

Алексеев, В.Ф. Аннопольский, Н.В. Марков, А.В. Алексеев, Л.Н. Калашник // Сборник научных трудов Государственного научно-исследовательского и проектного института основной химии (НИОХИМ). Серия: Химия и технология производств основной химической промышленности. – Харьков, 2001. – Т. 72. – 228 с.

УДК 661.25:66.048.54

*Р.А. Роблес Кудрин, Т.В. Олейченко (ГУ «НИОХИМ»)*

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА ЧЕТЫРЕХКОРПУСНОЙ УСТАНОВКИ ВЫПАРИВАНИЯ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ**

*Розглянуто чотирикорпусну установку випарювання сірчаної кислоти та визначено її енергозберігаючий потенціал з використанням методу пінч-аналізу.*

*Рассмотрена четырёхкорпусная установка выпаривания серной кислоты и определен ее энергосберегающий потенциал с использованием методики пинч-анализа.*

*Four-effect evaporation plant of sulfuric acid examined and determined its energy-saving potential of using the method of pinch analysis*

Ключевые слова: пинч-анализ, энергосбережение, горячие и холодные утилиты, минимальная разница температур, сеточная диаграмма, составные кривые

**Постановка проблемы.** Украина потребляет более 2 % энергоресурсов планеты, имея численность населения менее 1 %. Энергоемкость отечественных производств в 2–3 раза больше, чем в развитых странах. Переход экономики Украины на рыночные отношения в условиях государственной независимости заострил проблему снижения потребления энергоресурсов. Поэтому энергосбережение признано одним из приоритетных направлений государственной политики. В настоящее время энергообеспечение является одной из основных задач экономического развития Украины, от решения которой во многом будет зависеть возможность окончательного преодоления кризисных явлений. Доказано, что от 85 % до 90 % общего объема спада промышленного и сельскохозяйственного производства связано с необеспеченностью их энергоносителями. Ситуация в данной области усложняется также неэффективностью проводимых мероприятий по энергосбережению. В настоящее время энергетическая политика Украины направлена на сокращение энергозатрат, что отражено в Законе Украины «Об энергосбережении» и Государственной комплексной программе энергосбережения [1]. Поэтому на большинстве украинских предприятий необходимо использовать энергосберегающие методы проектирования.

Проектирование промышленных производств может быть разделено на два уровня. Первый уровень – это проектирование индивидуального оборудования, такого как, реакторы, печи, системы распределения, теплообменные аппараты сушилки, и так далее. Второй уровень – это объединение этого оборудования в интегрированные системы производственных процессов. Один из методов проектирования, который

относится ко второму уровню и известен в настоящее время под названием пинч-анализа, появился в индустриально развитых странах во время нефтяного кризиса 70-х годов двадцатого века.

Отметим еще два очень важных свойства, которые являются важной частью пинч-анализа. Первое – это возможность установления целей проектирования перед началом самого проектирования. Вторым важным свойством есть возможность интеграции процессов в пределах большого производственно-территориального комплекса.

Использование метода пинч-анализа рассмотрим на примере установки выпаривания серной кислоты.

**Описание технологической схемы производства.** Начальный раствор подается из емкости через подогреватель (1) в первый корпус выпарной установки (2). В подогревателе начальный раствор нагревается до температуры, близкой к температуре кипения раствора. Первый корпус установки обогревается свежим (первичным) паром. Вторичный пар, который образуется при кипении раствора в первом корпусе, направляется в качестве греющего пара во второй корпус (3), сюда же поступает частично сконцентрированный раствор из первого корпуса. Аналогично упаренный раствор со второго корпуса подается в третий корпус (4) и четвертый корпус (5), обогреваемые вторичным паром второго и третьего корпуса, соответственно. Упаренный до конечной концентрации в четвертом корпусе готовый продукт поступает из него в емкость. По мере прохождения из корпуса в корпус давление и температура пара снижается, и из последнего (четвертого) корпуса пар с низким давлением отводится в барометрический конденсатор (7), в котором при конденсации пара создается вакуум. Раствор и вторичный пар перемещаются из корпуса в корпус самотеком благодаря общему перепаду давления, возникающего в результате избыточного давления в первом корпусе и вакуума в последнем.

Смесь охлаждающей воды и конденсата сливается самотеком через трубу в бак-гидрозатвор (6). Конденсат из выпарных аппаратов выводится с помощью конденсатоотводчиков в сборники конденсата (на схеме не показаны).

