

ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

УДК 621.643.408.8+536.24

В. Б. Кунтыш¹, А. Б. Сухоцкий¹, В. П. Мулин²

¹Белорусский государственный технологический университет

²ЗАО «Октябрьскхиммаш» (Российская Федерация)

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ НАКАТКИ НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НЕСУЩЕЙ ТРУБЫ ВИНТОВЫХ ПЛАВНООЧЕРЧЕННЫХ ВЫСТУПОВ В БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕБРИСТОЙ ТРУБЕ

Приведены конструкция и принцип действия технологичного высокопроизводительного устройства для нагревания эффективных турбулизаторов энергоносителя, движущегося внутри теплообменных биметаллических труб со спиральными алюминиевыми ребрами (БРТ), обтекаемых снаружи принудительным поперечным потоком окружающего воздуха. Подобные БРТ, но с гладкостенной внутренней поверхностью несущей трубы являются в настоящее время основным теплопередающим элементом аппаратов воздушного охлаждения (АВО) топливно-энергетического и химико-лесного комплекса, в теплообменных секциях которых охлаждаются органические жидкости, парогазовые смеси и конденсируются их пары в процессах химической, нефтеперерабатывающей промышленности, при охлаждении минеральных масел, транспортируемого природного газа. Современным БРТ свойственен высокий коэффициент оребрения $\phi \approx 20-22$, что привело к выравниванию термического сопротивления теплоотдаче с внешней и внутренней сторон БРТ АВО. Из этого следует, что последующее улучшение габаритно-массовой характеристики аппаратов возможно интенсификацией теплоотдачи жидкости в противоположность существующему подходу, направленному на повышение в первую очередь теплоотдачи с воздушной стороны. Интенсификация внутренней теплоотдачи органических жидкостей (бензин, керосин, метанол, этанол, парафины) плавноочерченными турбулизаторами оптимальных параметров позволяет увеличить тепловой поток АВО в неизменных габаритах на 7–15% без дополнительных затрат мощности.

Учитывая все вышеизложенное, было разработано высокопроизводительное устройство, позволяющее реализовывать способ турбулизации потока внутренними выступами на несущей трубе наружного диаметра 25 мм с толщиной стенки 2,0–2,5 мм, при этом на внешней поверхности трубы образуются канавки, которые интенсифицируют контактный теплообмен. Скорость накатывания выступов порядка 1,5–3,0 м/мин, для чего применены ролики на трех валках, расположенных по окружности с углом 120° друг относительно друга.

Ключевые слова: биметаллическая труба, несущая труба, плавноочерченные винтовые и кольцевые турбулизаторы, ролики.

V. B. Kuntysch¹, A. B. Sukhotskiy¹, V. P. Mulin²

¹Belarusian State Technological University

²ZAO “Oktyabr’skhhimmash” (Russian Federation)

DEVICE FOR INDUSTRIAL ROLLING ON THE INTERNAL SURFACE OF BEARING TUBE OF SCREW SMOOTH CONTOURED LEDGES IN A BIMETALLIC RIBBED TUBE

The design and principle of act of the technological high-duty device for heating effective turbulizeres the energy carrier moving inside heat exchange bimetallic tubes with spiral aluminium ribs (BRT), flowed round outside a compulsory cross flux of ambient air are resulted. Similar BRT, but with a smooth-bore internal surface of a bearing pipe are now basic heat exchange an element of apparatuses of an air cooling (AVO) a fuel and energy and himiko-wood complex, in heat exchange sections organic liquids are chilled, парогазовые mixes and are condensed their steams in processes chemical, petroleum-refining industry; at cooling of the petroleum oil, carried rock gas. Modern BRT the high factor

оребрения $\varphi \approx 20-22$ is peculiar that led to levelling of a thermal resistance to a convective heat exchange from external and internal parties BRT AVO. It follows from this that the subsequent martempering gabarino-mass characteristics of apparatuses was possibly an intensification of a convective heat exchange of a liquid contrary to the existing approach on raise first of all a convective heat exchange from the air party. The intensification of an internal convective heat exchange of organic liquids (benzine, kerosene, methanol, ethanol, paraffins) smooth contoured turbulizeres optimum parametres allows to increase thermal stream AVO in invariable gabarits by 7–15% without additional expenses of power.

