

# ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ОТРАСЛЯХ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

## ENERGY EFFICIENCY TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF PRODUCTION PROCESSES IN PROCESS INDUSTRIES

*D. Martinov  
A. Novichenko  
I. Kuchinova  
V. Martinov  
E. Puzenko*

### Annotation

The article presents possible ways of modernization of technological equipment with the functional elements of the heat exchange destination: column evaporators used in the food and chemical industries with demanding rectification of thermal treatment modes of the liquid mixture and obtaining the valuable final product. The conceptual scheme layout and operation of columnar film evaporator, which uses guide elements and injectors, adjustable by means of automation.

**Keywords:** heat exchangers, the energy efficiency of refining processes, fluid flow heat exchanger system, casing film evaporator, thermo-biological treatment.

**Мартынов Дмитрий Юрьевич**

*К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА  
им. К.А. Тимирязева, г. Москва*

**Новиченко Антон Игоревич**

*К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА  
им. К.А. Тимирязева, г. Москва*

**Кучинова Инна Викторовна**

*Ген. директор*

*ООО "НПП Экоринтех", г. Москва*

**Мартынов Виктор Юрьевич**

*Инженер,*

*ООО "НПП Экоринтех", г. Москва*

**Пузенко Екатерина Евгеньевна**

*Инженер,*

*ООО "НПП Экоринтех", г. Москва*

### Аннотация

В статье представлены возможные пути модернизации технологического оборудования с функциональными элементами теплообменного назначения: колонных испарителей применяемых в пищевой и химической промышленности при ректификации требовательной к тепловым режимам обработки жидкой смеси и получении ценного, конечного продукта. Разработана концептуальная схема компоновки и функционирования колонного пленочного испарителя, в котором используются направляющие элементы и форсунки, регулируемые с помощью средств автоматизации.

### Ключевые слова:

Теплообменные аппараты, энергоэффективность процессов переработки, гидродинамика теплообменных систем, колонный пленочный испаритель, термо-биологическая обработка.

В отраслях перерабатывающей промышленности достаточно часто получение ценных с финансовой и пользовательской точки зрения продуктов достигается, согласно [1, 2, 3], в рамках многостадийной термо-биологической или термо-химической переработки. Ценными конечными продуктами могут являться, например, полученные, согласно [2, 3, 4], в рамках пищевого производственного цикла, требовательные к термическим режимам переработки, молочные продукты, или, полученный, согласно [1, 5], в рамках химического производственного цикла, капролактамы.

При этом, согласно [6, 7, 8, 9], цилиндрический колонный пленочный испаритель может являться одним из базовых элементов в общей структуре пищевого или хими-

ческого производства.

Основной функцией современного цилиндрического колонного пленочного испарителя является формирование эффективных гидродинамических течений и режимов вдоль его внутренних, нагреваемых с внешней стороны стенок, согласно [10, 11], интенсифицирующих теплообмен и испарение отделяемой жидкой среды (например, воды) и, частично или полностью, предотвращающих осмоление и температурное разрушение термически разлагаемых продуктов, на внутренней поверхности данного аппарата. Также важно отметить следующий аспект, несмотря на большие материалоемкость и габаритные размеры колонных пленочных испарителей, они обладают одним преимуществом, возможностью практиче-

ски равномерного прогрева всего объема разделяемой жидкости с получением ценного конечного продукта в термо-гидравлических и термодинамических режимах, позволяющих сохранить данный продукт в полном объеме (или с достаточно небольшими потерями связанны-

ми с термическим разложением данного продукта).

Примерные, сравнительные характеристики различных типовых теплообменных аппаратов – испарителей согласно [2, 6] представлены в Табл. 1.

Таблица 1.

Типовые теплообменные аппараты - испарители.