Технологическая схема четырёхкорпусной вакуум-выпарной установки непрерывного действия представлена на рис. 1.

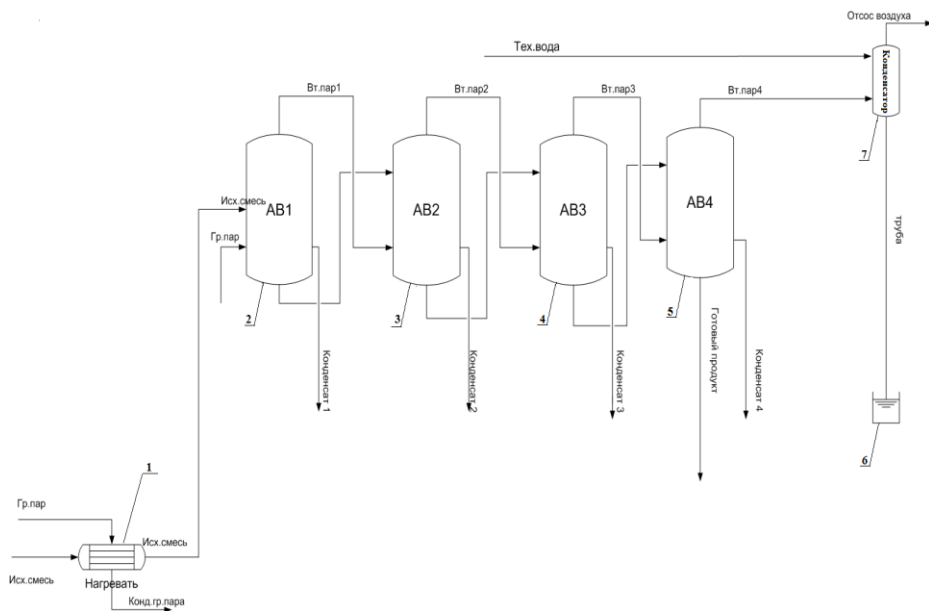


Рис. 1. Принципиальная схема установки выпаривания серной кислоты  
 АВ – выпарные аппараты; С – холодильники; Н – нагреватели; Т – рекуперативные теплообменные аппараты

### Экстракция потоковых данных установки и определение энергосберегающего потенциала.

**Обозначения.**  $CP$  – потоковая теплоемкость, Вт/°С;  $H$  – потоковая нагрузка, кВт;  $T$  – температура, °С;  $T_{нач.}$  – начальная температура потока, °С;  $T_{кон.}$  – конечная температура потока, °С;  $\Delta T_{min}$  – минимальная разность температур.

Сбор данных, необходимых для расчета материального и теплового балансов, осуществлялся путем прямых измерений температур и расходов потоков на установке с помощью расходомеров и переносных термометров [2]. В ходе такого обследования установки были получены данные, приведенные ниже.

*Исходная смесь (Начальный раствор).* Идет из резервуаров через подогреватель в корпус 1.  $T_{нач.} = 10$  °С,  $T_{кон.} = 139$  °С, расход – 3,330 кг/с.

*Техническая вода.* Поступает из резервуаров в конденсатор.  $T_{нач.} = 15$  °С,  $T_{кон.} = 60$  °С, расход – 2,500 кг/с.

*Конденсат греющего пара.* Образуется в низу подогревателя, охлаждается и направляется в парк.  $T_{нач.} = 180$  °С,  $T_{кон.} = 90$  °С, расход – 0,639 кг/с.

*Конденсат 1 (Конденсат греющего пара 1-го корпуса).* Образуется в низу 1-го корпуса, охлаждается и направляется в парк.  $T_{нач.} = 167$  °С,  $T_{кон.} = 30$  °С, расход – 0,483 кг/с.

*Конденсат 2 (Конденсат греющего пара 2-го корпуса).* Образуется в низу 2-го корпуса, охлаждается и направляется в парк.  $T_{нач.} = 155$  °С,  $T_{кон.} = 25$  °С, расход – 0,531 кг/с.

*Конденсат 3 (Конденсат греющего пара 3-го корпуса).* Выходит снизу 3-го корпуса, охлаждается и направляется в парк.  $T_{нач.} = 129$  °С,  $T_{кон.} = 20$  °С, расход – 0,580 кг/с.

*Вторичный пар 4-го корпуса.* Выходит сверху 4-го корпуса и направляется в конденсатор.  $T_{нач.} = 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{кон.} = 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ , расход – 0,628 кг/с.