In connection with stated we develop the high-duty device, allowing to realise a way of a turbulization of a stream internal ledges on a bearing tube of outside diameter of 25 mm with thickness of a wall of 2.0–2.5 mm, thus on an external surface of a tube flutes which intensify contact heat exchange are formed. Speed of rolling ledges of an order of 1.5–3.0 m/min to what rollers on three rolleres, had on a round with an angle 120° from each other are applied.

Key words: bimetallic tube, bearing tube, smooth contoured screw and ring turbulizeres, rollers.

Введение. Биметаллические ребристые трубы (БРТ) получили наибольшее применение в качестве теплопередающего элемента в теплообменных секциях аппаратов воздушного охлаждения (АВО) [1] топливно-энергетического и химико-лесного комплекса, в частности для охлаждения продуктов нефтепереработки, природного газа на компрессорных станциях магистральных газопроводов, в технологических установках по производству метанола, этанола и других органических жидкостей. АВО также используют в системах охлаждения масла крупных силовых трансформаторов и на компрессорных станциях [2] газопроводов. Калориферы лесосушильных камер, сушильной части бумаго- и картоноделательных машин, систем воздушного отопления и вентиляции зданий и сооружений, утилизаторов тепла дымовых газов производственных и отопительных котельных комплектуются также из БРТ.

Конструкция БРТ (рис. 1) современных АВО, калориферов, теплоутилизаторов состоит из гладкостенной металлической несущей трубы 1, преимущественно стальной, и алюминиевой оболочки 2 со спиральными накатными или навитыми [1, 3] ребрами, которая механически соединена с несущей трубой.

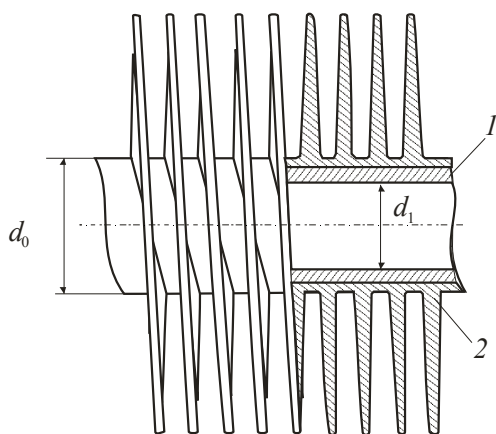


Рис. 1. Биметаллическая ребристая труба

В АВО преимущественно применяются несущие трубы наружного диаметра 25 мм с толщиной стенки 2,0–2,5 мм. Коэффициент оребрения трубы $\varphi \approx 20-22$. Внутри БРТ, из которых собираются шахматные пучки, движется охлаждаемая жидкость или парогазовая смесь, а снаружи ребристая оболочка омывается принудительным поперечным потоком атмосферного воздуха, создаваемого осевыми вентиляторами. При охлаждении органических жидкостей (бензин, керосин, дизельное топливо, толуол, метанол, гексанол, парафины), минерального масла, природного газа, компримируемого воздуха в технологических процессах нефтехимии [1, 4] коэффициент теплоотдачи $\alpha_1 \approx 300-1700$ Вт/(м²·К). Коэффициент теплоотдачи от оребрения трубы к охлаждающему воздуху $\alpha_2 \approx 30-90$ Вт/(м²·К) [4], который значительно меньше α_1 . Однако этот энергетический недостаток присущ всем газожидкостным теплообменникам, к которым относятся и теплообменные секции АВО, предопределяющего низкий коэффициент теплопередачи, а следовательно, значительные габариты и металлоемкость таких аппаратов.