Обозначение и наименование	Исполнение	Площадь поверхности теплообменника, м <sup>2</sup>	Параметры среды		Масса теплообменника общая (в том числе нержавеющая сталь), кг	Коэффициент теплопередачи в эталонном режиме, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
			Диапазон рабочих температур, °С	Давление в рабочей части аппарата, максимально, Р атмосфер		
<i>Колонный аппарат</i>						
КПА, Колонный пленочный аппарат	Полуразборный	1,55	от 0 до +250	2,5	300	1000-1200
<i>Труба в трубе</i>						
ТТ	Трубы	от 10 до 100	от -30 до +300	от 10 до 80	10000 (4800)	1400
<i>Воздушного охлаждения</i>						
АВГ	Оребренные трубы	от 85 до 540	от -40 до +400	от 6 до 100	12000 (5000)	65
<i>Кожухотрубчатые</i>						
ТНВ, ТНГ, ТКВ	С неподвижными решетками	от 1 до 960	от -30 до +350	от 6 до 40	3410 (2700)	1200
ТКГ, ТП, ХП, ТУ, ИУ	С плавающей головкой	от 10 до 1240	от -30 до +450	от 16 до 80	4700 (3100)	830
	Витые трубы	от 100 до 600	от -200 до +475	от 16 до 200	3600 (3400)	1150
<i>Пластинчатые</i>						
ТПР	Разборные	от 1 до 800	от -20 до +150	10	1900 (940)	1750
ТПП	Полуразборные	от 31 до 300	от -20 до +200	16	2755 (1370)	1900
ТПН	Неразборные	от 100 до 500	от -100 до +300	25	2200 (1200)	1800
КСА	Специальные	от 100 до 2000	550	320	2400 (1800)	1600
<i>Спиральные</i>						
ТС	Лента стальная	от 10 до 100	от -20 до +200	10	6000 (3500)	1400
<i>Пластинчато-ребристые</i>						
ТР	Оребренные пластины	16	от -200 до +200	3	1680 (1600)	850
<i>Из неметаллов</i>						
-	Графит	от 1 до 120	от 10 до +150	5	6000 (2400)	1000
-	Фторопласт	от 1 до 40	до 150	2	1850	300

Согласно представленным в таблице 1 данным можно кратко, оценить колонные пленочные аппараты (испарители) как достаточно производительные с учетом номинального коэффициента теплопередачи в эталонном режиме, и недорогие (с учетом общей массы) аппараты, практически не заменимые в области своей специализации – ректификации термически нестойких жидких сред.

При этом, согласно [2, 3, 6], колонные пленочные испарители можно упрощенно разделить по двум направлениям:

- ◆ роторные колонные пленочные испарители, в которых равномерное распределение жидкости вдоль нагретых вертикальных цилиндрических стенок осуществляется с помощью вращающегося ротора;
- ◆ колонные пленочные испарители в которых ротор отсутствует и равномерное распределение жидкости вдоль нагретых вертикальных цилиндрических стенок осуществляется иными способами, с помощью форсунок, направляющих и иных распределительных устройств.

При этом роторные колонные пленочные испарители имеют ряд недостатков осложняющих их работу:

1. При движении и вращении ротора в объеме жидкости, возникают перепады давления между краем лопасти ротора и внутренней поверхностью стенки, которые при этом сопровождаются неравномерно распределенными турбулентными потоками и избыточным сжатием жидкости, что приводит к дополнительным затратам тепловой и электрической энергии и в отдельных случаях к осмолению и температурному разрушению, на внутренней стенке роторного колонного испарителя, части ценного конечного продукта.

2. Наличие вращающегося ротора в колонном испарителе, работающим под избыточным давлением или под вакуумом, требует: дополнительных финансовых затрат при создании качественной изоляционной системы между подвижным ротором и неподвижным корпусом испарителя; проведения дополнительного техобслуживания, в том числе связанного с частичной или полной разборкой колонного испарителя и заменой изношенных узлов и механизмов, (что также приводит к простоям, и дополнительным потерям финансовых средств).

Колонные пленочные испарители в которых ротор отсутствует в целом более просты в обслуживании, менее энергозатратны, но требуют создания эффективных систем автоматизации и регулировки направляющих и форсунок, для создания гидродинамических и гидравлических режимов, которые бы позволили максимально качественно без потерь конечного продукта разделять жидкие смеси (например, такие как вода и капролактамы в цикле производства капролактама и капрона).