*Готовый продукт.* Образуется снизу 4-го корпуса, охлаждается и направляется в емкость.  $T_{нач.} = 144\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{кон.} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , расход – 1,078 кг/с.

Используя данные, полученные при обследовании установки (табл. 1), строим сеточную диаграмму процесса выпаривания серной кислоты, как показано на рис.2.

Таблица 1

Данные технологических потоков

| № | Название потока                          | Тип потока | $T_{нач.},$<br>$^{\circ}\text{C}$ | $T_{кон.},$<br>$^{\circ}\text{C}$ | $CP,$<br>кВт/ $^{\circ}\text{C}$ | $\Delta H,$<br>кВт |
|---|--|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------|
| 1 | Конденсат греющего пара                  | Горячий    | 180                               | 90                                | 2,748                            | 247                |
| 2 | Конденсат вторичного пара 1 корпуса      | Горячий    | 167                               | 30                                | 2,062                            | 283                |
| 3 | Конденсат вторичного пара 2 корпуса      | Горячий    | 155                               | 25                                | 2,257                            | 293                |
| 4 | Конденсат вторичного пара пара 3 корпуса | Горячий    | 129                               | 20                                | 2,453                            | 267                |
| 5 | Вторичный пар 4 корпуса                  | Горячий    | 110                               | 110                               |                                  | 1481               |
| 6 | Готовый продукт                          | Горячий    | 144                               | 20                                | 2,790                            | 346                |
| 7 | Исходная смесь                           | Холодный   | 10                                | 139                               | 10,706                           | 1381               |
| 8 | Техническая вода                         | Холодный   | 15                                | 60                                | 10,475                           | 471                |



Рис. 2. Сеточная диаграмма существующего процесса

Используя данные из табл. 1 и сеточной диаграммы (Рис. 2), строим на температурно-энтальпийной диаграмме горячую и холодную составные кривые выбранной системы технологических потоков (рис. 3) [3].

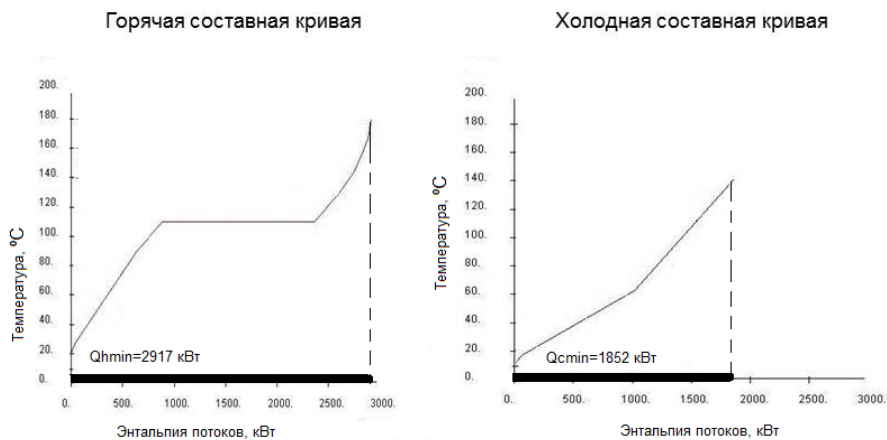


Рис. 3. Составные кривые для существующего процесса  
 $Q_{hmin}$  – минимальное количество горячих утилит;  $Q_{cmin}$  – минимальное количество холодных утилит

На рис. 4 показана температурно-энтальпийная диаграмма для минимальной разницы температур для данного процесса выпаривания серной кислоты  $\Delta T_{min} = 19$  °С (область пинча), которая была определена с помощью программного обеспечения HINT [4]. Исходя из методики пинч-анализа, горячая и холодная составные кривые должны быть расположены таким образом, чтобы минимальная разность температур по температурной оси между ними составила 19 °С. Область перекрытия потоков определяет значение тепловой энергии, которую можно рекуперировать в существующем процессе. В данном случае можно сохранить 1852 кВт, т. е.  $Q_{rec}=1852$  кВт. Часть холодных потоков не может быть нагрета за счет теплообмена с горячими потоками и должна быть нагрета паром. Эта часть потока является минимальным значением для горячих утилит  $Q_{hmin} = 51$  кВт. Часть горячих потоков не может быть охлаждена за счет теплообмена с холодными потоками и должна быть охлаждена водой. Эта часть потока является минимальным значением для холодных утилит  $Q_{cmin} = 1037$  кВт.