Для улучшения габаритно-массовой характеристики АВО одним из доступных методов является развитие площади поверхности оребрения трубы, т. е. применение БРТ с максимально достигнутым в серийном производстве коэффициентом φ , что увеличивает коэффициент теплопередачи. Достигается сближение значений термического сопротивления теплоотдачи с внутренней $R_1 = (\varphi \cdot d_0/d_1) \cdot (1/\alpha_1)$ и внешней $R_2 = 1/\alpha_2$, (м²·К)/Вт сторон трубы [3], где d_1 – внутренний диаметр несущей трубы; d_0 – диаметр трубы по основанию ребер. Это подтверждается нижеследующим расчетом для указанных значений α_1 и α_2 и применяемой в промышленных АВО БРТ с $\varphi \approx 20$, $d_1 = 21$ мм, $d_0 = 26$ мм: $R_1 = 0,084-0,015$ (м²·К)/Вт и $R_2 = 0,033-0,011$ (м²·К)/Вт.

По экономическим расчетам достигнутое значение φ близко к энергетически целесооб-

разному. Следовательно, возможность интенсификации теплопередачи в случае охлаждения однофазных органических жидкостей и газов рассмотренным методом исчерпана. Значит необходимо применять интенсификацию теплоотдачи с внутренней стороны БРТ турбулизацией и разрушением пограничного слоя охлаждаемых однофазных сред. Известно множество различных конструкций турбулизаторов [5, 6] и физико-технических подходов [7] для решения этой задачи. Применительно к АВО наряду с высокой энергетической эффективностью метода интенсификации определяющими требованиями являются его технологичность, невысокая стоимость, производительность в крупносерийном производстве с учетом большого объема производства БРТ, исчисляемого миллионами метров [8]. Также нежелателен рост металлоемкости трубы и дополнительные затраты ручного труда. Изложенным требованиям удовлетворяет метод интенсификации теплоотдачи внутри трубы поперечными кольцевыми плавноточечными турбулизаторами [9, 10] на внутренней стенке, которые генерируют мелкие вихри внутри пристенного слоя движущейся жидкости и повышают его уровень турбулентности. Вихри не диффундируют в ядро потока, что ограничивает чрезмерный рост гидравлического сопротивления. В турбулентном режиме по сравнению с гладкой трубой наблюдается увеличение теплоотдачи в 1,3–2,6 раза при некотором опережающем росте гидравлического сопротивления в 1,4–3,5 раза [10, 11] для оптимальных параметров турбулизаторов. Снаружи над кольцевыми выступами возникают в стенке трубы поперечные канавки от действия накатных роликов технологии ВНИИметмаш [12], которая применяется для тонкостенных труб кожухотрубных теплообменников.

Производительность технологии накатки возрастает при переходе на трубы с винтовыми плавноточечными выступами (рис. 2), но значительно уменьшается интенсификация теплоотдачи и пророст гидравлического сопротивления [13].

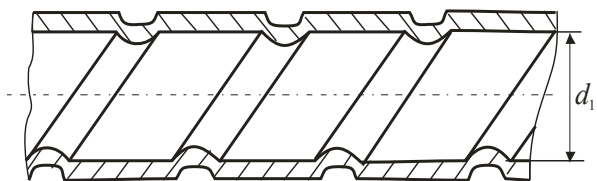


Рис. 2. Несущая труба

Интенсификация теплоотдачи винтовыми выступами заложена в способе [14] увеличения тепловой эффективности БРТ АВО, для чего

ВНИПТХНА (г. Волгоград) разработал технологию накатки спиральных выступов на толстостенных несущих трубах, а Таллиннский машиностроительный завод разработал приспособление для накатки и изготовил установочную партию труб (рис. 3). Наши исследования [15] показали, что наряду с интенсификацией теплоотдачи имеет место снижение в 1,5–1,6 раза контактного термического сопротивления из-за возросшей плотности соединения ребристой оболочки с несущей трубой ввиду закатывания алюминия в канавки на стенке несущей трубы. Также уменьшается осевая вытяжка толстостенной алюминиевой трубы-заготовки для экструдирования ребер, что обеспечивает экономию алюминия. Однако в доступной научно-технической литературе не обнаружены конструкции устройства и его описание для изготовления БРТ с толстой стенкой, кроме общеизвестных принципов [16, 17].



