



Инновационные теплотехнологии АПК на основе тепловых труб [Текст] : монография / О. Г. Бурдо, Г. Ф. Смирнов, С. Г. Терзиев, А. В. Зыков. - Одесса : ИНВАЦ, 2014. - 376 с. : табл., рис. - ISBN 978-966-8885-82-2.

Книга содержит представительную информацию по вопросам конструирования теплотехнологических систем для АПК на основе тепловых труб (ТТ) и термосифонов. Представлен критический анализ методов расчета теплообмена на границах «ТТ - воздушный поток, ТТ - дисперсный слой». Рассмотрены задачи контактного теплообмена. Предложены схемы сушильного оборудования АПК с теплоутилизаторами на базе ТТ, даны методы их расчета и оптимизации. Обсуждаются перспективы использования принципиально новых конструкций - тепломассоутилизаторов, которые работают в среде паропылегазового потока и возвращают в технологию не только тепловую энергию, но пищевой продукт из выбросов сушилок. Представляются результаты комплексных исследований и стендовых испытаний теплообменной аппаратуры на основе ТТ. Приводятся результаты оптимизации конструктивных и режимных параметров оборудования на ТТ.

Книга предназначена для студентов, магистров, аспирантов, докторантов, научных сотрудников, которые занимаются исследованием низкотемпературных ТТ и разработкой систем теплотехнологий на их основе. Книга представляет интерес для специалистов проектировщиков технологического оборудования с использованием ТТ.

ВВЕДЕНИЕ

Цель данной книги - познакомить научно-техническую общественность, представителей бизнеса с инновационными разработками авторов в области теории и техники тепловых труб и испарительных термосифонов в тепловых технологиях агропромышленного комплекса (АПК). Тепловые трубы, благодаря своим уникальным особенностям, произвели настоящий бум в середине прошлого века. Простота конструкции и высокая надежность в эксплуатации, чрезвычайно низкое значение величины внутреннего термического сопротивления и возможность создания образцов практически любой формы и размеров предопределили интерес к этим простым устройствам. На основе ТТ успешно решались различные проблемы

теплопередачи в аппаратах и системах, предназначенных для переноса теплоты, разных схем термостабилизации и терморегулирования. Космические и военные технологии, радиоэлектроника и вычислительная техника, летательные аппараты и плавсредства стали стабильными потребителями тепловых труб.

Вместе с тем, ещё в первой половине 19-го столетия при организации выпечки хлеба были предложены и запатентованы замкнутые, герметичные, передающие теплоту трубки, заполненные частично жидкостью. В топочных объёмах располагались участки, к которым подводилось тепло. В них происходило испарение (кипение) теплоносителя. На тех участках, на которых тепло отводилось (в случае хлебопечения к поверхностям, на которых осуществлялась выпечка хлеба) имел место процесс конденсации внутри трубки. Эти конструкции (получившие название «трубки Перкинса») были прообразами современных образцов ТТ. Однако удачное использование теплопередающих трубок в хлебопекарном оборудовании не нашло последователей в других технологиях пищевых производств, да и в хлебопечении о них быстро забыли.

Вместе с тем, в различных отраслях промышленности интерес к ТТ возрастал в связи с непрерывным расширением областей и форм их использования. Оказалось, что, во многих случаях, их применение в качестве основы конструирования теплообменников открывает множество перспективных направлений разработки новых, более эффективных, экономичных и требующих меньших затрат труда аппаратов. Это оказалось особенно актуальным в ресурсоэнергоэффективных технологиях.

Авторы монографии в течение последних 20 лет занимались разнообразными проблемами совершенствования пищевых технологий на основе применения аппаратов и систем на низкотемпературных тепловых трубах, включая перспективы успешного решения задач энергоэффективности. Были разработаны, изготовлены и внедрены в производство термосифонные утилизаторы тепловой энергии. Мониторинг пищевых производств показал, что потери продукта в пылевых выбросах сушильного и печного оборудования оказываются в материальном плане более существенными, чем потери тепловой энергии. Используя возможности тепловых труб, авторы предложили принципиально новый аппарат - тепломассоутилизатор. Испытания, которые проведены на пищевых концентратных и сахарных производствах, подтвердили гипотезу авторов, что термосифонный аппарат может эффективно работать в режиме самоочищения от пыли теплопередающей поверхности. А это пыль дорогого пищевого продукта (сухого молока, сахара, кофе и пр.). Пылевые отложения в аппарате постоянно смываются в режиме парциальной конденсации водяных паров из отработавшего сушильного агента. Тепломассоутилизатор выполняет функции скруббера и утилизатора теплоты, в комплексе решает проблемы экологии, энергоэффективности и возвращает в технологии продукт, который раньше терялся и загрязнял окружающую среду