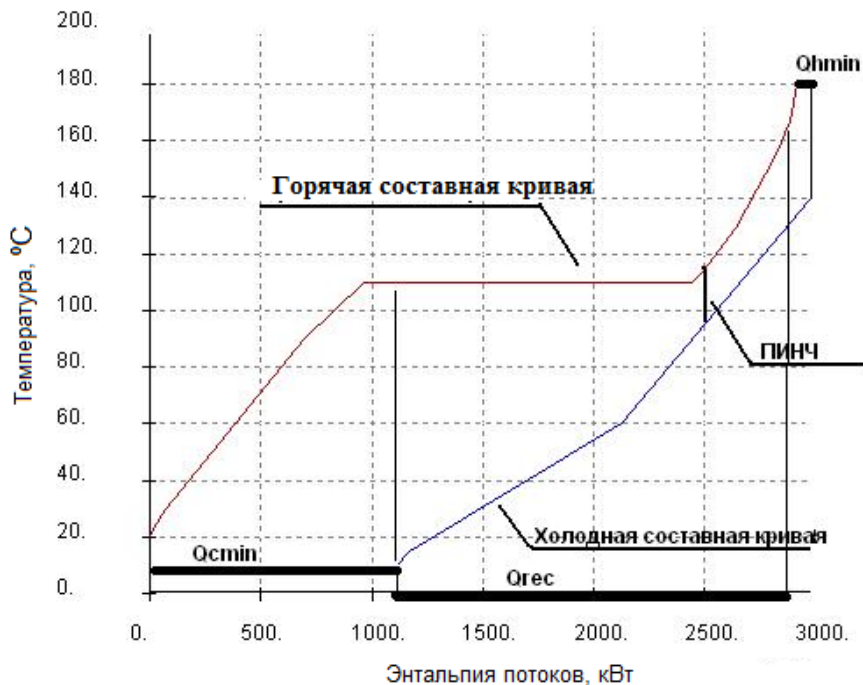


Рис. 4. Составные кривые процесса для  $\Delta T_{\min} = 19 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$Q_{h\min}$  – минимальное количество горячих утилит;  $Q_{c\min}$  – минимальное количество холодных утилит;  $Q_{rec}$  – мощность рекуперации энергии

Используя полученные данные, строим новую сеточную диаграмму технологических потоков с указанием локации пинча (рис. 5). Тепловая интеграция выполняется за счет двух независимых подсистем ниже (слева) и выше (справа) точки пинча. В подсистеме выше точки пинча холодные потоки находятся в тепловом балансе с горячими потоками и горячими утилитами. Аналогично, в подсистеме ниже точки пинча – горячие потоки находятся в тепловом балансе с холодными потоками и холодными утилитами (рис. 5).

