

А.Н. Черепанов

**Ресурсосберегающие технологии в
производстве синтетических моющих
средств (СМС)**

Расчёт процессов и аппаратов

УДК 62-63
ББК 30.6
А11

A11 **А.Н. Черепанов**
Ресурсосберегающие технологии в производстве синтетических моющих средств (СМС): Расчёт процессов и аппаратов / А.Н. Черепанов – М.: Lennex Corp, — Подготовка макета: Издательство Нобель Пресс, 2024. – 406 с.

ISBN 978-5-458-71975-9

В монографии представлены новые теоретические и экспериментальные результаты, которые представляют практический интерес для инженеров и исследователей, работающих в области процессов и аппаратов для производства СМС и других областях химической промышленности. Разработаны новые эффективные способы и устройства расплавления органических кислот в контейнерах. Предложенные конструкции генераторов топочных газов решающие поставленную задачу ресурсосбережения. Разработана и внедрена в производство новая конструкция аэролифта, позволяющая существенно снизить потери напора и обеспечить длительную эксплуатацию без проведения регламентных работ. Разработаны ресурсосберегающие конструкции распылительной сушилки с использованием оптимальной организации газовых потоков. Результаты теоретических исследований показали возможность эффективной утилизации тепловой энергии паровоздушной смеси, удаляемой в атмосферу.

ISBN 978-5-458-71975-9

© Издательство Нобель Пресс, 2024
© А.Н. Черепанов, 2024

Черепанов А.Н

Ресурсосберегающие технологии в производстве синтетических
моющих средств (СМС). Расчёт процессов и аппаратов.

	Стр.
Оглавление	
1. Проблемы ресурсосбережения и их технические решения при производстве СМС	4
2. Ресурсосбережение на подготовительном этапе производства СМС	10
2.1. Критерии эффективности методов расплавления химических продуктов, транспортируемых в твердой фазе	10
2.2. Нагреватель с термостабилизированной поверхностью для плавления синтетических жирных	22
2.3. Экспериментальное исследование процесса плавления синтетических жирных кислот нагревателем с термостабилизированной поверхностью в гейзерном режиме	41
2.4. Проектирование погружаемого излучателя	54
3. Ресурсосбережение путём совершенствования процессов в огневых агрегатах распылительной сушилки	108
3.1. Характеристика особенностей конструкции и эксплуатации огневых агрегатов. Источники повышенного расхода ресурсов	108
3.2. Анализ тепловых и газодинамических процессов, протекающих в огневых агрегатах, использующих высокоэкономичные газовые горелки.	121
3.3. Совершенствование конструкции огневых агрегатов путем	

	использования газовых поясов завесы для обеспечения температурного режима внутренней стенки.	133
3.4.	Экспериментальное исследование теплового состояния конструкции модернизированного газогенератора технологической установки производства СМС.	150
4.	Ресурсосбережение путем совершенствования конструкции продуктопроводов дисперсных сред (аэролифтов)	167
4.1.	Анализ процессов, протекающих в продуктопроводах дисперсных сред (аэролифтах). Причины повышенного расхода ресурсов.	167
4.2.	Теоретический расчет параметров газодинамических процессов в аэролифтах.	171
4.3.	Совершенствование конструкции аэролифта для транспортировки нагретого порошка.	182
5.	Ресурсосбережение путём совершенствования газодинамических процессов в распылительной сушилке	189
5.1.	Анализ газодинамических процессов, протекающих в распылительной сушилке и ее агрегатах. Причины повышенного расхода ресурсов.	189
5.2.	Совершенствование газодинамических процессов в подводящем тракте и сопловом аппарате распылительной сушилки.	213
5.3.	Совершенствование внутренней аэродинамики распылительной сушилки.	226
5.4.	Разработка конструктивных ресурсосберегающих мероприятий на основе использования пористых структур.	249
6.	Энергосбережение за счет рекуперации тепла в распылительной сушилке.	279
6.1.	Термодинамический анализ работы распылительной сушилки.	279

6.2.	Сравнительный анализ различных схем рекуперации тепла удаляемого из распылительной сушилки.	299
6.3.	Исследование параметров компактного пластинчатого теплообменника для рекуперации тепла с учетом конденсации паровоздушной смеси.	307
6.4.	Разработка конструктивного облика компактного теплообменника для рекуперации тепла в технологической установке для производства СМС.	327
6.5	Оценка эффективности энергосбережения при рекуперации тепла в распылительной сушилке.	348
	Приложение I	363
	Приложение II	391
	Заключение	400
	Литература	403

1. Проблемы ресурсосбережения и их технические решения при производстве СМС

Конкурентоспособность любого предприятия зависит не только от выпускаемой продукции, но и от его производственных затрат, существенной частью которых являются затраты на энергоносители, трудозатраты, затраты на техническое обслуживание и ремонт оборудования, не является исключением и производство СМС. Известно, что удельная энергоемкость валового внутреннего продукта в России практически в три раза выше, чем в странах Западной Европы. Трудозатраты в человеко-часах также превышают европейские в три – четыре раза, такая же ситуация и с затратами на ремонт и техническое обслуживание основных средств предприятий, по отношению к их стоимости [1].

