

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЦИКЛИЧЕСКОЙ РАБОТЫ АППАРАТА ДЕСУБЛИМАЦИИ

А.В. Николаев, Н.С. Криницын  
Научный руководитель: В.Ф. Дядик  
Томский политехнический университет  
E-mail: niav@tpu.ru

## Введение

Процессы с фазовым переходом широко применяются в промышленности для разделения бинарных и многокомпонентных смесей и выделения ценных компонентов из них. Не исключением является и выделение гексафторида урана (ГФУ) из состава технологического газа, получаемого в процессе проведения высокотемпературных реакций фторирования на Сублиматном заводе АО «СХК» [1]. Путем соблюдения температурного режима рабочей поверхности происходит процесс десублимации ГФУ на ней, при этом примеси остаются в составе газа. Для осуществления непрерывного технологического процесса десублимации на заводе применяется аппарат проточного типа, через который постоянно движется газовая смесь. Аппарат имеет цилиндрическую форму, внутри которого смонтирована трубчатка, разделённая на 9 секций [2].

## Цикл работы аппарата

Аппарат десублимации характеризуется циклическим режимом работы. В процессе накопления ГФУ в секции трубчатки аппарата подаётся хладагент, а в моменты сброса – теплоноситель. Таким образом, цикл работы секции трубчатки состоит из интервала захлаживания  $t_3$  и интервала сброса  $t_{сб}$ .

$$t_{ц} = t_3 + t_{сб}$$

Сброс накопленного ГФУ осуществляется за счёт протекающего процесса сублимации на границе трубчатка-десублимат, возникающий при нагреве поверхности трубчатки. В результате действия силы тяжести продукт осыпается в транспортные контейнеры. На начало процесса осыпания влияет температура и расход теплоносителя. Длительность осыпания не зависит от внешних факторов, в том числе и от толщины слоя накопленного десублимата. Поэтому время сброса следует фиксировать на том значении, которое гарантирует осыпание продукта.

Накопление десублимата характеризуется скоростью нарастания слоя и его плотностью. В зависимости от состава и расхода технологического газа, температуры хладагента изменяется скорость десублимации. Длительность захлаживания влияет на плотность нарастаемого продукта [3].

Положительно на процесс десублимации влияет наличие общего захлаживания аппарата, когда ни одна из секций не осуществляет сброс. В этот момент общая температура внутри аппарата снижается, что позволяет получать продукт при более низких концентрациях ГФУ в составе технологического газа.

## Интервал захлаживания

Время интервала захлаживания рассчитывается исходя из текущей нагрузки технологической линии. При этом минимальное время интервала захлаживания при последовательном отпаривании секций рассчитывается по формуле:

$$t_{3 \min} = (n-1) \cdot t_{сб},$$

где  $n$  – количество секций в трубчатке, шт.

При выполнении условия  $t_3 > (n-1) \cdot t_{сб}$  образуются интервалы общего захлаживания всей трубчатки аппарата. Данные промежутки позволяют повышать производительность за счёт снижения температуры технологического газа внутри аппарата и десублимации ГФУ при его малой концентрации. Поэтому рекомендуется сначала выполнять сброс с секций по выбранной последовательности и затем осуществлять общее захлаживание, не разбивая его на короткие промежутки между интервалами отпаривания.

## Последовательность работы секций

Примем допущение, что накопление десублимата на разных секциях происходит равномерно. Поэтому цикл работы у всех секций принят равным друг другу. Для определения последовательности работы секций трубчатки руководствуемся следующими критериями:

- порядок отпаривания секций должен обеспечивать равномерное распределение массы сбрасываемого десублимата за цикл работы трубчатки, что позволит стабилизировать насыпную плотность в транспортной ёмкости;
- следует минимизировать локальный разогрев технологического газа, возникающий в моменты сброса десублимата с двух соседних секций. Равномерное распределение последовательности отпаривания секций позволит избежать колебания температуры технологического газа внутри аппарата.

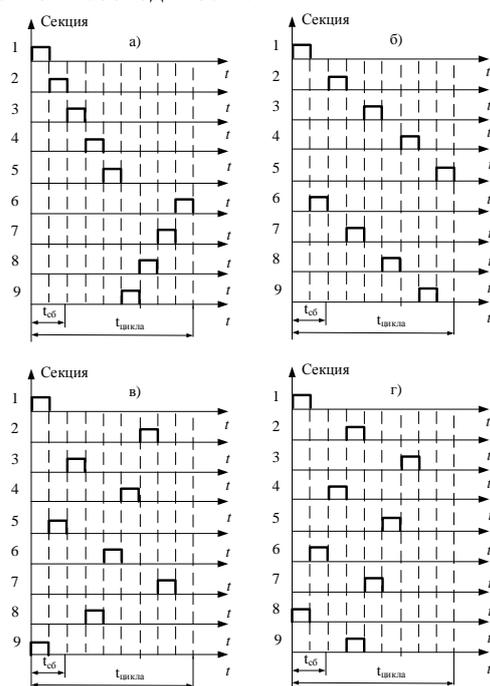
При анализе работы трубчатки рассмотрим режимы работы с возможностью одновременного отпаривания нескольких секций.

