

фторопластовых тепло- и массообменных аппаратов, а также новых технических и технологических решений, уникально стойкого к воздействиям любых коррозионноактивных сред фторопластового материала существенно улучшит качество особо чистой азотной кислоты.

Полученные математические зависимости обеспечивают возможность прогнозировать процесс стабилизации сырья для получения особо чистой азотной кислоты и проводить его в рамках оптимальных показателей технологического режима.

*Поступила в редколлегию 25.03.10*

УДК 66.045.1:661.48:662.749.2

**Ю.Б. ДАНИЛОВ**, докт. техн. наук, **В.Н. КОЛОМИЕЦ**, канд. техн. наук, ОАО «УкрНИИхиммаш», г. Харьков, Украина

## **ОБОРУДОВАНИЕ ИЗ ФТОРОПЛАСТА ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ И НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

У роботі приведені розробки обладнання із фторопластових матеріалів, виконані в ВАТ «УкрНДІ-хіммаш». Таке обладнання завдяки унікальній хімічній стійкості фторопласту цінне для виробництв корозійно активних та особливо чистих речовин. Наведені приклади його застосування та переваги по відношенню до традиційного устаткування з металу та вплив на поліпшення умов проведення технологічних процесів.

В работе приведены разработки оборудования из фторопластовых материалов, выполненные в ОАО «УкрНИИхиммаш». Такое оборудование благодаря уникальной химической стойкости фторопласта ценное для производств коррозионно активных и особо чистых веществ. Приведены примеры его применения и преимущества по отношению к традиционному оборудованию из металла и воздействие на усовершенствование условий осуществления технологических процессов.

The paper presents the development of equipment from fluoroplastic materials, made in ОАО «УкрНИИхиммаш». Such equipment thanks to its unique chemical resistance of Teflon valuable for the production of corrosion-active and very pure substances. Examples of its application and advantages relative to traditional equipment, metal and the impact on the improvement of conditions of technological processes.

В процессе развития промышленности постоянно возникает необходимость в создании и организации промышленного выпуска теплообменной

аппаратуры с высокой коррозионной стойкостью, способной конкурировать по работоспособности с аппаратами из нержавеющей стали и других дефицитных дорогостоящих материалов. Это особенно важно при оснащении технологических линий вновь разрабатываемых или реконструируемых производств, где серийно поставленная теплообменная аппаратура не удовлетворяет новым требованиям технологии, а также в тех случаях, когда срок службы ее недостаточен.

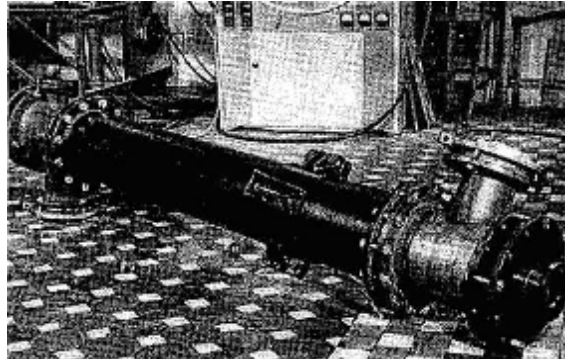
ОАО «УкрНИИхиммаш» является «пионером» и до сих пор остается лидирующей организацией в странах СНГ по разработке фторопластовых теплообменных аппаратов. На протяжении десятилетий в УкрНИИхиммаш поступают запросы о возможности создания теплообменной аппаратуры из фторопласта для производств с особо агрессивными средами, такими как минеральные кислоты (серная, соляная, азотная, фтористоводородная), сильные окислители или смеси органических продуктов с кислотами. Анализ этих запросов показывает, что во многих производствах, в которых теплообменная аппаратура является узким местом в технологических линиях, используемое оборудование, в основном из высоколегированных сталей и сплавов, имеет недостаточный срок службы, низкую эксплуатационную надежность. Решения этой проблемы возможно благодаря фторопластовым теплообменным аппаратам. Универсальная химическая стойкость фторопласта позволяет использовать эти теплообменники для теплообмена в высоко агрессивных средах и в особо чистых веществах.

Материал теплообменника не оказывает каталитического влияния на кинетику химических процессов. Гидрофобные свойства фторопласта способствуют исключению зарастания рабочих поверхностей теплообмена, что обеспечивает неизменность коэффициента теплопередачи на весь период эксплуатации аппарата, а также уменьшению гидравлического сопротивления.