Если рассматривать технологический процесс производства СМС, то в целом его можно разделить на следующие ресурсозатратные этапы [2]:

- Процессы приемки, транспортирования и обработки сырья
- Физико-химические процессы приготовления композиции
- Сушка композиции в распылительной сушилке
- Транспортирование с охлаждением и досушкой башенного продукта
- Процессы сухого смешения башенного продукта с нетермостабильными добавками
- Процессы упаковки, хранения и отгрузки готового продукта

Традиционно предприятия-производители СМС в России получают сырьё железнодорожным и автомобильным транспортом. Крупнотоннажные сыпучие продукты поступают в основном в железнодорожных вагонах из которых системами пневмотранспорта разгружаются в силосный склад. Разгрузка одного вагона традиционным способом вакуумным разгрузчиком

продолжается около 8 часов и требует постоянной работы вакуум-насоса, пневмовинтового насоса и компрессора. Ориентировочно получаем затраты электроэнергии в 7300 кВт-часов, работу двух рабочих в течение 8 часов и такой же простой вагонов. Анализ энергозатрат, затрат рабочего времени, затрат ресурсов на техническое обслуживание задействованных в технологической схеме машин и механизмов и затрат на оплату простоя вагонов приводит к тому, что необходимо принципиально менять технологию доставки, разгрузки и внутризаводского транспорта сыпучего сырья.

Существует несколько вариантов решения поставленной задачи.

Однако в реальных условиях производства представляется затруднительным найти такие транспортные компании, которые взяли бы на себя покупку специализированного транспорта и таким образом снизили затраты на производство СМС.

Наиболее приемлемыми, с точки зрения осуществления, представляются методы снижения затрат на внутризаводской транспорт сыпучего сырья путем частичной или полной замены пневмотранспорта на механическую подачу. Известно, что энергозатраты на пневмотранспорт в 4 – 5 раз превышают затраты на механический транспорт [3]. В качестве вариантов замены пневмотранспорта можно рассматривать доставку сыпучего сырья в мягких контейнерах железнодорожными вагонами или автомобильным транспортом. В этом случае существенно ускоряется процесс разгрузки транспортного средства, появляется возможность использовать грузовые лифты и электро- или автопогрузчики для дальнейшей транспортировки сырья.

Другим вариантом является применение железнодорожных вагонов-хопперов для доставки сырья, их разгрузка на ленточный транспортер и дальнейшее перемещение трубчатым скребковым транспортером до загрузки сырья в силосный склад. Этот способ решает также проблему очистки

воздуха, используемого для пневмотранспорта, от пыли и требует незначительных инвестиций в основные средства.

Технико-экономическое обоснование применения этих схем на одном из действующих заводов СМС показывает, что срок окупаемости инвестиций не превышает 1,5 года, при условии использования отечественной техники, в случае же использования импортной техники этот срок возрастает до 5 лет.

Например, синтетические жирные кислоты и линейная алкилбензолсульфокислота, которые при температурах окружающей среды находятся в твердом состоянии и поступают на заводы в цистернах или других транспортных емкостях. При приемке этого сырья необходимо особо обратить внимание на скорость его разогрева, которая определяет время простоя цистерн, затраты энергоресурсов и затраты рабочего времени персонала. В настоящее время этой актуальной проблеме посвящен ряд работ, в которых рассмотрены варианты использования источников тепла, образующихся в процессе производства СМС [4-6]. Кроме того, эту же проблему решает применение оптических методов разогрева, которые позволяют ускорить процесс разгрузки транспортных емкостей в несколько раз и, соответственно, сократить затраты на этот процесс [7,8].

В процессах приготовления композиции наиболее рационально использовать возврат конденсата, образующийся при конденсации пара, обогревающего емкости и частотное регулирование электроприводов перемешивающих устройств, дающее заметный вклад в ресурсосбережение.

Наиболее энергоемким процессом в производстве СМС является распылительная сушка. Анализ работы этой технологической установки позволяет сделать ее более экономичной за счет утилизации тепла парогазовой смеси, удаляемой после сушки в атмосферу. Это тепло можно использовать для подогрева застывшего жидкого сырья, например синтетических жирных кислот или атмосферного воздуха поступающего для сжигания топлива с использованием различного типа теплообменников.

Наилучших результатов возможно достигнуть при утилизации тепла, включая скрытую теплоту парообразования, так как примерно половина парогазовой смеси – это водяные пары. Выбор типа теплообменника и схема утилизации тепла зависит от многих параметров и инженерно-конструктивных решений конкретной распылительной сушилки. Распылительные сушилки также требуют затрат на очистку внутренних поверхностей от налипающего башенного продукта. Эта проблема решается несколькими способами:

- механической очисткой цилиндрической обечайки и конуса сушилки специальными приспособлениями;
- периодическим использованием специальных форсунок для смыва водой образующихся отложений.