При этом для движения пленки жидкости с требуемой толщиной и динамикой по внутренней поверхности испарителя могут быть использованы направляющие используемые для регулировки направления движения пленки

жидкости и форсунки осуществляющие струйно-капельное орошение прижимающие данную пленку под требуемым давлением к цилиндрическим стенкам испарителя. Авторами статьи разработана концептуальная схема компоновки и функционирования данного колонного пленочного испарителя в котором используются направляющие и форсунки регулируемые с помощью автоматики.

Конструктивная схема колонного испарителя может включать: цилиндрический вертикальный бак (высотой от 1 метра и более); внешнюю цилиндрическую вертикальную теплообменную рубашку параллельную боковой стенке аппарата и разделенную на несколько секций с возможностью быстрой подачи и откачки теплоносителя с определенной температурой в каждую из секций тепловой рубашки, для создания требуемого температурного режима на боковой стенке испарителя; регулируемую (по интенсивности и по углу наклона) систему ввода жидкой смеси; систему отвода части жидкой смеси со стенок аппарата и повторной подачи данной жидкой смеси через форсунки; автоматизированный комплекс регулирующий нагрев в секциях теплообменной рубашки, в целях создания оптимальных теплообменных режимов и предотвращения осмоления на стенках и термического разрушения конечного продукта. Внутренне давление и температура в колонном пленочном испарителе при этом может выбрана в соответствии с конкретными производственными требованиями. Возможная компоновка колонного пленочного испарителя (в виде спереди) представлена на Рис. 1., в вертикальном разрезе (А-А) Рис. 2, и в горизонтальном разрезе (Б-Б) на Рис. 3.