Разработанные и изготавливаемые ОАО «УкрНИИхиммаш» фторопластовые теплообменные аппараты по конструкции могут быть погружными и кожухотрубчатыми. Основная рабочая часть теплообменного аппарата - теплообменный элемент, состоящий из пучка гибких фторопластовых труб внутренним диаметром 3 – 5 мм. Количество и длина труб определяется необходимой площадью поверхности теплообмена. Концы труб сварены во фторопластовую трубную решетку, образуя, таким образом, коллектора для подвода и отвода рабочей среды или теплоносителя в теплообменник. Меж-

трубное пространство образуется переплетением трубок или установкой промежуточных дистанционных решеток.

На рис. 1 представлен кожухотрубчатый фторопластовый теплообменный аппарат для одной агрессивной среды.



Общий вид



Трубный пучок

Рис. 1. Кожухотрубчатый фторопластовый холодильник

Площадь поверхности теплообмена таких аппаратов 20 и 32 м<sup>2</sup>.

Агрессивная среда или особо чистая среда подается в трубное пространство, теплоноситель в межтрубное.

Нашли широкое применение в качестве холодильника на предприятиях по получению и переработке минеральных кислот.

Кожухотрубчатый фторопластовый теплообменник для двух агрессивных сред представлен на рис. 2.

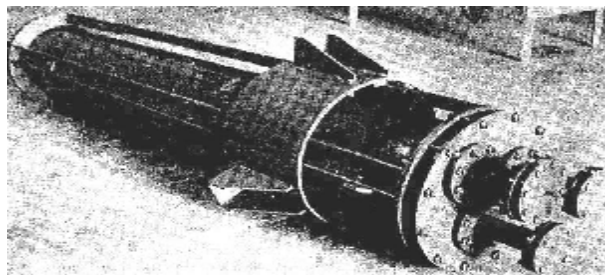


Рис. 2. Кожухотрубчатый фторопластовый конденсатор

Площадь поверхности теплообмена таких аппаратов составляет 6,3; 20; 32; 40 м<sup>2</sup>.

Такие теплообменные аппараты нашли широкое применение для охлаждения и конденсации парогазовых коррозионно-активных и особо чистых сред.

Корпус аппарата футерован фторопластом - 4.

Такой вид аппарата хорошо зарекомендовал себя при охлаждении парогазовой смеси дибромдихлорвинил-фосфата, конденсации паров азотной кислоты, монохлоруксусной кислоты и др.

Процессы конденсации занимают важное место в технологии многих химических и нефтехимических производств.

В конденсаторе, который является первичным аппаратом по переработке парогазовой смеси, поступающей из реактора или колонны, выделяется один или несколько компонентов в виде жидкой составляющей, остальные компоненты направляются на дальнейшую переработку в последующих стадиях производства. Таким образом, конденсатор по прямому назначению выполняет сугубо теплотехническую задачу – отвод тепла.

Одновременно с этим в конденсаторе изменяется фазовый состав смеси в соответствии с заданными теплотехническими условиями, т.е. при необходимости процесс конденсации может осуществляться как изотермический процесс теплообмена.

Образно говоря, конденсатор способен выполнять функции, дополняющие или направляющие основной технологический процесс.

В различных отраслях промышленности широко распространены поверхностные конденсаторы, в которых тепло отнимается от конденсирующегося парогазового потока через стенку.

В таких конденсаторах пар конденсируется на внешних или внутренних поверхностях труб, омываемых с другой стороны хладоносителем.

В качестве поверхностных конденсаторов могут быть использованы теплообменники различных типов, но наиболее широко применяются трубчатые и оросительные холодильники – конденсаторы. Такие конденсаторы изготавливаются из самых различных материалов.

Выбор материала диктуется в основном его коррозионной стойкостью и теплопроводностью.

В качестве недостатков поверхностных конденсаторов из металла следует отнести их большую металлоёмкость, они требуют большого расхода

хладоагента. Последнее объясняется тем, что на стенках теплопередающих труб образуется слой накипи, который оказывает добавочное термическое сопротивление, вследствие чего существенно снижается коэффициент теплоотдачи. Снижению величины коэффициента теплоотдачи также способствует пленочный режим конденсации. Они имеют малый срок службы, особенно в коррозионно-активных средах.

