

Установки короткоцикловой адсорбции полностью автономны. Производительность находится в большом диапазоне. Требуемая замена адсорбирующего вещества производится через 10–15 лет эксплуатации [2].

Достоинства: возможность изменить режим функционирования устройства, частоту или производительность, автоматический режим регулирования работы установки, низкие затраты по энергоэффективности по сравнению с криогенным методом, низкая стоимость обслуживания, компактность.

Недостатки: требуется защита адсорбента от компрессорного масла, требуется защита от влажности, конструкция сложнее, чем в мембранных установках.

### **Список использованных источников**

1. Приказ Минэнерго РФ от 19 июня 2003 г. N 229 «Об утверждении Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/186039/>– Дата доступа: 18.03.2022.

2. Способы получения азота в промышленности// Пакінторг. Упаковочные материалы и технологии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://adoraltd.ru/baza-znanij-poluchenie-azota-v-promyshlennosti/>– Дата доступа: 18.03.2022.

УДК 621.798–982

### **Особенности изготовления MAP-упаковок**

**Мелешкевич Р. П., студент**

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: старший преподаватель Суша Ю. И.*

Аннотация:

MAP-упаковка – упаковка в модифицированной атмосфере. Это эффективный и повсеместно используемый в настоящее время способ для сохранения качества, и свежести продуктов питания. Приме-

Достоинства метода: простая конструкция, простой монтаж мембранных модулей, возможность эффективного применения в передвижных станциях генерации азота, возможность регулирования степени чистоты и расхода.

Недостатки метода: сравнительно малый период эксплуатации мембранного модуля и его большая стоимость, подверженность мембраны загрязнению парами компрессорного масла. Достижимая чистота азота не выше 99,5 %.

Технология генерации азота в установках короткоциклового адсорбции заключается в пропускании через адсорбент сжатого атмосферного воздуха. В установке находятся две колонны под давлением, заполненные адсорбентом. Технология предусматривает специальное давление в колоннах и поддержание определенной температуры. В ходе технологического процесса происходит улавливание кислорода адсорбирующим веществом, одновременно генерируя целевой продукт. Две колонны работают попеременно в двух режимах работы: регенерации и генерации азота, а в отсутствие потребления газа также есть режим ожидания. При регенерации адсорбирующее вещество высвобождает накопленный кислород и становится пригодным к повторному этапу. Колонны всегда работают в разных режимах, которые носят характер коротких циклов. Одна колонна после цикла регенерации сменяет другую. Принцип работы адсорбционной установки представлен на рисунке 3.

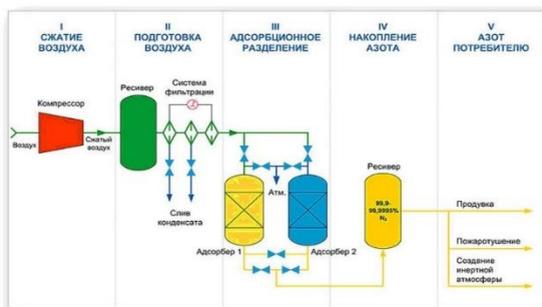


Рис. 3 – Принцип работы адсорбционной установки

дит только если целью является получение азота или других газов в промышленных масштабах).

Технология генерации азота в установке с мембранным модулем заключается в прохождении сжатого атмосферного воздуха через специальную мембрану. Мембрана состоит из катушки, на которую намотано полимерное волокно (см. рисунок 1). Работа мембраны основана на разнице парциальных давлений компонентов атмосферного воздуха. Возникновение разницы давлений влечет отделение азота. В следствие чего, на выходе потребитель получает выделенный азот и смесь оставшихся газов.



Рис. 1 – Схема работы мембранного модуля

Данная технология не является новой, но используется до сих пор ввиду своей эффективности и надежности. Установки с мембранным модулем почти не ломаются из-за того, что она не имеет подвижных частей. Обслуживание такой установки – это замена модуля примерно раз в пять лет. Мембранный модуль обеспечивает степень очистки до 99,5%. Схема генерации азота представлена на рисунке 2.

