

proposed technique is less laborious and consists of carrying out technological tests for drawing a detail of the "Glass" type and stretching a sample cut along the rolling direction. The proposed technique can be used to study planar anisotropy at normal and elevated temperatures.

Key words: anisotropy of mechanical properties, anisotropy coefficient, planar anisotropy, narrow bands and bands, feston formation, height of festons, direction to rolling, stretching.

Yakovlev Sergey Sergeevich, student, mpf-tula@rambler.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 664; 62-69

АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НАГРЕВАНИЯ И ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ ПЛОСКУЮ СТЕНКУ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ С ИЗОЛЯЦИЕЙ

Н.А. Клименова, Е.В. Пантюхина, О.В. Пантюхин

Рассматриваются тепловые процессы нагревания в теплообменных аппаратах с различными теплоносителями, проводится сравнение двухслойных теплообменных аппаратов, стенки которых выполнены из различных материалов, по удельным потерям теплоты с 1 м² поверхности.

Ключевые слова: тепловые процессы, теплообменные аппараты, теплообменник, теплопередача, удельные потери теплоты.

Тепловые процессы широко применяются в промышленности, пищевых технологиях, биотехнологиях и других, что обуславливает необходимость и значимость их изучения. Все тепловые процессы связаны с переходом тепла, которое переходит от одного вещества к другому или из одного геометрического пространства в другое.

Самое широкое распространение среди всех видов тепловых процессов получило нагревание жидкостью и насыщенным паром.

Нагревание жидкостью – наиболее распространенный способ процесса нагревания. Он заключается в циркуляции теплоносителя между нагревателем и теплообменником, в который он отдает теплоту. Циркуляция может быть естественной и принудительной. Естественная циркуляция совершается за счет разности плотностей холодного и горячего теплоносителя. Однако эффективней является принудительный способ, который осуществляется с помощью специального насоса [1].

Чаще всего в качестве теплоносителя используют воду. Это обусловлено тем, что вода является доступным и дешевым теплоносителем, обладает высокой теплоемкостью и коэффициентом теплоотдачи. Одним из наиболее простых аппаратов, в которых используется нагревание водой, является ванна длительной пастеризации (рис. 1). Она используется для пастеризации продукта во избежание его быстрой порчи. Температура

нагрева невысока, поэтому погибают неблагоприятные микроорганизмы, но их споры остаются. Принцип работы ванны длительной пастеризации заключается в поступлении пара в воду через коллектор (барботер). Вода заполняет пространство между стенок пастеризатора и, при поступлении пара, она может нагреваться до 96 °С. Конденсат пара смешивается с водой, избыток жидкости сливают. Горячая вода нагревает продукт через стенку внутреннего резервуара цилиндрической формы. Когда процесс завершен, происходит подача холодной воды, которая вытесняет горячую из межстенного пространства и одновременно охлаждает молоко [2].

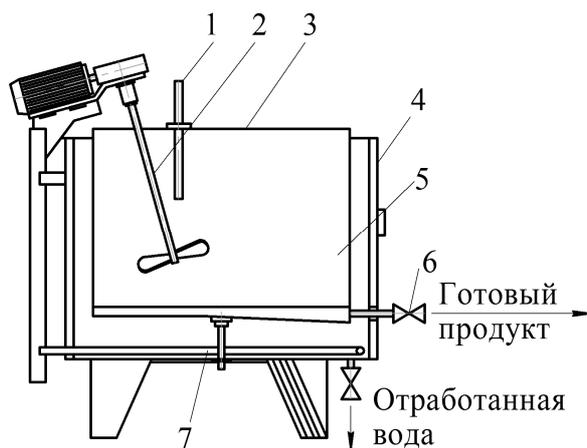


Рис. 1. Схема ванны длительной пастеризации: 1 – термометр; 2 – мешалка; 3 – крышка; 4 – наружный корпус; 5 – резервуар; 6 – кран слива продукта; 7 – паровой коллектор

Нагревание насыщенным паром распространено благодаря высокому коэффициенту теплоотдачи от конденсирующего пара стенке, равномерности обогрева и выделению большого количества теплоты.

Существует два вида нагревания. При нагревании «острым» паром происходит непосредственный контакт горячего пара с нагреваемым веществом. При этом пар конденсируется и отдает свою теплоту, а конденсат смешивается с веществом. При нагревании «глухим» паром, теплота передается нагреваемому веществу через стенку. В это время пар конденсируется и выводится из теплоносителя. Этот способ используется, если нагреваемая жидкость может взаимодействовать с водой или не должна быть разбавлена. Нагревание паром осуществляется в различных теплообменниках (трубчатых, спиральных, теплообменников с вращающимися лопастями), общим в конструкции которых является передача тепла через нагревательную поверхность, отделяющую продукт от теплоносителя [3].