Разработанные ОАО «УкрНИИХиммаш» трубчатые конденсаторы из фторопластовых материалов целесообразно применять в тех случаях, когда исходная парогазовая смесь, обладая высокой коррозионной активностью, содержит в своём составе инертные не конденсирующиеся примеси или необходимо обеспечить высокую чистоту перерабатываемых и получаемых веществ.

Опыт эксплуатации фторопластовых конденсаторов показал, что коэффициент теплоотдачи от парогазовой смеси в большой степени зависит от величины содержания неконденсирующихся составляющих, которая в этих случаях является определяющей.

В связи с этим конденсаторы из фторопластовых материалов с низким коэффициентом теплопроводности фторопластовых материалов имеют сопоставимые величины теплового потока в сравнении с металлическими.

Благодаря гидрофобным свойствам фторопласта на поверхности теплообмена происходит процесс капельной конденсации.

Опыт эксплуатации фторопластовых конденсаторов показывает, что в данных аппаратах коэффициент теплоотдачи выше, чем у фторопластовой теплообменной аппаратуры, применяемой в качестве нагревателей и холодильников. Это объясняется тем, что сконденсированный конденсат стекает по поверхности теплообмена не в виде пленки конденсата, а в виде отдельных капель.

Капли занимают лишь определенную часть поверхности конденсации, а на остальной поверхности процесс теплоотдачи определяется только термическим сопротивлением мономолекулярного граничного слоя жидкости, в котором образуются зародыши капель и термическим сопротивлением толщины стенок фторопластовых трубок на участках, не смоченных жидкостью.

Механизм процесса капельной конденсации можно представить рис. 3.

В результате конденсации пара 2 на холодной поверхности фторопластовых трубок 4 образуется пересыщенный граничный слой сконденсированной жидкости 3 и капли жидкости 1.

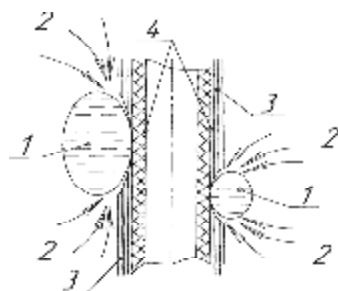


Рис. 3. Процесс капельной конденсации:  
 1 – капля; 2 – конденсация пара; 3 – пересыщенный слой;  
 4 – холодная стенка фторопластовой трубы

Из пересыщенного граничного слоя 3 в каплю 1 непрерывно поступает жидкость. Капля 1 постепенно растет, соединяется с другими и скатывается вниз по вертикальной теплопередающей поверхности фторопластовой трубы 4 как только её вес превысит действующую на неё силу адгезии. На месте скатившейся капли образуются новые капли.

Рассматривая процесс конденсации на поверхности фторопластовых труб экспериментального стенда, можно определить, что капли конденсата, занимают примерно 40 – 50 % площади поверхности конденсации.

Остальная площадь представляет собой хаотично меняющиеся друг друга области тонко стекающей пленки жидкости, в которой образуются капли и области вообще не смоченной поверхности теплообменных фторопластовых труб.

Такая картина объясняет высокие значения коэффициентов теплоотдачи при капельной конденсации.

Их значения выше на 30 – 40 % для фторопластовой теплообменной поверхности по сравнению с величинами коэффициента теплоотдачи при пленочной конденсации.

При обработке экспериментальных данных процесса капельной конденсации, а также в результате анализа данных эксплуатации фторопластовых конденсаторов в промышленных условиях выявлено, что с увеличением скорости парогазового потока происходит уменьшение величины значений коэффициента теплоотдачи.

Такое обстоятельство выявило необходимость выполнить корректировку конструкционных размеров фторопластовых конденсаторов.

Наиболее оптимальные величины технической характеристики фторопластовых конденсаторов, разработанных ОАО «УкрНИИхиммаш», приведены в таблице.