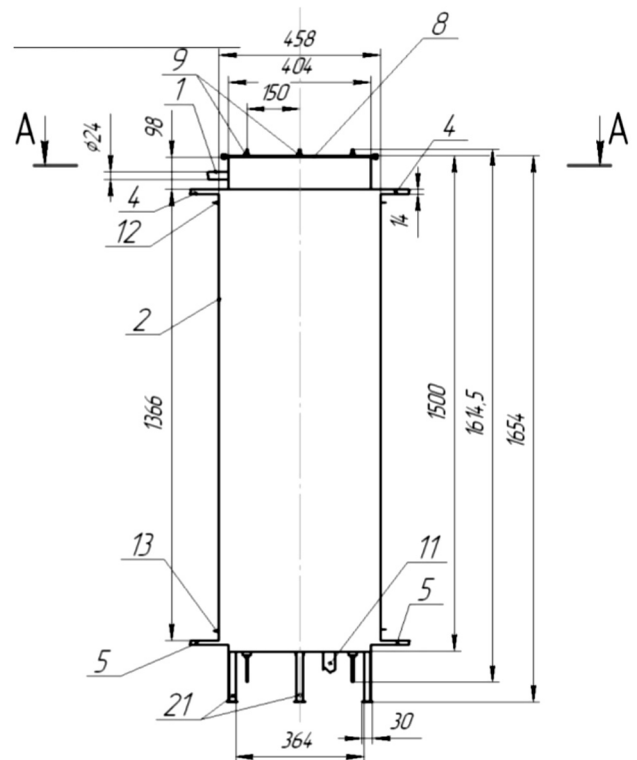


Рис. 1

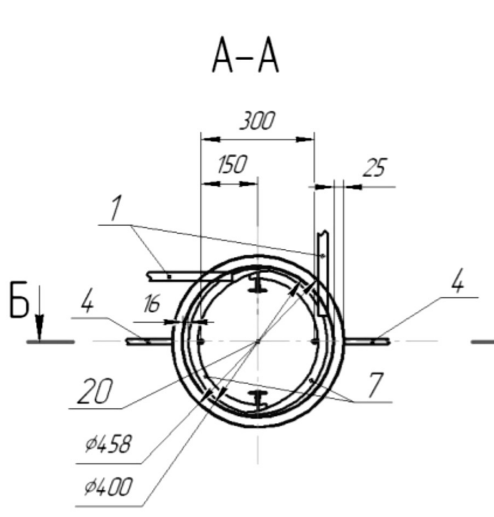


Рис. 2

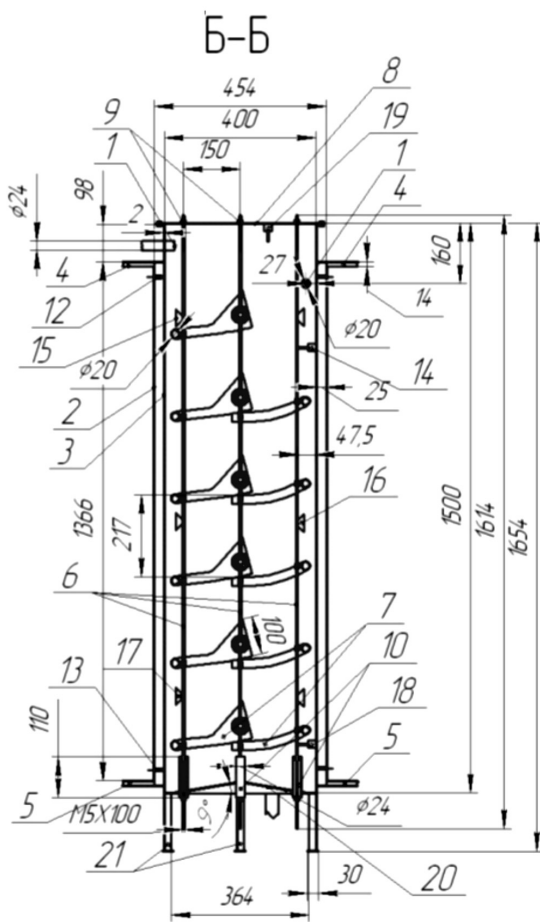


Рис. 3

Схема работы колонного пленочного испарителя

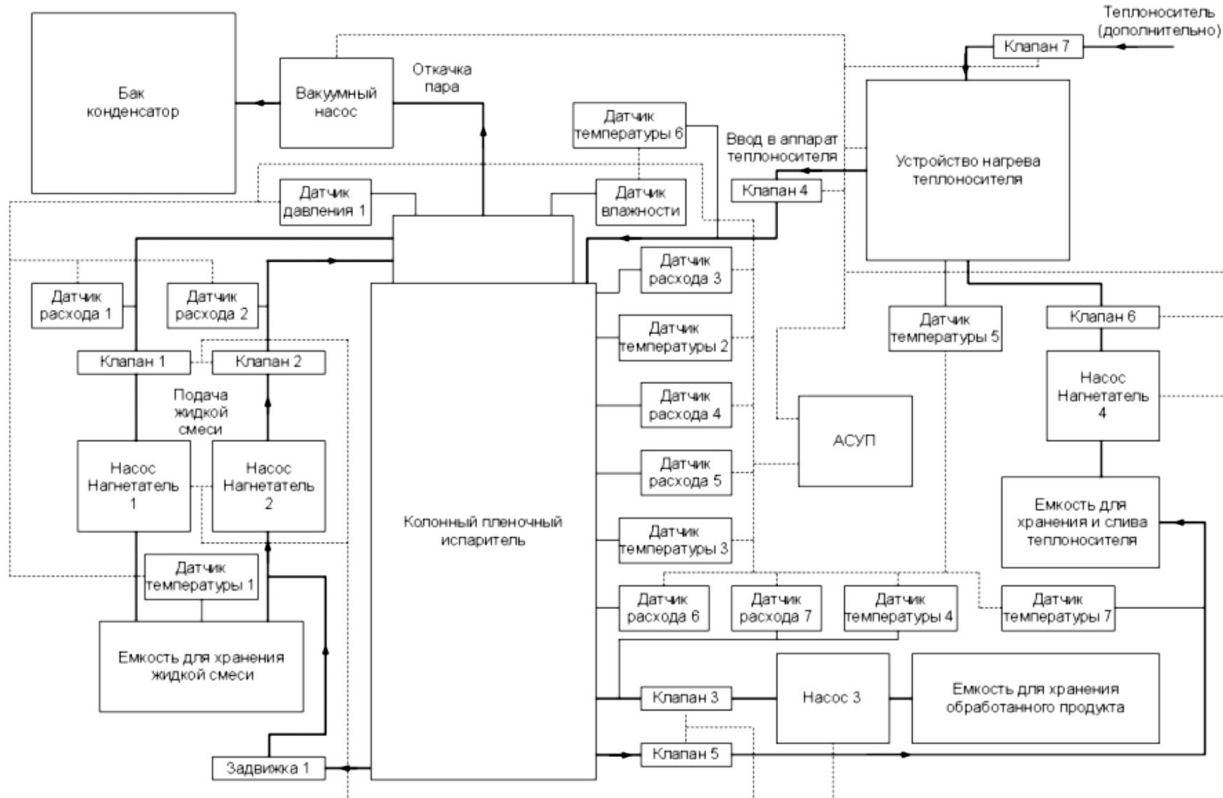


Рис. 4

Колонный пленочный испаритель содержит следующие элементы:

1.	Систему ввода жидкой смеси в колонный пленочный испаритель.
2.	Внешний корпус теплообменной рубашки колонного пленочного испарителя.
3.	Внутренний корпус колонного пленочного испарителя.
4.	Трубы для ввода в теплообменную рубашку теплоносителя.
5.	Трубы для вывода из теплообменной рубашки теплоносителя.
6.	Армирующие стержни для закрепления форсунок и датчиков.
7.	Форсунки для горизонтального перемешивания жидкой смеси.
8.	Крышку колонного пленочного испарителя.
9.	Систему крепежа армирующих стержней на крышке колонного пленочного испарителя.
10.	Нижний крепежный механизм для армирующих стержней.
11.	Трубу вывода жидкого продукта из колонного пленочного испарителя.
12.	Датчики температуры на входе в теплообменную рубашку.
13.	Датчики температуры на выходе из теплообменной рубашки.
14.	Датчики температуры на внутренней стенке колонного пленочного испарителя (в верхней части испарителя).
15.	Датчики расхода жидкости (в верхней части испарителя).
16.	Датчики расхода жидкости (в средней части испарителя).
17.	Датчики расхода жидкости (на выходе жидкой смеси из испарителя).
18.	Датчики температуры на внутренней стенке колонного пленочного испарителя (в нижней части испарителя).
19.	Датчик давления во внутренней части испарителя.
20.	Гидрозатвор.
21.	Вертикальные ножи.