Рис. 3. Биметаллическая ребристая труба с накатными спиральными выступами на несущей трубе

Цель работы – восполнение обнаруженного пробела в изготовлении БРТ АВО повышенной энергоэффективности.

Основная часть. Устройство (рис. 4, 5, 6) для накатывания винтовых канавок на несущей трубе с последующим ее оребрением методом поперечно-винтовой прокатки [12, 18] или спиральной навивкой [3] алюминиевой ленты представляет собой трехроликовый механизм с регулируемым приводом и регулированием параметров винтовых канавок по шагу и глубине. Оно состоит из станины 1, на которой установлен роликовый блок, привод в виде мотора-редуктора, сменных шестерен, пульта управления.

Роликовый блок представляет собой шестигранный корпус 2, в котором под углом 120° в отверстие установлены три хвостовика 7 с присоединенными несущими платформами 3. К каждой платформе присоединена роликовая

головка, которая является подвижным регулируемым узлом, включающим закрепленный к плоскости платформы подшипниковый блок 4, в котором на подшипниках размещен вал 24, на его консольной стороне находятся накатной ролик 6, дистанционная шайба 26 и съемная подшипниковая опора 5, предотвращающая изгиб консольной части вала 24 от возникающей радиальной нагрузки со стороны ролика 6 при работе устройства. Для вращения роликов 6 валы 24 связаны с одной стороны с гибкими (карданными) валами 25.

