokih temperatur* [Thermal physics of high temperatures], 1972, vol. 10, no. 5, pp. 1049–1054 (In Russian).

6. Tereh A. M., Shapoval O. E., Pis'mennyy E. N. Average superficial heat exchange transverse-washed alleyway tube bunches with the split spirally-tape ribbed. *Promyshlennaja teplotehnika* [Industrial heat engineering], 2001, vol. 23, no. 1–2, pp. 35–41 (In Russian).

7. Pis'menyi E. N. *Teploobmen i aerodinamika paketa poperechno-orebrennyh trub* [Heat exchange and aerodynamics of packages is transverse-ribbed tubes]. Kiev, Al'terpress Publ., 2004. 244 p.

8. Kuntyshev V. B., Piir A. E. Intensification of a convective heat exchange of trumpet bunches of apparatuses of an air cooling a notch of edges spiral rolling ribs. *Izvestia vuzov. Energetika* [News of high schools. Power engineering], 1991, no. 8, pp. 111–115 (In Russian).

9. Kuntyshev V. B., Iohvedov F. M., Taranian I. G., Mirmov N. I. The adaptation for manufacturing of heat exchange tubes with the transverse split ribs. *Tehnologia sudostroenia* [Shipbuilding production engineering], 1974, no. 10, pp. 43–45 (In Russian).

10. Kokorev B. I., Vishnevski V.G., Semenov S. M., Plaksin U. V. Results of research heat exchange tubes with the split transverse ribs. *Teploenergetika* [Heat power engineering], 1978, no. 2, pp. 35–37 (In Russian).

11. Kuntyshev V. B. Intensification of a convective heat exchange of chess tube bunches a peripheral notch of spiral ribs. *Izvestia vuzov. Energetika* [News of high schools. Power engineering], 1993, no. 5–6, pp. 111–117 (In Russian).

12. Pis'menyi E. N., Shapoval O. E., Terekh A. M. Features of a current on a surface of the split rib. *Promyshlennaja teplotehnika* [Industrial heat engineering], 2001, vol. 23, no. 6–7, pp. 64–67 (In Russian).

13. G. I. Sheresh, K. A. Varma, L. E. Viik. The tool for machining of the transverse ribs heat exchange tubes: certificate of authorship 1606213 USSR. *Byulleten' izobreteniy 11990* [Bulletin of the originator 11990], no. 42, p. 52 (In Russian).

14. Kuntyshev V. B., Piir A. E., Egorov A. I., Shmerkovich V. M. Experimental research of a convective heat exchange and resistance of bunches AVO from bimetallic tubes. *Izvestia vuzov. Energetika* [News of high schools. Power engineering], 1977, no. 12, pp. 89–93 (In Russian).

15. Kuntyshev V. B., Kuznecov N. M. *Teplovoi i aerodinamicheskii raschety orebrennyh teploobmenikov vozdušnogo ohlajdenia* [Thermal and aerodynamic calculations ribbed heat exchangers of air cooling]. St. Petersburg, Energoatomizdat Publ., 1992. 280 p. (In Russian).

16. Legki V. M., Tupicyn U. K., Pis'menyi E. N. Influence of step-by-step parities on heat exchange and aerodynamic resistance of chess cross-section washed bunches of tubes with external spirally-tape ribbed. *Teploobmen v energeticheskikh ustanovkakh* [Heat exchange in power installations], Kiev, Naukova dumka Publ., 1978, pp. 78–82 (In Russian).

Информация об авторах

Кунтыш Владимир Борисович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: egit@belstu.by

Сухоцкий Альберт Борисович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры энерго-сбережения, гидравлики и теплотехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: alk2905@mail.ru

Information about the authors

Kuntysh Vladimir Borisovich – DSc (Engineering), Professor, Professor of the Department of Energy-saving, Hydraulics and Heat Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: egit@belstu.by

Sukhotskiy Al'bert Borisovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor of the Department of Energy-saving, Hydraulics and Heat Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alk2905@mail.ru

Поступила 15.10.2016