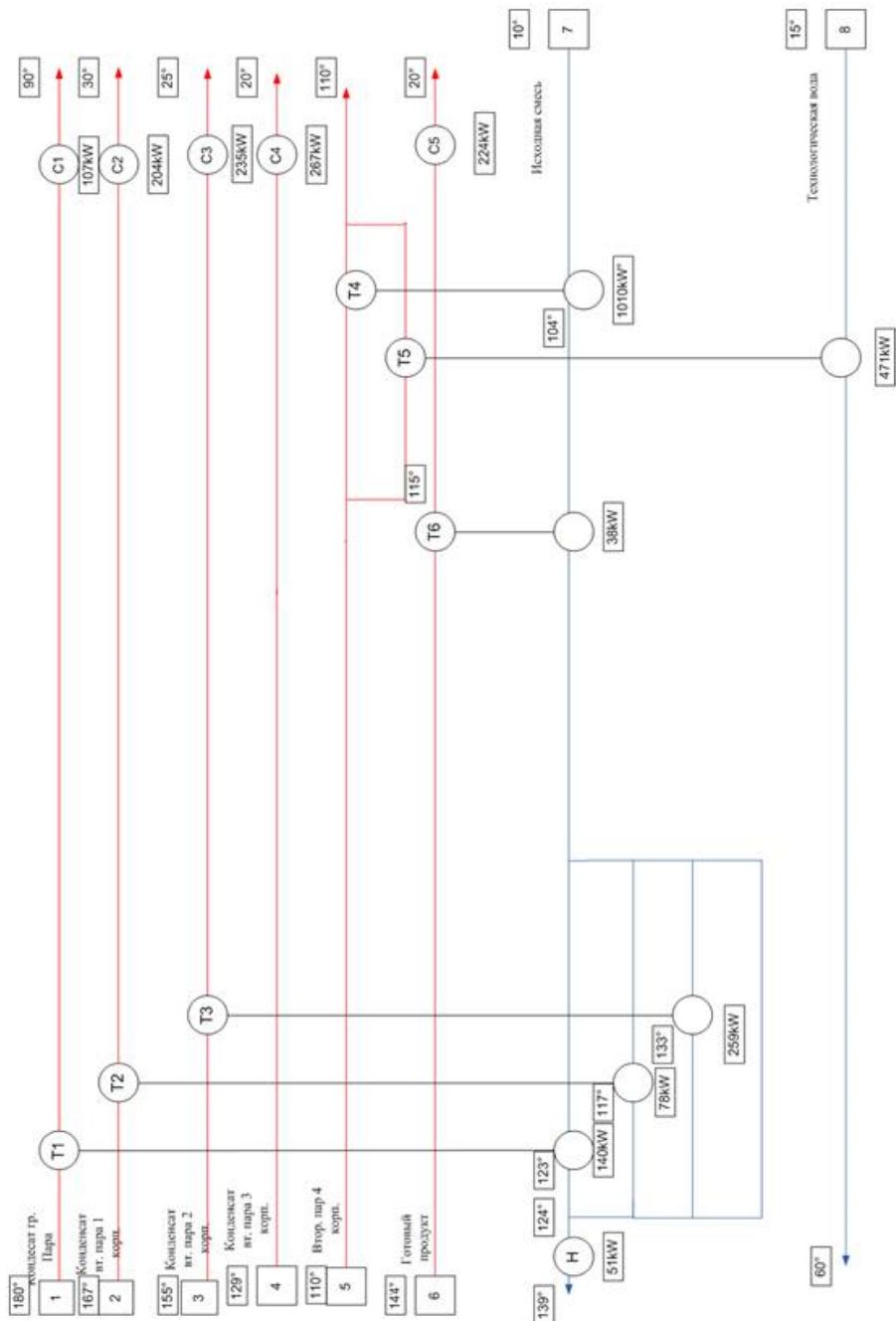


Рис. 5. Построение подсистем выше и ниже пинча

Исходя из расчета и построенных диаграмм составных кривых процесса, как существующего, так и интегрированного процессов, можно создать схему проекта реконструкции четырехкорпусной установки выпаривания серной кислоты (рис. 6).