Схема работы колонного пленочного испарителя представлена на **Рис. 4**.

Процесс ректификации жидкой смеси в колонном испарителе согласно **Рис. 1**, **Рис. 2** и **Рис. 3** может быть реализован следующим образом. Через систему ввода (1) жидкая смесь под углом  $0^\circ$  к горизонту вводится и направляется на внутреннюю стенку (3) корпуса колонного пленочного испарителя. В зависимости от типа и времени обработки модельной жидкости скорость ее ввода в колонный пленочный испаритель может составлять от 5 до 20 м/с. Далее жидкая смесь под действием сил тяжести приобретает вертикальную направленную вниз составляющую скорости и попадает на приемное отсечное устройство соединенное проводящей трубой с форсункой (7). Угол под которым жидкая смесь попадает на прием-

ное отсечное устройство определяется скоростью ее ввода и высотой на которой расположены отсечные устройства по отношению к системе ввода жидкости (1). При этом приемное отсечное устройство представляет из себя широкое прямоугольное сопло с размерами входного проема  $100 \times 5$  миллиметров, которое расположено по направлению движения жидкости и может приближаться и отодвигаться от стенки на расстояние в диапазоне от 0 до 20 миллиметров и поворачиваться под углом от  $0^\circ$  до  $20^\circ$  к вертикальной оси за счет автоматического механизированного устройства. Приемное отсечное устройство в регулируемом автоматизированном режиме разделяет жидкую смесь текущую по стенке на две составляющие, где часть жидкой смеси остается на стенке, а другая часть отводится через приемное отсечное устройство и проводящую трубу в форсунку (7), из которой жидкая