Техническая характеристика фторопластовых конденсаторов

Площадь поверхности теплообмена, м <sup>2</sup>	Высота трубного пучка из фторопластовых труб (поверхность конденсации), мм	Эквивалентный диаметр межтрубного пространства, м
6,3	1750	0,066
20,0	1940	0,042
32,0	2780	0,042
40,0	2940	0,042

На основании анализа экспериментальных и промышленных данных эксплуатации фторопластовых конденсаторов можно сделать следующие выводы:

1. Исключительно гладкая и несмачиваемая жидкой средой теплообменная поверхность фторопластовых труб обеспечивает проведение процесса конденсации парогазового потока в режиме капельной конденсации.

2. Процессы капельной конденсации характеризуются высокими значениями коэффициентов теплоотдачи, что обеспечивает значительное снижение энергетических затрат.

3. Универсальная химическая стойкость фторопласта в коррозионно-активных средах при температурах до +200°С обеспечивает эксплуатацию фторопластовых конденсаторов до десяти и более лет.

Процессы обработки газов и жидкостей лежат в основе многих технологических операций химической, нефтяной, газовой и ряда других отраслей народного хозяйства.

Большинство этих процессов может проводиться в интенсивно работающих пенных аппаратах.

В последнее время четко определилось направление, связанное с проведением массообменных и тепловых процессов при небольших скоростях потоков газов и жидкостей, что и осуществляется в аппаратах, работающих в турбулентном пенном режиме.

К таким процессам относятся процессы абсорбции газовых компонентов жидкостями и десорбции газов из жидкой фазы, испарения и конденсации жидкостей (перегонка), ректификация, охлаждение и нагрев газов или жидкостей путем теплообмена между фазами, очистки газов от пыли, тумана, вредных газовых компонентов.

ОАО «УкрНИИхиммаш» разработал и освоил изготовление фторопластовых теплообменных аппаратов погружного типа площадью поверхности

теплообмена 6,3, 10, 32, 63 м<sup>2</sup> (рис. 4).

Предназначены они для нагрева, охлаждения и конденсации коррозионно-активных и особо чистых сред, могут быть установлены в аппаратах, емкостях открытого типа.



Рис. 4. Фторопластовый теплообменник погружного типа

Обладают свойством совмещать процессы тепломассообмена и сепарации, что позволяет широко использовать их в колонном оборудовании в качестве встроенных дефлегматоров, газовых холодильников, конденсаторов, сепараторов, контактных тепломассообменных устройств с развитой поверхностью контакта фаз.

Такой аппарат состоит из объёмных дисков, образованных переплетением между собой теплообменных трубок, концы которых собраны и сварены в две трубные решетки.

В зоне расположения теплообменных трубок под воздействием жидкой и парогазовой фаз образуется развитый пенный слой контакта рабочих фаз, что способствует интенсификации процессов теплообмена, массообмена и сепарации.

Аппарат обеспечивает проведение процессов, например, абсорбции в изотермическом режиме, отвод избытка жидкой фазы из области контакта фаз, а также уменьшает до минимума брызгоунос из колонного аппарата.

Эксплуатация таких аппаратов в качестве контактных тепло-массообменных устройств в промышленных колоннах производства минеральных кислот в качестве дефлегматоров, газовых холодильников, массообменных тарелок подтверждает их высокую эффективность и работоспособность.

Так применение таких аппаратов для охлаждения абгазов ректификационных колонн позволило уменьшить содержание продукционных веществ в газовом потоке на 50 – 80 % и снизить температуру газа.

Такие устройства, установленные на ситчатых тарелках колонных аппаратов в качестве мобильной насадки с развитой пенообразующей поверхностью, обеспечивают значительную интенсификацию процесса абсорбции.

Их применение в отбелочных колоннах производства концентрирования азотной кислоты прямым методом позволило значительно оптимизировать процесс десорбции оксидов азота.

За счет стабильного поддержания оптимальной температуры паров на выходе из отбелочной колонны в интервале 34 – 39 °С содержание оксидов азота в парах увеличилось до 98 – 98,9 масс. %, а содержание азотной кислоты снизилось до 1 – 2 масс. %.

Таким образом, было достигнуто получение концентрированной азотной кислоты высшего качества.

Отсепарированная жидкая фаза контактным тепло-массообменным устройством возвращаясь из газового потока (брызгоунос) обеспечивает повышение выхода готового продукта на 7 – 10 %. Аналогичные показатели получены при применении контактного тепло-массообменного устройства в колоннах концентрирования азотной кислоты нитрат-магниевым методом.