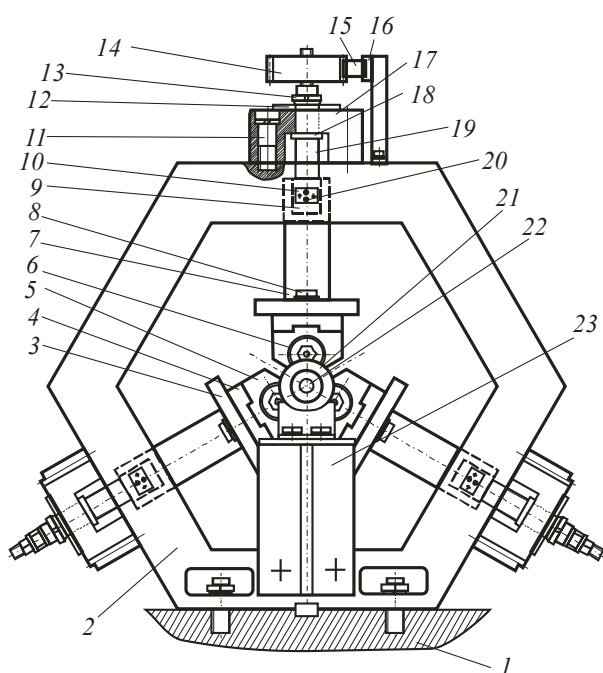


Рис. 4. Общий вид устройства спереди

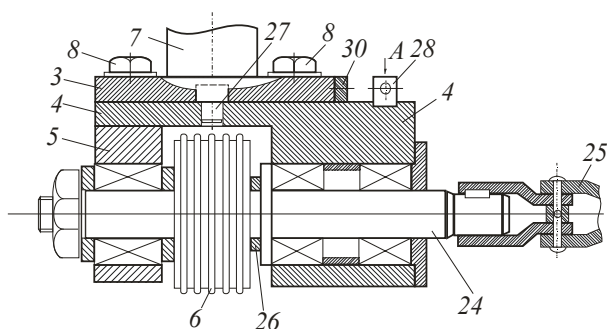


Рис. 5. Продольный разрез роликовой головки

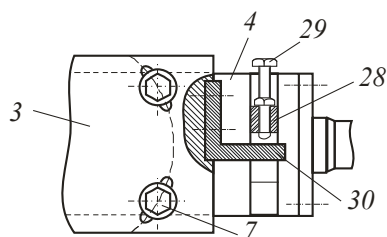


Рис. 6. Фрагмент устройства по направлению А

Для установки роликовых головок на определенный угол, соответствующий углу подъема винтовой канавки, они поворачиваются вокруг центральной оси с помощью установленного ступенчатого стержня 27, один конец которого входит в отверстие несущей платформы 3, соосное с ее хвостовиком 7. Платформа имеет круговые отверстия, через которые проходят крепежные болты 8, жестко соединяющие подшипниковый блок 4 с несущей платформой. На верхней части хвостовика 7 выполнена «лыска» 9, перпендикулярно плоскости платформы 4 и параллельно своей оси. Это позволяет посредством специального шаблона 10 в виде пластины, проходящего через соответствующее отверстие шестигранного корпуса 2, установить «0» – нулевое положение несущей платформы. Пластина шаблона 10 контактирует с «лыской» 9 хвостовика 7 и устанавливает его перпендикулярно оси обрабатываемой трубы 21. Для предотвращения люфта хвостовика шаблон укреплен на шестигранном корпусе болтами 20.

От нулевого положения несущей платформы производят установку подшипникового блока 4 с роликом на угол, соответствующий шагу винтовых канавок. Для этой цели на тыльной части несущей платформы закреплен неподвижный упор 30, а на подшипниковом блоке – упор 28 с установочным винтом 29, который взаимодействует с плоскостью неподвижного упора. При нахождении несущей платформы в нулевом положении установочный винт во время вращения упирается в плоскость неподвижного упора. Для поворота подшипникового блока с роликом на необходимый угол между установочным винтом и плоскостью неподвижного упора вставляется мерная плитка соответствующего размера, при этом подшипниковый блок с роликом и несущей платформой поворачивается на определенный угол и закрепляется болтами 8 с несущей платформой.

В радиальном направлении подшипниковый блок с роликом и несущей платформой регулируется с помощью винта 19, связанного с резьбовым концом хвостовика 7. Винт 19 с заплечиком 18 опирается с одной стороны на плоскость траверсы 17, закрепленной винтами 11 к шестигранному корпусу, а с другой стороны через две пластины 12, охватывающие винты 19, прижимается к верхней плоскости траверсы гайкой 13. Две нижние роликовые головки после регулирования в радиальном направлении остаются неподвижными, а верхняя роликовая головка совершает рабочий ход с помощью пневмоцилиндра (не показан на рис. 4). Для этой цели на верхней части винта 19 закреплена шестерня 14, взаимодействующая с зубчатой рейкой 15, которая перемещается по направ-

ляющей 16 с помощью пневмоцилиндра, шток которого жестко связан с зубчатой рейкой. На выходе конца обрабатываемой трубы 21 из роликов установлен кронштейн 23 со сменной центрирующей втулкой 22, предназначенной для различных диаметров обрабатываемых труб. Для привода валов 24 с накатными роликами используются карданные валы, связанные через систему шестерен с мотором-редуктором.

Для обеспечения накатывания на несущей трубе винтовых канавок (рис. 2) устройство снабжено подающим и приемным стеллажами с направляющими лотками, вдоль которых расположены концевые выключатели, контролирующей необходимую длину обрабатываемых труб.

Смена накатных роликов осуществляется следующим образом: с вала снимаются подшипниковая опора 5 и накатной ролик. После замены ролик и опора устанавливаются на прежнее место.

Для установки накатных роликов вдоль оси обрабатываемой трубы 21 используются упорные дистанционные шайбы 26, отличающиеся между собой по толщине: на верхнем ролике толщина шайбы «а» (≈ 5 мм), на втором – $4a/3$, на третьем – $5a/3$. Рабочая часть накатных роликов выполнена с кольцевыми витками с необходимым шагом. Диаметр роликов равен 90 мм, высота – 15–20 мм.

Размеры получаемых винтовых канавок на несущей трубе 25/20 мм (основной типоразмер АВО) следующие: шаг 2,5 мм; глубина 0,4–0,5 мм; ширина 0,45–0,50 мм. Под канавками на внутренней поверхности трубы образуются винтовые плавноочерченные выступы высотой $\approx 0,20$ –0,25 мм. Следует отметить, что толщина стенки должна быть не менее 2,5 мм, иначе может произойти смятие трубы из-за потери устойчивости ее в радиальном направлении.