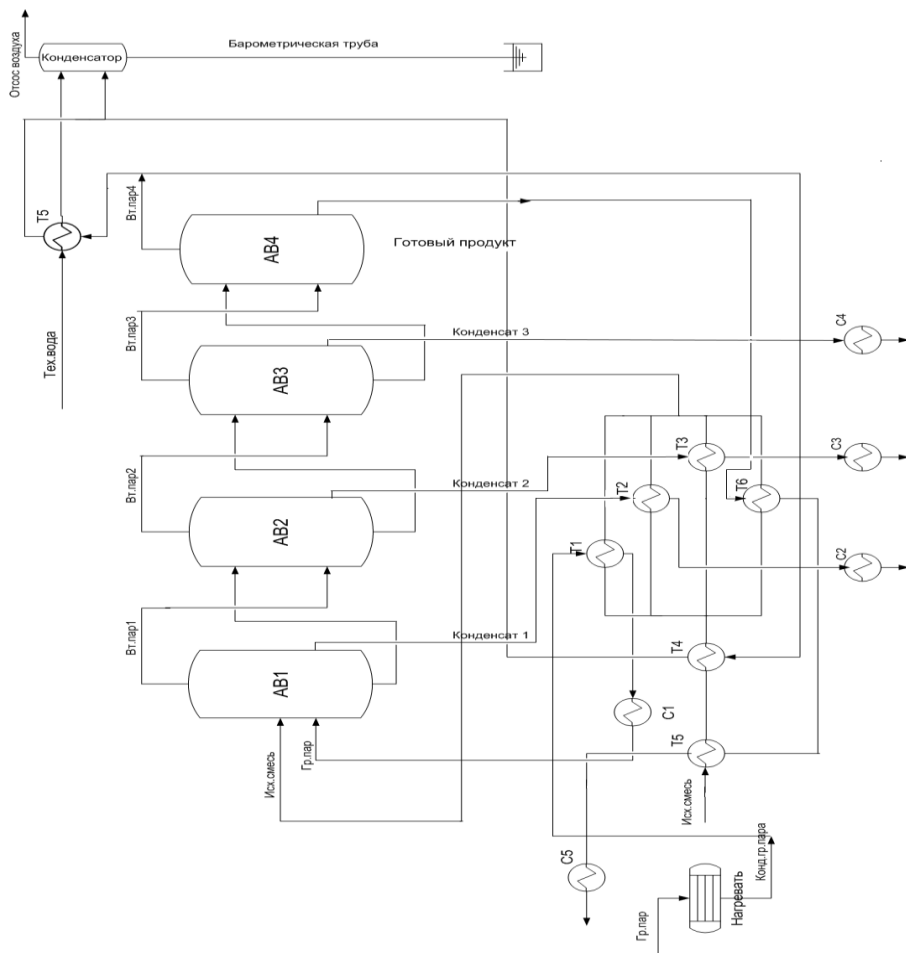


Рис. 6. Схема проекта реконструкции четырехкорпусной установки выпаривания серной кислоты  
 АВ – выпарные аппараты; С – холодильники; Н – нагреватели;  
 Т – рекуперативные теплообменные аппараты

**Выводы.** Предложен проект реконструкции системы теплообмена процесса выпаривания серной кислоты на четырехкорпусной установке выпаривания. На основе расчетов составлена принципиальная схема проекта реконструкции, внедрение которой позволит снизить удельное энергопотребление горячих утилит на 2917,41 кВт, а холодных – на 787,34 кВт, что составляет 47 % по горячим утилитам и 98 % по холодным утилитам. В результате применения методики пинч-анализа для рассмотренной в данной статье четырехкорпусной установки выпаривания серной кислоты получена новая система теплообмена и представлена экономически выгодная энерготехнологическая схема.



## Литература

1. Роблес Кудрин Р.А. Экстракция данных для тепловой интеграции процесса атмосферной перегонки нефти на установке АВТ А12/6 / Р.А. Роблес Кудрин, Л.А. Мельниковская, Л.М. Ульев // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – Харьков, 2011. – № 21. – С. 81 – 89.
2. Смит Р. Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, Й. Клемеш, Л. Л. Товажнянский, П. А. Капустенко, Л. М. Ульев // – ХГПУ. Харьков, 2000. – 150 с.
3. Linnhoff B. A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy / B. Linnhoff, D.W. Townsend, D. Boland, G.F. Hewitt, B.E.A. Thomas, A.R. Gug, R.A. Marsland. – Rugby.: ICheme, 1991. – 247 p.
4. [Электронный ресурс]. Режим доступа к ресурсу : [www.iq.uva.es/integ/Hint.zip](http://www.iq.uva.es/integ/Hint.zip).

УДК 661.185.6:661.683.004.14

*В.А. Левицкий, В.М. Утешев, канд. техн. наук (ГУ «НИОХИМ»),  
Т.М. Краснова, канд. техн. наук, С.А. Смирнов, канд. техн. наук  
(ЗАО «ЭКОХИММАШ», Россия)*

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИДКОГО СТЕКЛА В СОСТАВЕ ТЕХНИЧЕСКИХ МОЮЩИХ СРЕДСТВ**

*Встановлено причини утворення агломератів у процесі одержання технічних миючих засобів методом змішування. Показана необхідність контролю масової частки вологи у всіх компонентах суміші СМЗ, що подаються на змішання. Температура суміші не повинна перевищувати 35 °С, що досягається шляхом охолодження змішувача та регулюванням швидкості подачі рідких компонентів.*

*Установлены причины образования агломератов при получении технических моющих средств методом смешения. Показана необходимость контроля массовой доли влаги во всех компонентах смеси СМС, подаваемых на смешение. Температура смеси не должна превышать 35 °С, что достигается путем охлаждения смесителя и регулировкой скорости подачи жидких компонентов.*

*The causes of the formation of agglomerates in the preparation of the technical detergent by mixing. The necessity of controlling the mass fraction of moisture in all components of a mixture of СМС applied to the confusion. Temperature of the mixture does not exceed 35 °С, cooling is achieved by adjusting the tap and the feed rate of the liquid components.*

Ключевые слова: синтетические моющие средства, смешение компонентов, жидкое стекло, кристаллогидраты, технические моющие средства.

Производство порошкообразных синтетических моющих средств (СМС) башенным методом – распылительной сушкой композиции – позволяет получать продукт с высокими качественными показателями и является наиболее распространенным в мире [1]. Существенными недостатками башенного метода являются высокие капитальные вложения на единицу готового продукта и высокая энергоёмкость производства, что обуславливает необходимость