Настоящая монография посвящена проблемам описания процессов в

аппаратах на ТТ. Рассмотрены большинство специфичных для аппаратов пищевых и перерабатывающих производств тепловых задач: «ТТ - воздушный поток», «ТТ - слой и поток дисперсного материала», «ТТ - конструктивный элемент аппарата (контактный теплообмен)». Развита основа теории тепломассопереноса паропылегазового потока в пучках термосифонов. Серьезное внимание уделено постановке и решению системных задач: методам оптимизации аппаратов на ТТ, теплоаэродинамической надежности оборудования на базе ТТ. Таким образом, представлены научно - технические основы теплообменных аппаратов и систем, базирующихся на использовании теплопередающих трубок (как обычных, содержащих внутри пористые покрытия различного типа, так и без них - испарительных термосифонов). Разработаны основы проектирования термомеханических агрегатов на базе ротационных термосифонов для обработки вязких и дисперсных пищевых продуктов.

Монография основана на результатах многолетних исследований, выполненных авторами, их аспирантами, сотрудниками и, в некоторой степени, ранее опубликованных в статьях, материалах презентаций, текстах докладов, а также ряда монографий, как по тепловым трубам, так и по аппаратам и системам на их основе. Всё перечисленное и определило содержание и объём данной монографии, в которой некоторые проблемы повторяли частично, но в сжатой форме. Другие, как, например, исследования по контактному теплообмену, оптимизационные методики, и анализ предложениям по их обобщению и др. были, по существу, представлены впервые.

Несмотря на обилие обобщающих источников по многим фундаментальным и прикладным проблемам технологии тепловых труб, их содержание оказывается далеко не достаточным для успешной разработки аппаратов и систем на основе ТТ.

Перечисленные факты и явились важными причинами подготовки настоящей монографии.

СОДЕРЖАНИЕ

Глава первая. Типичные задачи при проектировании

технологических комплексов на базе тепловых труб и термосифонов

- 1.1. Характеристика теплотехнологий АПК8
- 1.2. Типы автономных теплопередающих устройств 10
- 1.3. Перспективы применения автономных теплопередающих устройств в технологиях АПК..... 12
- 1.4. Принципы использования АТПУ в теплотехнологиях пищевых

производств	14
1.5. Типичные задачи при проектировании систем на базе АТПУ ..	22
Глава вторая. Теплоаэродинамическая надежность технологических комплексов на базе тепловых труб и термосифонов	
2.1. Развитие технических направлений применения систем с тепловыми трубами и термосифонами	26
2.2. Методология анализа теплоаэродинамической надежности аппаратов с тепловыми трубами	28
2.3. Типичные картины изменения эксплуатационных характеристик теплопередающих модулей	32
2.4. Типичные картины изменения эксплуатационных характеристик термосифонного рекуператора	34
2.5. Классификация теплоутилизационных рекуператоров на тепловых трубах по эксплуатационным признакам	39
2.6. Методика оценки эффективности рекуператора с учетом условий его эксплуатации	41
2.7. Техничко-экономическая оптимизация термосифонных утилизаторов по температуре уходящих газов.....	43
2.8. Порядок оценки надежности аппаратов с тепловыми трубами ...	52
Глава третья. Основы оптимизации параметров тепловых труб, испарительных термосифонов и теплообменных аппаратов на их основе.	
3.1. Исходные положения методик расчёта теплообменных аппаратов на основе тепловых труб	56
3.2. Сопоставление традиционных теплообменных аппаратов и теплообменных аппаратов на основе тепловых труб.....	65
3.3. Оптимизация теплообменных аппаратов на основе тепловых труб или испарительных термосифонов	70
3.4. Анализ микроминиатюризации тепловых труб	76
3.5. Инженерная методика расчёта ТАТТ на основе змеевиковых испарительных термосифонов	82
Глава четвертая. Конвективный теплоперенос в пучках тепловых труб и термосифонов.	
4.1. Теплоотдача при вынужденном поперечном обтекании одиночных труб.....	92
4.2. Теплоотдача при вынужденном поперечном обтекании пучков гладкостенных труб	94
4.3. Аэродинамические сопротивления при течении газов сквозь трубные пучки	96
4.4. Теплообмен и аэродинамика при поперечном обтекании труб с перспективными конструкциями оребрения	105
Глава пятая. Конвективный теплоперенос от поверхности тепловых труб к дисперсному потоку	
5.1. Классификация дисперсных потоков.....	114
5.2. Аэродинамика дисперсных потоков	115
5.3. Силы взаимодействия частиц в дисперсных потоках	116