смесь выводится в горизонтальном направлении на стенку ниже оси расположения отсечного устройства. Базовым расстоянием по высоте, между приемным отсечным устройством и форсункой может быть выбран промежуток в 100 миллиметров. В колонном пленочном испарителе форсунки (7) могут быть закреплены на корпусе с помощью механизированного автоматизированного устройства управляемого с помощью смещающихся вертикальных тросов (на чертеже не представлены), или в случае стандартных параметров обрабатываемой жидкой смеси форсунки (7) могут быть просто приварены к вертикальным армирующим стержням (6) закрепленным на корпусе.

Всего в испарителе (согласно Рис. 2, и Рис. 3) расположено 12 форсунок, причем внешняя сторона стенки приемного отсечного устройства последующей (расположенной ниже) форсунки соприкасается с проводящей трубой предыдущей (расположенной выше) форсунки, так чтобы жидкая смесь оставшаяся на стенке после прохождения расположенного выше приемного отсечного устройства могла смешиваться с жидкой смесью вытекающей из расположенной чуть ниже форсунки (7), с образованием эффективной зоны микросмешения и теплообмена между внутренним корпусом (3) и поверхностью (пленочного течения) жидкой смеси. Армирующие стержни для закрепления форсунок и датчиков (6) закреплены с помощью системы крепежа на крышке колонного пленочного испарителя (9) и нижнего автоматизированного крепежного механизма для армирующих стержней (10) могут быть зафиксированы на различной высоте в диапазоне в 100 миллиметров вверх и вниз в вертикальном положении для автоматического изменения положения форсунок (7) вдоль вертикальной оси. Для недопущения протечек и разгерметизации колонного пленочного испарителя системы крепежа армирующих стержней на крышке колонного пленочного испарителя (9) и нижний автоматизированный крепежный механизм для армирующих стержней (10) содержат в себе прокладки, и сальник, которые позволят перемещать армирующие стержни в вертикальном направлении в диапазоне от 0 до 100 миллиметров и при этом герметизировать внутреннее пространство аппарата в течении длительного времени, без дополнительного техобслуживания.

После настройки, система форсунок (7) формирует базовый режим гидродинамического течения жидкой смеси по стенке (3) внутреннего корпуса колонного пленочного испарителя. На завершающем этапе конечный (не испаренный) жидкий продукт постепенно стекает вниз и попадает в емкость сформированную пространством между внутренним корпусом колонного пленочного испарителя (3) и гидрозатвором (20), откуда равномерно откачивается через выходную трубу (11) из колон-

ного пленочного испарителя. Гидрозатвор также собирает отдельные капли жидкой смеси, которые отделились сорвались из пленки жидкой смеси текущей по стенке (3) и под действием силы тяжести и упали на гидрозатвор.

Работа колонного пленочного испарителя может регулироваться автоматической системой управления соединенной с компьютером, в этой связи на армирующих стержнях (6) может быть предусмотрено закрепление электронных датчиков, которые будут контролировать гидродинамические барометрические и тепловые параметры жидкой среды внутри аппарата. В том числе может быть предусмотрена установка: датчиков температуры (14) на внутренней стенке колонного пленочного испарителя; датчиков (15) расхода жидкости (в верхней части испарителя); датчиков (16) расхода жидкости (в средней части испарителя); датчиков (17) расхода жидкости (при отводе жидкого продукта из испарителя); датчиков (18) температуры на внутренней стенке колонного пленочного испарителя (в нижней части испарителя). На крышке колонного пленочного аппарата (8), также, может предусмотрена установка датчика изменения давления (19) внутри испарителя. Соединение электронных датчиков с системой управления предусматривается за счет электропроводки, проходящей через крышку колонного пленочного аппарата непосредственно к датчикам (14)–(19).