Теплообменный аппарат данного типа находит свое применение и в нефтеперерабатывающей промышленности, например, в колонне разложения сульфит – бисульфита натрия серной кислотой установки мокрого катализа на ОАО «Новокуйбышевский НПЗ».

Технологический проект колонны разложения сульфит – бисульфита натрия разработан ОАО «УкрНИИхиммаш» по заданию ООО «Гипрохим», г. Москва.

Рассматриваемый фторопластовый теплообменный аппарат используется в колонне разложения в качестве конденсатора.

На предприятиях аналогичных ОАО «Новокуйбышевский НПЗ» образуются большие количества низкосортного сульфата натрия, а именно сульфит – бисульфита натрия, который после соответствующей переработки в качественный сульфат натрия имеет большое практическое значение. Он используется в производстве синтетических моющих средств, стекла, соды, технических сортов бумаги, «крафт»-целлюлозы и глауберовой соли, которая применяется в лечебных целях.

Процесс переработки некачественного сульфата натрия в качественный осуществляется в колонне разложения, оснащенной фторопластовым конденсатором. Введение колонны разложения в эксплуатацию намечено в 2010г.

Ярким примером преимущества оборудования из фторопласта является разработанный и поставленный на производство ОАО «УкрНИИхиммаш» реактор получения диэтилового эфира для эфирных производств. В эфиризаторе нового поколения в качестве конструкционных материалов полностью использованы фторопластовые материалы.

Углеродистый корпус типового эфиризатора защищен от коррозии гомотенным освинцеванием (свинец 99, 98 %), а змеевик для создания рабочей температуры в эфиризаторе от 70 до 140 °С изготовлен из свинцовой трубы Ø 30 мм с толщиной стенки 8 – 9 мм.

Срок службы свинцового покрытия толщиной 10 мм корпуса эфиризатора составляет 6 – 8 месяцев, а свинцового змеевика 2 – 4 месяца.

Трубный пучок фторопластового теплообменного аппарата, выполненный в виде объемного цилиндра, обеспечивает поддержание необходимой температуры равномерно в любой точке нагреваемой среды. Кроме того, такая поверхность теплообмена одновременно используется в качестве развитой поверхности массообмена, то есть насадки. Такая насадка, обладая развитой удельной поверхностью порядка 100 м<sup>2</sup>/ м<sup>3</sup>, имеет свободный объем 80 % в силу чего образуется эффективная поверхность фазового контакта серной кислоты и паров этилового спирта.

Такое сочетание теплообменника и насадки в одном аппарате способствует улучшению эффективности реакции этерификации эфира за счет полноты проводимой реакции в реакторе – эфиризаторе.

Кроме того, принятые при разработке новые конструктивные и технологические решения обеспечивают высокое качество эфира в процессе эксплуатации промышленного эфиризатора из фторопластовых материалов уже в течение более семи лет.

Кроме выше перечисленного оборудования ОАО «УкрНИИхиммаш» разработал и изготавливает фторопластовые теплообменные аппараты площадью поверхности теплообмена от 1.0 до 25 м<sup>2</sup> для гальванических производств.

Анализ промышленных предприятий показывает, что во многих случаях, особенно в производствах большой химии, требуется более производи-

тельные теплообменники площадью поверхности теплообмена  $100 \text{ м}^2$  и выше.

Эта необходимость способствовала началу разработки нового типа теплообменников из фторопласта – оросительных конструкций.

Такая конструкция теплообменных аппаратов выбрана вследствие того, что данный тип теплообменной аппаратуры имеет широкое применение в химической и нефтехимической промышленности из-за упрощенной конструкции, удобство изготовления и эксплуатации, сравнительно легкое достижение необходимой теплопроизводительности, экономного расхода воды.

При этом преследуется цель уменьшить или устранить полностью недостатки присущие подобным конструкциям из металла.

Удельная поверхность в оросительных теплообменниках из фторопласта может составлять  $100 \text{ м}^2/\text{м}^3$  и более.

Тогда как в традиционных чугунных она составляет  $7 - 10 \text{ м}^2/\text{м}^3$ , а это значит, что на порядок увеличивается количество воды на единицу объема теплообменного пучка при тех же плотностях орошения.