Крутящий момент для накатывания канавок указанных размеров 30–50 Н·м и зависит от шага канавок, а необходимое радиальное усилие на ролик составляет 6000–8000 Н. В качестве привода накатных роликов может использоваться мотор-редуктор мощностью 3–4 кВт с частотой вращения выходного вала 250 мин^{-1} и возможностью увеличения частоты до 500 мин^{-1} , что обеспечит производительность накатного устройства 1,5–3,0 м/мин.

Каждый ролик накатывает 1/3 длины канавки одинаковой глубины и своими витками попадает в канавки от предыдущего ролика. Для этого они установлены друг от друга на 1/3 исходной толщины прокладки.

Работает устройство следующим образом. Загрузочный стеллаж подает исходную гладкую несущую трубу в зону накатных роликов б, включаются приводы всех роликов, а верхняя

роликовая головка вместе с платформой 3 совершает ход вниз с помощью пневмоцилиндра и зубчатой рейки 15, взаимодействующей с шестерней 14, при этом ролики б внедряются в стенку трубы на необходимую глубину. Две нижние роликовые головки остаются неподвижными в радиальном направлении, положение их устанавливается предварительно. Под действием верхнего ролика труба 21 входит во взаимодействие с двумя нижними роликами, рабочие витки которых внедряются в трубу, накатывая винтовые канавки. При внедрении роликов труба начинает вращаться и перемещаться в продольном направлении, проходя через центрирующую втулку 22 и далее по лотку приемного стеллажа до концевого выключателя, который подает команду на выключение пневмоцилиндра. Шток пневмоцилиндра перемещает зубчатую рейку 15 в обратном направлении и ролик б поднимается в верхнее положение. В результате труба 21 освобождается от роликов и удаляется с приемного стеллажа в тару для дальнейшего ее оребрения. Затем цикл повторяется.

Представленное накатное устройство внедрено на ЗАО «Октябрьскхиммаш» (Республика Башкортостан) (рис. 7).

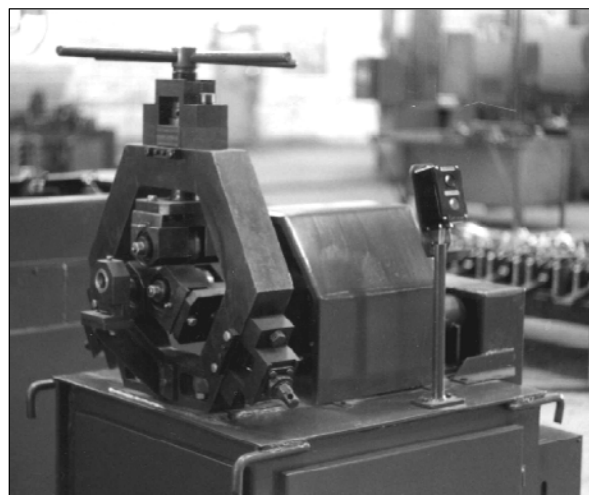


Рис. 7. Внешний вид устройства со стороны выхода несущей трубы

Заключение. Разработано, изготовлено и апробировано в промышленных условиях устройство для производства БРТ АВО с интенсифицированной теплоотдачей для охлаждения органических жидкостей, увеличивающее тепловой поток аппарата на 7–15% в неизменных габаритах и мощности вентилятора, повышающее надежность механического соединения ребристой оболочки с несущей трубой, что расширяет применение таких труб до температуры стенки 350–380°C.