Оба эти способа имеют свои достоинства и свои недостатки, но оба требуют затрат энергетических, материальных и людских ресурсов. Наилучшим же представляется гидродинамический способ организации воздушных потоков в сушилке, обеспечивающий отсутствие налипания башенного продукта на ее внутренних стенках. Этот способ позволяет сократить затраты на техническое обслуживание механизмов очистки, на процедуры мойки и повторной сушки растворенных продуктов. Также значительной экономии ресурсов можно достичь применяя частотное регулирование электродвигателей приводов вентилятора вторичного воздуха и вентилятора для удаления парогазовой смеси из распылительной сушилки. Анализ ситуации в реальном производстве, ориентированном на нестабильный рынок и вынужденном работать на разных уровнях производительности показывает высокую скорость возврата инвестиций в частотные регуляторы и отказ от традиционных заслонок в работе вентиляторов. Представляет интерес снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт генератора топочных газов. Эту задачу можно решить реконструкцией газогенератора, обеспечивающей более мягкий

режим работы или, более кардинально, использованием перегретого пара в качестве сушильного агента.

Следующим этапом технологического процесса производства СМС является транспортирование, досушка и охлаждение башенного продукта в аэролифте. Наиболее серьезной проблемой в его эксплуатации является налипание продукта на внутренних стенках и образование комков, требующие регулярной частой остановки производства для чистки аэролифта и возврат на растворение больших количеств порошка, что является непроизводительным расходом ресурсов. В настоящее время разработана оригинальная конструкция аэролифта, позволяющая многократно снизить издержки на его эксплуатацию, как с точки зрения использования рабочей силы для частых чисток, так и с точки зрения повторного растворения и последующей сушки продукта за счет существенного уменьшения налипания продукта на его стенках и обеспечения непрерывности технологического процесса.

Рассматривая стадию смешения башенного продукта с нетермостабильными добавками также можно рекомендовать использование частотных преобразователей для регулирования производительности барабана-смесителя при частичной загрузке производства, этот метод дает хороший экономический эффект, связанный с экономией электроэнергии. Кроме того значительную экономию ресурсов может дать использование гравитационных статических смесителей не требующих затрат ни электроэнергии, ни затрат на техническое обслуживание и ремонт [9].

В процессах упаковки готовой продукции при производстве СМС также есть возможность для экономии ресурсов. Прежде всего это максимальная механизация и автоматизация с использованием фасовочных автоматов, автоматов групповой упаковки типа «wrap around» и палетайзеров, что позволяет в несколько раз сократить затраты рабочей силы на этом технологическом переделе. Существенной экономии ресурсов в виде сокращения производственных площадей можно добиться путем

использования высокоскоростных установок для склеивания тары и упаковки с использованием клеев-расплавов. Это позволяет сократить длину прижимных транспортеров фасовочных автоматов в несколько раз и более рационально использовать освободившиеся производственные помещения.

Оптимальное использование складских помещений возможно при использовании многоярусного хранения по системе «drive in» - задвигающихся в стеллаж поддонов. Подобная организация склада при трехъярусном хранении позволяет разместить в два раза больше продукции, экономно используя складские помещения предприятия.

Таким образом, предлагается краткий обзор технологических, организационных и аппаратурных решений важной народнохозяйственной задачи - повышения конкурентоспособности одной из отраслей химической промышленности – производства синтетических моющих средств путем рационального использования ресурсов.

2. Перусосбережение на подготовительном этапе производства СМС

2.1. Критерии эффективности методов расплавления химических продуктов, транспортируемых в твердой фазе

Накопленный опыт использования в производстве СМС, поставляемых в контейнерах и цистернах загустевших или находящихся в твердой фазе химических продуктов, а также специальные исследования в интересах снижения затрат времени и энергии на операцию нагрева и расплавления, проведенные на примере синтетических жирных кислот (СЖК) фракции C_{16} - C_{22} , показали принципиальные ограничения возможностей ускорения этой операции при использовании традиционных способов, основанных на передаче расплавляемому веществу тепловой энергии [4,6]. Это стимулировало поиск и разработку новых методов расплавления, основанных на световом облучении вещества [7,10,11]. Методы светового облучения, реализуемые как погружаемыми источниками (кварцевые трубы с галогенными лампами), так и устройствами внешней подсветки сквозь пластиковую стенку крупногабаритного ($\sim 1 \text{ м}^3$) контейнера показали высокую эффективность для расплавления веществ класса СЖК.

При внедрении новых методов расплавления химических продуктов, транспортируемых и подаваемых к месту потребления в твердой фазе, а также при сопоставлении возможностей разных методов необходимо четко определить критерии эффективности того или иного метода.

При этом необходимо классифицировать процесс по одной из важнейших целевых характеристик, а именно, процесс может быть одноступенчатым, когда один выбранный метод используется от начала до самого конца операции, но может быть двухступенчатым, когда на первом этапе используется один метод, а на втором – другой, что может дать