Действующая последовательность отпаривания представлена на рисунке 1-а. Данный режим работы характеризуется отпариванием от крайних секций к центральным. При этом присутствует последовательный разогрев двух соседних секций, что приводит к локальному разогреву технологического газа и соседних трубок. Промежутки с общим захлаживанием отсутствуют.

Для исключения локального разогрева технологического газа предлагается работа секций, пред-

ставленная на рисунке 1-б. При данной схеме работы отпариваемые секции максимально отдалены друг от друга.

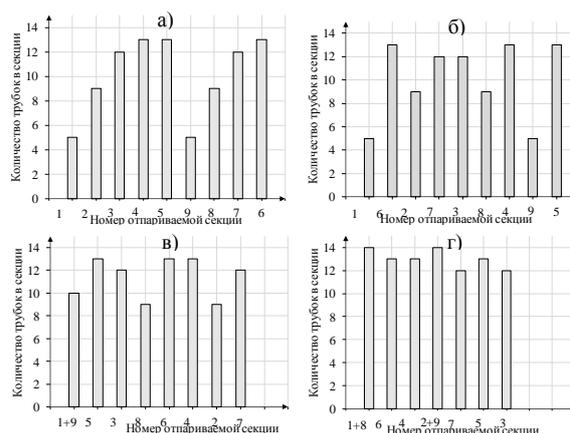
Варианты совместного отпаривания нескольких секций представлены на рисунках 1-в и 1-г. Преимущество представленных режимов работы является возможность стабилизации массы сбрасываемого ГФУ в единицу времени, что позволяет стабилизировать насыпную плотность продукта. Наличие промежутка общего захлаживания трубочатки аппарата позволяет использовать его для уменьшения интервала захлаживания каждой секции. Это даёт возможность увеличить количество перерабатываемого ГФУ при возникшей производственной необходимости.



а) действующая последовательность сброса; б) последовательность сброса без совместного отпаривания; в) последовательность сброса с одним совместным отпариванием; г) последовательность сброса с двумя совместным отпариванием.

Рис. 1. Циклограммы работы трубочатки аппарата десублимации

Исходя из допущения, что скорость накопления десублимата одинакова на всех секциях, то масса сбрасываемого десублимата будет пропорциональной количеству трубок в секциях. Тогда составим гистограмму по количеству отпариваемых трубок, при возможных комбинациях совместного отпаривания. Полученные гистограммы представлены на рисунке 2.



а) действующая последовательность сброса; б) сброса без совместного отпаривания; в) последовательность сброса с одним совместным отпариванием; г) последовательность сброса с двумя совместным отпариванием.

Рис. 2. Гистограмма количества отпариваемых трубок при различных комбинациях сброса

Предпочтительней выглядит распределение по количеству отпариваемых трубок, изображенное на рисунке 2-г. Преимущество данного распределения является минимальное расхождение по количеству одновременно отпариваемых трубок в интервал сброса.

### Заключение

Анализ действующей последовательности работы трубочатки аппарат десублимации показал её существенные недостатки. В ней присутствуют, как локальные перегревы за счёт последовательной работы секций, так и колебания по массе сбрасываемого продукта. Порядок сброса в предлагаемой последовательности работы трубочатки реализует сброс с значительно удалённых друг от друга секций. Это исключает их взаимное влияние друг на друга в процессе работы. Наличие совместного сброса с двух секций одновременно позволяет увеличить диапазон варьирования длительности захлаживания и варьировать производительность при необходимости.

### Список использованных источников

1. Орлов А.А., Малюгин Р.В. Анализ способов получения гексафторида урана, очистки его от примесей и заполнения в транспортные емкости // Современные наукоёмкие технологии. Региональное приложение. – 2014. – №3. – С. 89–98.
2. Николаев, А.В., Криницын Н. С., Дядик В. Ф. Математическая модель десублиматора производства гексафторида урана // Известия вузов. Физика. – 2015. – Т.58. – № 12/3. – С. 97–103.
3. Вильнина А.В., Ливенцов С.Н. Адаптивный алгоритм управления узлом десублимации гексафторида урана // Известия ТПУ. – 2008. – Т. 312. – № 5. – С. 133-136.