5.4.	Отвод теплоты к дисперсному потоку в формах «газовзвесь», «слой»	118
5.5.	Отвод теплоты к «дисперсному потоку» типа «фонтанирующий слой»	126
5.6.	Теплообмен псевдооживленного слоя	128
5.7.	Специфика теплопереноса в системе «зерновой поток - тепловые трубы».....	129
5.8.	Механика обтекания зерном мучка тепловых труб	132
5.9.	Теплоотдача цилиндрических труб гравитационному зерновому слою	133
5.10.	Теплоотдача плоских труб зерновому потоку	141
Глава шестая. Контактный теплообмен в конструкциях с тепловыми трубами		
6.1.	Развитие физических представлений о природе и механизме переноса теплоты через механический контакт	145
6.2.	Методы расчета контактной теплопередачи	147
6.3.	Математическая модель контактного теплообмена тепловой трубы с поверхностью	158
6.4.	Экспериментальное моделирование контактного теплообмена тепловой трубы с поверхностью	158
6.5.	Ресурсные исследования моделирования контактных разъединителей	171
Глава восьмая. Расчёт и оптимизация параметром малых котлов, работающих с испарительными термосифонами		
7.1.	Исходные положения.....	177
7.2.	Выбор конструктивных параметром конденсатора	179
7.3.	Анализ влияния параметров на критерии оптимизации конденсатора	181
7.4.	Оптимизация параметров парогенератора	193
Глава восьмая. Воздухонагреватели на тепловых трубах и термосифонах		
8.1.	Принципиальные схемы воздухоподогревателей на тепловых трубах и термосифонах	214
8.2.	Показатели эффективности теплообменников на тепловых трубах.....	216
8.3.	Типоразмерный ряд воздухонагревателей на тепловых трубах.....	222
8.4.	Стендовые испытания воздухоподогревателя ТГ-2-200.....	226
8.5.	Экспресс-анализ режимов работы теплообменников типа ТТ .	230
8.6.	Эффективность внедрения утилизаторов на тепловых трубах в перерабатывающих отраслях АПК	232
8.7.	Теплоутилизаторы на плоских тепловых трубах	237
Глава девятая. Тепломассоутилизаторы на термосифонах		
9.1.	Специфика потока отработавшего теплоносителя в сушильных установках пищевых производств	248
9.2.	Теплофизическая модель.....	250
9.3.	Моделирование процессов тепломассопереноса на поверхности термосифона	251

9.4.	Трехзонная модель взаимодействия слоя пыли с конденсатов.....	253
9.5.	Межкомпонентный массообмен в межрядном пространстве тепломассоутилизатора	254
9.6.	Сушильные установки с теплоутилизатором	256
Глава десятая. Технологическое оборудование перерабатывающих производств на базе тепловых труб		
10.1.	Проблемы традиционных теплотехнологий сушки зерна.....	274
10.2.	Принцип перевода шахтных зерносушилок на экологически чистый способ сушки.....	276
10.3.	Модернизация зерносушилки ДСП-32.....	278
10.4.	Слоевой теплообменник с термосифонами.....	285
10.5.	Термосифонный регенератор теплоты сыпучих сред	290
10.6.	Комбинированная схема сушки сыпучего материала на основе тепловых труб и теплового насоса.....	291
10.7.	Автономная термосифонная система охлаждения зерна в силосах.....	293
10.8.	Проект блочной зерносушилки.....	295
10.9.	Рекуперативная зерносушилка	302
10.10.	Производственные испытания модернизированной рециркуляционной зерносушилки ДСП-32 с утилизатором на термосифонах	313
Глава одиннадцатая. Технологическое оборудование пищевых производств на базе тепловых труб		
11.1.	Оборудование на базе тепловых труб межотраслевого применения.....	321
11.2.	Применения оригинальных конструкций АТПУ в консервном производстве	322
11.3.	Применение термосифонов при производстве мясопродуктов.....	347
11.4.	Термосифоны в технологиях использования естественного холода	363
Заключение		370