Процесс нагревания водяным паром может осуществляться в конденсатоотводчике (рис. 2). Пар вводится через барботер, представляющий собой во многих случаях трубу с отверстиями, согнутую по спирали Архимеда либо по окружности, конденсируется, отдает теплоту нагреваемой жидкости и выходит наружу через продувочный вентиль.

Во всех конструкциях теплообменных аппаратов, в независимости от способа нагрева, происходит передача тепла через стенку от более нагретого теплоносителя к менее нагретому продукту. Движущая сила всех теплообменных процессов – разность температур теплоносителей. Под действием этой разности, теплота передается от горячего теплоносителя к холодному. Теплоноситель отдает свое тепло сначала стенке, которая проводит его через себя, затем продукту. Часть теплоты расходуется на компенсацию потери теплоты аппаратом в окружающую среду.

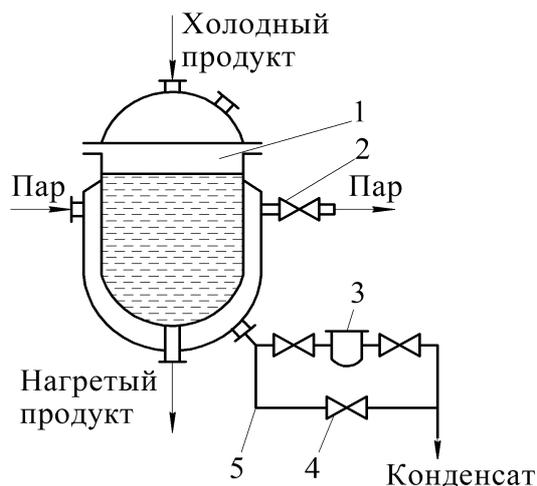


Рис. 2. Схема установки конденсатоотводчика при нагревании «глухим паром»: 1 – теплообменник; 2 – продувочный вентиль; 3 – конденсатоотводчик; 4 – вентили; 5 – отводная линия

Существует три формы теплообмена: теплопроводность, теплоотдача и теплопередача (рис. 3).

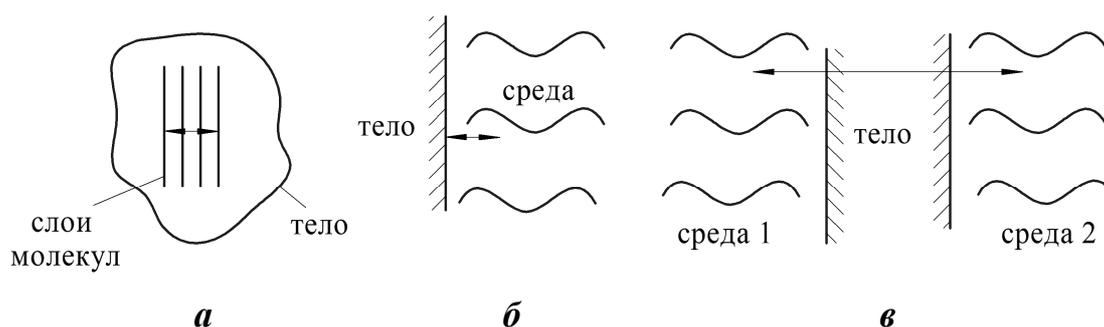


Рис. 3. Формы теплообмена: а – теплопроводность; б – теплоотдача; в – теплопередача

Теплопроводностью (см. рис. 3, а) называется процесс переноса тепловой энергии в результате теплового движения и взаимодействия микрочастиц от более нагретых участков тела к менее нагретым. В результате теплопроводности температура тела выравнивается. Большое значение

имеет материал, из которого изготовлены стенки теплообменных аппаратов, и способность данного материала проводить тепло, т.е. его теплопроводность. Для количественной оценки теплопроводности существует коэффициент λ теплопроводности материалов. Чем больше значение данного коэффициента у материала, тем лучше он проводит тепло.