При работе колонного пленочного испарителя предусматривается обогрев его внутреннего корпуса (3) за счет подачи теплоносителя в теплообменную рубашку, в пространство между внешним корпусом теплообменника рубашки колонного пленочного аппарата (4) и внутренним корпусом (3). Подача теплоносителя в теплообменную рубашку осуществляется через трубу (4) для ввода в теплообменную рубашку теплоносителя. Скорость движения теплоносителя в теплообменной рубашке, и соответственно нагрева стенки (3), регулируется за счет откачки теплоносителя через трубу (5) для вывода из теплообменной рубашки теплоносителя (планируемый диапазон температур нагрева стенки теплоносителем составляет 20-100°C при использовании воды и до 300°C при использовании пара и промышленных теплоносителей). Для регулирования температурного режима нагрева в теплообменной рубашке в предусматривается установка датчиков температуры (12) на входе в теплообменную рубашку и датчиков температуры (13) на выходе из теплообменной рубашки через корпус (4) связанных электропроводами с системой управления.

Таким образом, за счет создания системы внешнего автоматизированного контроля за гидродинамическим режимом течения и внутри колонного пленочного испарителя и температурными параметрами нагрева жидкой смеси (обрабатываемого жидкого сырья) и создания испарителя (аппарата) без вращающихся частей (ротора,

лопастей) с форсунками нового типа ожидается повышение производительности (на 5% и более процентов), уменьшения электрозатрат (на 10% и более процентов)

уменьшение времени техобслуживания в 5 раз по сравнению с роторными аппаратами того же размера и объема.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смит В.А., Дильман А.Д. Основы современного органического синтеза. Учебное пособие.– М.: изд-во "БИНОМ", 2015.– 750с.
2. Коваленко Л.М., Глушков А.Ф. Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи.– М.: изд-во "Энергоатомиздат", 1986.– 240с.
3. Лунин О.Г., Вельтищев В.Н. Теплообменные аппараты пищевых производств.– М.: изд-во "Агропромиздат", 1987.– 239с.
4. Стабников В.И., Баранцев В.И. Процессы и аппараты пищевых производств.– М.: изд-во "Легкая и пищевая промышленность", 1983.– 328с.
5. Волков А.И., Жарский И.М. Справочник по физической химии. Таблицы термических констант веществ.– Минск, изд-во "Книжный дом, Литера Гранд", 2016.– 394с.
6. Мартынов Д.Ю., Мартынов В.Ю. Патент РФ № 2519291 "Пленочный теплообменный аппарат".
7. Систер В.Г., Мартынов Д.Ю. Патент РФ № 2263254 "Контактный теплообменник".
8. Систер В.Г., Мартынов Д.Ю. Патент РФ № 2265781 "Оросительный теплообменник".
9. Систер В.Г., Мартынов Д.Ю. Патент РФ № 2265782 "Теплообменный аппарат с сотовыми элементами".
10. Кошкин В.К., Калинин Э.К., Дрейцер Г.А, Яхро С.А. Нестационарный теплообмен.– М.: изд-во "Машиностроение", 1973.– 328с.
11. Петухов Б.С. Вопросы теплообмена. Избранные труды.– М.: изд-во "Наука", 1987.– 278с.

© Д.Ю. Мартынов, А.И. Новиченко, И.В. Кучинова, В.Ю. Мартынов, Е.Е. Пузенко, ( dimamifi@mail.ru ), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»,

6-я специализированная выставка

# ГЕО-КАЗАНЬ:

## Геологоразведка. Геодезия. Картография.

7-9 сентября  
Казань, 2016

В РАМКАХ ТАТАРСТАНСКОГО  
НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОГО  
ФОРУМА

**Форум проводится при поддержке:**  
**Президента Республики Татарстан**  
**Правительства Республики Татарстан**

ГЕО-КАЗАНЬ

ТНФ

12+  
РЕКЛАМА

Организатор: ОАО «Казанская ярмарка»  
Россия, 420059, Казань, Оренбургский тракт, 8  
т./ф.: (843) 570-51-14, 570-51-17,  
570-51-11 (круглосуточный)  
e-mail: d2@expokazan.ru, expokazan02@mail.ru  
www.geoexpokazan.ru, www.expokazan.ru

ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР  
ISO - 9001

КАЗАНСКАЯ  
ЯРМАРКА