То есть трубный пучок из фторопластовых трубок находится в плотной водяной рубашке, что способствует эффективному теплообмену.

Используя блочно-модульный принцип можно легко варьировать его возможности, добиваясь наиболее эффективной работы теплообменника в конкретных условиях, увеличивая его мощность добавлением блоков развивая площадь поверхности теплообмена до  $500 \text{ м}^2$  и более.

Эффективная работа оросительного теплообменника из фторопластовых трубок малого диаметра возможна при значительно меньших плотностях его орошения, что выгодно с энергетической точки зрения.

Антиадгезионные свойства фторопластовой теплообменной поверхности исключают образование загрязнений и всякого рода отложений на поверхности теплообменных труб, за счет чего обеспечивается постоянство теплопередачи в процессе эксплуатации.

Обслуживание сводится к эпизодическому промыванию трубных пучков струей воды без разборки и остановки аппарата.

Высокая стойкость фторопласта в коррозионных средах сводит к минимуму возможность выхода трубок из строя.

Вследствие этого сокращаются потери кислоты при авариях и неизмеримо уменьшается степень закисления водооборотного контура и затраты на восстановление качества оборотной воды.

Заслуживает внимание разработанный ОАО «УкрНИИхиммаш» по заказу ОАО «Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез» каплеотбойник из фторопластовых материалов для конденсатора WSA на установке «Производство серной кислоты и регенерация отработанной серной кислоты».

Каплеотбойник представляет собой прямоугольный корпус, объем которого заполнен каплеотбойным элементом в виде объемного пористого блока (рис. 5).



Рис. 5. Каплеотбойник фторопластовый

Эффективность работы каплеотбойника по сепарации капель жидкости из отходящего газожидкостного потока обеспечивается необходимой плотностью объемного пористого каплеотбойного элемента и разностью площадей сечения проема в опорной и защитной рамках корпуса каплеотбойника.

Сепарация капель жидкости из газожидкостного потока при его прохождении через каплеотбойник, осуществляется за счет удара капель об сетку каплеотбойного элемента и многократного изменения (увеличение – резкое падение) скорости газо-жидкостного потока.

Температура парожидкостного потока, поступающего в каплеотбойник для сепарации жидкости, составляет 100 °С.

Есть основание утверждать, что при такой температуре имеет место потеря серной кислоты, которая уходит в атмосферу в виде паровой фазы.

ОАО «УкрНИИхиммаш» разработал эффективный метод очистки отходящего парогазового потока после конденсатора WSA на базе фторопластового теплообменника представленного на рис. 4.

Отходящие газы практически будут «сухими» и экологически чистыми.

Одновременно увеличивается производительность установки по серной кислоте за счет предотвращения ее потерь с отходящим парогазовым потоком.

ОАО «УкрНИИхиммаш» имеет также опыт разработки и изготовления широкой гаммы химического оборудования для производств малотоннажной химии, выпускающих особо чистые вещества и химреактивы: колонны дефлегмационные, ректификационные, абсорбционные, десорбционные, промывные; реакторы, эфиризаторы и емкостное оборудование, сильфонные дозирующие насосы, запорная арматура Ду 10, 15, 20, 25, фильтры патронные и мембранные, трубопроводы для обвязки оборудования.

На базе данного оборудования можно создавать установки для получения особо чистых веществ, например, особо чистой серной кислоты. Инертность фторопласта по отношению к перерабатываемым веществам позволяет обеспечить высокую степень чистоты получаемых особо чистых веществ.

*Поступила в редколлегию 25.03.10*

УДК 666.1.038

**А.М. ХАРЧЕНКО, М.А. ХАРЧЕНКО**, канд. техн. наук,  
ОАО «УкрНИИхиммаш», г. Харьков, Украина

## **АППАРАТ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ**

В статті описана конструкція розробленого апарату дискового для термічної обробки сипучих матеріалів та дані рекомендації для його розрахунку на задану продуктивність відносно до процесу одержання бажаного продукту.

В статье описана конструкция разработанного аппарата дискового для термической обработки сыпучих материалов и даны рекомендации для его расчета на заданную производительность относительно к процессу получения желаемого продукта.

In this article the construction of disk device elaborated for thermal processing loose materials is described and the recommendations for calculation of apparatus for necessary process and productivity are given.