Теплоотдачей (см. рис. 3, б) называется процесс теплообмена на границе раздела двух фаз. Физическая величина, которая характеризует интенсивность теплоотдачи при известном изменении температуры, называется коэффициентом α теплоотдачи. Он зависит от скорости потока теплоносителя, вида течения, геометрии поверхности и определяется, как правило, экспериментально. Для определения общего коэффициента теплоотдачи при расчёте тепловых потерь аппаратов, находящихся в закрытых помещениях, пользуются приближенным уравнением

$$\alpha = 9,74 + 0,07\Delta t,$$

где Δt – разность температур поверхности стенки аппарата и среды [1].

Теплопередачей (см. рис. 3, в) называют теплообмен между двумя теплоносителями через разделяющую их твердую стенку, т.е. включает в себя теплоотдачу от теплоносителя к стенке, и теплоотдачу от стенки к нагреваемому продукту [1].

При расчете теплообменных аппаратов с однослойной плоской стенкой используется кинетическое уравнение, выражающее связь между тепловым потоком Q и площадью поверхности теплопередачи. Это уравнение называется основным уравнением теплопередачи

$$Q = KF\Delta t_{cp}\tau,$$

где K – коэффициент теплопередачи, определяющий скорость переноса теплоты и показывающий, какое количество теплоты передается от горячего теплоносителя к холодному за 1 с через 1 м^2 стенки при средней разности температур между теплоносителями, равной одному градусу; F – площадь поверхности теплообмена; Δt_{cp} – средняя разность температур между теплоносителями; τ – время (при непрерывном процессе время не учитывается).

Однослойная плоская стенка теплообменника имеет одинаковую толщину, температуры поверхностей $t_{ст1}$ и $t_{ст2}$ поддерживаются постоянными, причем $t_{ст1} > t_{ст2}$ (рис. 4, а). При установившемся процессе количества теплоты, подведенного к стенке и отведенного от нее, равны между собой и не изменяются во времени [4]. Коэффициент теплопередачи

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к стенке; α_2 – коэффициент теплоотдачи от стенки к продукту; δ – толщина стенки.

Однако теплообменные аппараты часто состоят из нескольких слоев (рис. 4, б), которые могут отличаться друг от друга теплопроводностью и толщиной. В таком случае коэффициент теплопередачи

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где $\delta_1, \delta_2, \dots$ – толщина стенки соответственно первого, второго и других слоев; $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ – коэффициенты теплопроводности соответственно первого, второго и других слоев.

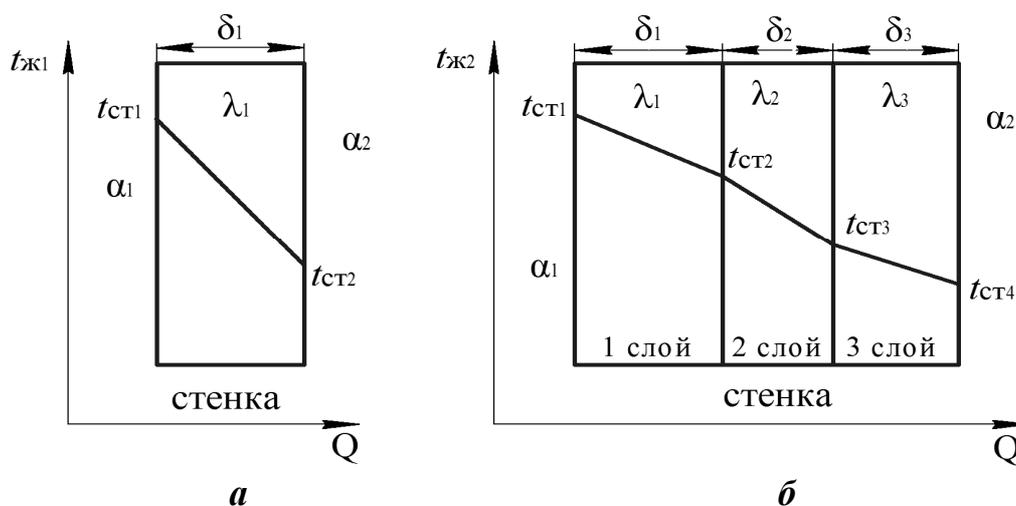


Рис. 4. Теплопередача через однослойную (а) и многослойную (б) плоскую стенку

При проектировании теплообменных аппаратов необходимо стремиться к тому, чтобы их стенка эффективно передавала тепло к продукту от теплоносителя с меньшими затратами энергии. Как правило, стенки теплообменных аппаратов чаще всего изготавливают из углеродистых и низколегированных сталей, меди, латуни, нержавеющей стали, мельхиора, алюминия и титана. Трубки изготавливают из различных видов стали, меди или латуни ГОСТ 3612-024-00220302-02, ГОСТ 21646-2003. Серебро, золото и алмазы являются отличными проводниками тепла и могли бы также подойти для изготовления трубок аппаратов, однако их использование экономически нецелесообразно [5].