Литература

1. Шмеркович В. М. Современные конструкции аппаратов воздушного охлаждения // Обзорная информ. Сер. Химическое и нефтеперерабатывающее машиностроение ХМ-1. М.: ЦИНТИнефтехим, 1979. 70 с.
2. Степанов О. А., Иванов В. А. Охлаждение масла на компрессорных станциях. Л.: Недра, 1982. 143 с.
3. Кунтыш В. Б., Кузнецов Н. М. Тепловой и аэродинамический расчеты оребренных теплообменников воздушного охлаждения. СПб.: Энергоатомиздат, 1992. 280 с.
4. Примеры расчетов нестандартизированных эффективных теплообменников / В. Б. Кунтыш [и др.]. СПб.: Недра, 2000. 300 с.
5. Бузник В. М. Интенсификация теплообмена в судовых установках. Л.: Судостроение, 1969. 364 с.
6. Берглес А. Е. Интенсификация теплообмена. Теплообмен. Достижения. Проблемы. Перспективы // Избранные труды 6-й Междунар. конф. по теплообмену: пер. с англ. М.: Мир, 1981. С. 145–192.
7. Мигай В. К. Повышение эффективности современных теплообменников. Л.: Энергия, 1980. 144 с.
8. Повышение энергетической эффективности модернизируемых трубных пучков аппаратов воздушного охлаждения / В. Б. Кунтыш [и др.] // Химическая техника. 2013. № 9. С. 12–18.
9. Калинин Э. К., Дрейцер Г. А., Ярхо С. А. Интенсификация теплообмена в каналах. М.: Машиностроение, 1972. 320 с.
10. Эффективные поверхности теплообмена / Э. К. Калинин [и др.]. М.: Энергоатомиздат, 1988. 408 с.
11. Кирпиков В. А., Мусави Найниан С. М. Количественная оценка эффективности метода интенсификации конвективного теплообмена турбулизацией пограничного слоя // Химическое и нефтяное машиностроение. 1994. № 12. С. 4–6.
12. Барбарич М. В., Кирпичников Ф. П. Новые методы поперечной и поперечно-винтовой прокатки металлов. М.: ВИНТИ АН СССР, 1957. 90 с.
13. Назмеев Ю. Г., Лавыгин В. М. Теплообменные аппараты ТЭС. М.: МЭИ, 2002. 260 с.
14. А. с. СССР 1016003. Способ производства биметаллических ребристых труб / Б. Г. Бунеев [и др.] // Бюл. изобр. 1983. № 17. С. 166.
15. Кунтыш В. Б. Исследование термического контактного сопротивления биметаллических ребристых труб с внутренней винтовой накаткой // Изв. вузов. Проблемы энергетики. 2001. № 1–2. С. 16–22.
16. Бабичков А. Д. Оребрение медных труб методом накатки // Химическое и нефтяное машиностроение. 1972. № 7. С. 24.
17. Грудов А. А., Комаров П. Н., Ржевский Б. Ф. Резьбонакатные ролики повышенной производительности // Станки и инструмент. 1974. № 4. С. 22.
18. Кирпичников Ф. П. Прокатка ребристых труб для теплообменников // Оборудование для прокатки изделий сложной формы. М.: ЦИНТИАМ, 1963. С. 10–69.

References

1. Shmerkovich V. M. Modern designs of apparatuses of an air cooling. *Obzornaya inform* [Survey information], series Chemical and Oil Refining Engineering Industry, 1979, 70 p (In Russian).
2. Stepanov O. A., Ivanov V. A. *Okhlazhdeniye masla na kompressornykh stantsiyaykh* [Oil cooling on compressor plants]. Leningrad, Nedra Publ., 1982. 143 p.
3. Kuntyshev V. B., Kuznetsov N. M. *Teplovoy i aerodinamicheskiy raschety orebrennykh teploobmennikov vozdušnogo okhlazhdeniya* [Thermal and aerodynamic calculations ribbed heat exchangers of air cooling]. St. Petersburg, Energoatomizdat Publ., 1992. 280 p.
4. Kuntyshev V. B., Bessonnyu A. N., Dreyser G. A. *Primery raschetov nestandardizirovannykh effektivnykh teploobmennikov* [Instances of calculations of not standardised effective heat exchangers]. St. Petersburg, Nedra Publ., 2000. 300 p.
5. Buznik V. M. *Intensifikatsiya teploobmena v sudovykh ustanovkakh* [Heat exchange intensification in ship installations]. Leningrad, Sudostroeniye Publ., 1969. 364 p.
6. Bergles A. E. Heat exchange intensification. Heat exchange. Achievements. Problems. Prospects. *Izbrannyye trudy 6-y Mezhdunar. konf. po teploobmenu* [The selected works of 6-th International conference on heat exchange], 1981, pp. 145–192 (In Russian).
7. Migay V. K. *Povysheniye effektivnosti sovremennykh teploobmennikov* [Raise of efficiency of modern heat exchangers]. Leningrad, Energiya Publ., 1980. 144 p.