Помимо теплоты, передаваемой от теплоносителя к нагреваемому продукту, необходимо учитывать и минимизировать потери теплоты в окружающую среду. Удельные потери теплоты с 1 м^2 поверхности теплообменника определяют по выражению

$$q = K(t_{в} - t_{н}),$$

где $t_{в}$ – температура внутри теплообменного аппарата; $t_{н}$ – температура окружающего воздуха (среды).

Чтобы эти потери были незначительные, используют теплоизоляцию. Это могут быть стеклоткани с полиуретановым покрытием, которые могут выдержать температуру до 150 °С, каменная вата с хаотично расположенными волокнами воздушной структуры, фольгопласт и всевозможные полиэтилены [6]. Одним из современных направлений для эффективной и перспективной термоизоляции является использование вакуума [7]. Данный вид изоляции представляет собой панели, обтянутые фольгой и имеющие внутри вакуумное пространство. В пространстве между панелями создается высокий вакуум и перенос тепла в таких изделиях практически невозможен.

Оценим влияние материала стенки двухслойного теплообменника, один из слоев которого – изоляционный, на удельные потери теплоты с 1 м² его поверхности. В качестве материалов стенки были взяты сталь ($\lambda = 47 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$), латунь ($\lambda = 105 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$) и медь ($\lambda = 401 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$); толщина стенки аппарата $\delta = 10$ мм. В качестве изоляционного слоя изучался фольгопласт ($\lambda = 0,038 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$), полиэтилен ($\lambda = 0,15 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$) и вакуум ($\lambda = 0,002 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$). Температура окружающего воздуха (среды) $t_{\text{н}} = 20^\circ \text{C}$.

На рис. 5 представлены графики зависимости удельных потерь теплоты с 1 м² поверхности теплообменника, стенка которого изготовлена из стали, от толщины различных видов теплоизоляционного слоя при температурах внутри теплообменного аппарата $t_{\text{в}} = 80^\circ \text{C}$ (см. рис. 5, а) и $t_{\text{в}} = 160^\circ \text{C}$ (см. рис. 5, б).

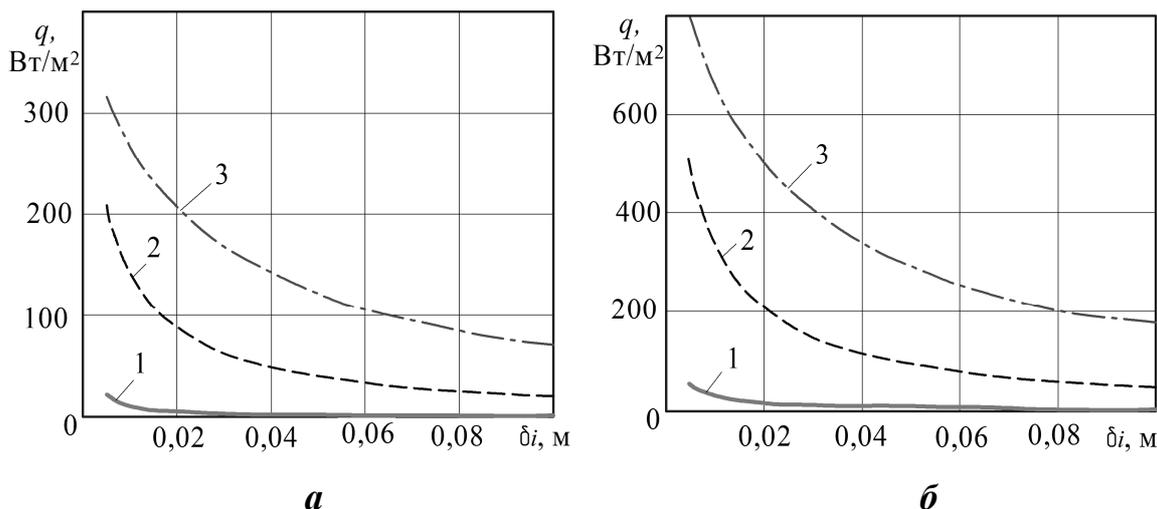


Рис. 5. Графики зависимости удельных потерь теплоты с 1 м² поверхности теплообменника от толщины различных видов теплоизоляционного слоя: 1 – полиэтилен; 2 – фольгопласт; 3 – вакуум при температуре внутри аппарата 80 °С (а) и 160 °С (б)

Аналогичные графики были построены для теплообменных аппаратов, стенка которых изготовлена из латуни и меди. Было выявлено, что для этих материалов значения удельных потерь теплоты с 1 м^2 поверхности теплообменника не отличаются от графиков, приведенных на рис. 5.