8. Kuntyshev V. B., Sukhotskiy A. B., Mulin V. P., Minnigaleev A. Sh. Raise of power efficiency of modernised trumpet bunches of apparatuses of an air cooling. *Khimicheskaya tekhnika* [Chemical technics], 2013, no. 9, pp. 12–18 (In Russian).
9. Kalinin E. K., Dreytser G. A., Yarkho S. A. *Intensifikatsiya teploobmena v kanalakh* [Heat exchange intensification in channels]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1972. 320 p.
10. Kalinin E. K., Dreytser G. A., Kopp I. Z., Myakochin S. A. *Effektivnyye poverkhnosti teploobmena* [Effective heat-exchange surfaces]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1988, 408 p.
11. Kirpikov V. A., Musavi Nayniyan S. M. Quantitative estimation of efficiency of a method of an intensification of a convective heat transfer a boundary layer turbulization. *Khimicheskoye i neftyanoye mashinostroeniye* [Chemical and oil engineering industry], 1994, no. 12, pp. 4–6 (In Russian).
12. Barbarich M. V., Kirpichnikov F. P. *Novyye metody poperechnoy i poperechno-vintovoy prokatki metallov* [New methods of the transverse and transverse screw rolling of metals]. Moscow, VINTI AN SSSR Publ., 1957. 90 p.
13. Nazmeev Yu. G., Lavygin V. M. *Teploobmennyye apparaty TES* [Heat-exchange apparatus of thermal electrical plants]. Moscow, MEI Publ., 2002. 260 p.
14. Buneev B. G., Yurova T. I., Tal'ving T. A. C. C. 1016003 USSR. *Sposob proizvodstva bimetallicheskikh rebristyykh trub* [Way of creation of bimetallic ribbed tubes]. Bulletin of the originator. 1974, no. 4, p. 22 (In Russian).
15. Kuntyshev V. B. Research of a thermal contact resistance of bimetallic ribbed pipes with internal screw rolling. *Izv. vuzov. Problemy energetiki* [News of high schools. Power engineering problems], 2001, no. 1–2, pp. 16–22 (In Russian).
16. Babichkov A. D. Ribbing copper tubes a method of rolling. *Khimicheskoye i neftyanoye mashinostroeniye* [Chemical and oil engineering industry], 1972, no. 7, pp. 24 (In Russian).
17. Grudov A. A., Komarov P. N., Rzhevskiy B. F. Thread rolls of the raised productivity. *Stanki i instrument* [Rigs and tool], 1974, no. 4, pp. 22 (In Russian).
18. Kirpichnikov F. P. Rolling of ribbed pipes for heat exchangers. *Oborudovaniye dlya prokatki izdeliy slozhnoy formy* [Equipment for rolling of products of the difficult form], 1963, pp. 10–69 (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 энергосбережения, гидравлики и теплотехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: alk2905@mail.ru

Мулин Виктор Петрович – инженер ЗАО «Октябрьскхиммаш» (452613, г. Октябрьский, ул. Трудовая, 2/1, Республика Башкортостан, Российская Федерация).

Information about the authors

Kuntyshev Vladimir Borisovich – DSc (Engineering), Professor, Professor, 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 Albert Borisovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, 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

Mulin Victor Petrovich – engineer of Joint-Stock Company “Oktyabr’skhhimmash” (2/1, Trudovaya str., 452613, Ocityabr’skiy, Republic of Bashkortostan, Russian Federation).

Поступила 11.02.2017