Как показывают графики, удельные потери теплоты с 1 м^2 поверхности теплообменника принимают гораздо меньшие значения для вакуума, по сравнению с полиэтиленом и фольгопластом, и на исследуемом диапазоне толщины слоя изоляции при $t_{\text{в}} = 80^\circ \text{C}$ составляют $q = 5 \dots 25 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ и

при $t_{\text{в}} = 160^\circ \text{C}$ – $q = 10 \dots 60 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$. Удельные потери теплоты при использовании фольгопласта в качестве изоляции, особенно при его толщине δ менее $0,06 \text{ м}$, значительно выше, чем при использовании вакуума. Ещё более худшими свойствами обладает полиэтилен.

Таким образом, анализируя процессы нагрева в теплообменных аппаратах, приходим к выводу, что для минимизации потерь тепла в окружающую среду в качестве изоляции в конструкции теплообменных аппаратов целесообразно использовать вакуум. При этом эффективность данной теплоизоляции практически не зависит от толщины ее слоя.

Список литературы

1. Кавецкий Г.Д., Касьяненко В.П. Процессы и аппараты пищевой технологии: учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 2008. 591 с.
2. Хамидуллина А.Ш., Свяженина М.А., Криницина Т.П. Технология производства и переработки животноводческой продукции: учеб. пособие. Тюмень: ТГСХА, 2010. 68 с.
3. Давыдова Е.В., Ганков Е.А. Анализ и проблемы процесса нагрева мозги в теплообменных аппаратах// Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. Вып. 7. Ч. 2. С. 203-210.
4. Остриков А.Н. Процессы и аппараты пищевых производств: учеб. пособие. М.: ГИОРД, 2006. 632 с.
5. Шишкин Б.В. Прочность и вибрация кожухотрубчатых теплообменных аппаратов: учеб. пособие, 2013. 142 с.
6. Теплоизоляционные материалы и конструкции: учеб. пособие / Ю.Л.Бобров, Е.Г.Овчаренко, Б.М.Шойхет, Е.Ю.Петухова. М.: ИНФРА-М, 2003. 268 с.
7. Данилевский Л.Н. Вакуумная теплоизоляция и перспективы использования в строительстве // Архитектура и строительство. Вып. 5. Минск: НИПТИС, 2006. С. 114-117.

Клименова Наталья Андреевна, бакалавр, nataly_ty97@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Пантюхина Елена Викторовна, канд. техн. наук, доц., elen-davidova@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Пантюхин Олег Викторович, директор издательства, канд. техн. наук, доц., olegpantyukhin@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

ANALYSIS OF HEAT PROCESSES OF HEATING AND THERMAL TRANSMISSION THROUGH FLAT WALL HEAT EXCHANGING EQUIPMENT WITH INSULATION

N.A. Klimenova, E.V. Pantyukhina, O.V. Pantyukhin

Thermal processes of heating in heat exchangers with different heat carriers are considered, comparison of two-layer heat exchangers, whose walls are made of different materials, is carried out according to specific losses of heat from 1 m² of surface.

Key words: thermal processes, heat exchangers, heat exchanger, heat transfer, specific losses of heat.

Klimenova Natalia Andreevna, bachelors, nataly_ty97@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Pantyukhina Elena Viktorovna, candidate of technical sciences, docent, elen-davidova@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Pantyukhin Oleg Viktorovich, publishing director, candidate of technical sciences, docent, olegpantyukhin@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 621.922; 621.921.34

СОЗДАНИЕ УНИФИЦИРОВАННОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЯДА РОТОРНЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ

М.С. Парамонова

Предлагается рассмотреть и проанализировать принципиальную возможность унифицировать ряд разрабатываемого смесительного оборудования на примере смесительных машин роторного типа.

Ключевые слова: смешение, оборудование смешения, роторные смесители, параметрические ряды.

Обобщение частных технологических условий создало основные предпосылки для построения параметрических рядов машин на основе рядов предпочтительных чисел, связанных между собой определёнными зависимостями (ГОСТ 8032-89 «Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел»).