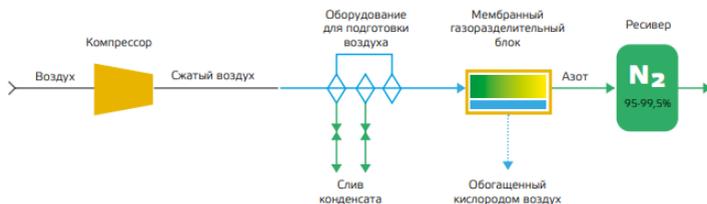


Рис. 2 – Схема генерации азота

Методы выработки азота в сфере промышленности основываются на получении по отдельности газов, составляющих атмосферный воздух (в самом воздухе может содержаться до 75 % необходимого конечного продукта). Существуют иные способы генерации азота, но они связаны прежде всего с большими затратами и применяются только в лабораторных экспериментах или исследованиях. В промышленной сфере генерация азота требуется для обеспечения потребности предприятий и на продажу в виде жидкого азота или сжатого газа.

Существует три основных способа по генерации азота в промышленной сфере: криогенный, мембранный, адсорбционный.

Технология генерации азота в криогенной установке заключается в поочередном испарении фракций сжиженного воздуха и на температурной разнице в кипении различных компонентов воздушной смеси. В последовательном представлении технология имеет следующий вид:

В установке происходит сжатие воздуха, вместе с тем происходит увод тепла, которое выделяется с повышением давления. Перед самой генерацией азота необходимо осушить воздух и удалить из него углекислоту. В данной установке реализуется затвердевание этих компонентов с последующим выпадением в виде осадка. С понижением давления падает и температура смеси до значения минус 196 °С. В этой температурной точке начинается кипение смеси. Происходит последовательное испарение компонентов – азота, кислорода.

В промышленной сфере данная технология применяется при высоком расходе и повышенных требованиях к степени чистоты состава получаемого азота. В других условиях применение криогенного метода становится нецелесообразным. Данная технология обеспечивает одну из самых высоких степеней очистки азота до 99,9999 %. Однако такая установка имеет большие габариты, потребляет большое количество электроэнергии, требует высокой квалификации персонала ввиду сложности эксплуатации и обслуживания [1].

Преимуществами данного способа являются: высокая чистота продуктов разделения, экономичность (при промышленных масштабах), возможность получать одновременно разные компоненты воздуха.

Недостатки метода: дороговизна, большие габариты станции, особые условия обслуживания и эксплуатации, большой расход (подхо-

ставляющей в объеме и на поверхности конденсата. Все это позволяет рекомендовать использование конических экранов для обеспечения равномерности вакуумно-плазменных покрытий на длинномерных прецизионных деталях.

### **Список использованных источников**

1. А.с. 1494560 СССР, МКИ<sup>3</sup> С23С 14/32. Устройство для нанесения покрытий в вакууме / И. И. Дьяков, Г. М. Юмштык, С. А. Иващенко.
2. Транспортировка плазменных потоков в криволинейной плазмо-оптической системе / И. И. Аксенов, В. А. Белоус, В. Г. Падалка, В. М. Хороших // Физика плазмы. – 1978. – Т. 4, № 4. – С. 758–763.
3. Фролов, И. С. Исследование равномерности и скорости осаждения вакуумно-плазменных покрытий / И. С. Фролов, С. А. Иващенко, Ж. А. Мрочек // Белорус. государ. политехн. академ. – Минск, 1999. – 9 с. – Деп. в ВИНТИ 7.06.99, № 1832–В99 // РЖ:14Б. Технология и оборудование механосборочного производства. – 1999. – №11Б335ДЕП. – С. 33.

УДК 66.071.6

### **Сравнительный анализ способов получения азота в промышленности**

**Мелешкевич Р. П., студент**

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: старший преподаватель Суша Ю. И.*

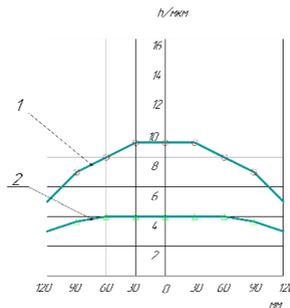
Аннотация:

В промышленной сфере генерация азота требуется для обеспечения потребности предприятий и на продажу в виде жидкого азота или сжатого газа. Существует три основных способа по генерации азота в промышленной сфере: криогенный, мембранный, адсорбционный.



Рис. 2 – Фотографии конструкции конического экрана при исследовании равномерности осаждения покрытия по толщине на основе

Для определения оптимального расстояния катод–экран был проведен ряд экспериментов, в которых данный параметр варьировался в пределах 40–150 мм. Наилучшие результаты были достигнуты при использовании конического экрана с диаметром основания 50 мм, установленного на расстоянии 85 мм от торца катода (см. рисунок 3). При этом перепад толщины покрытия не превышал 1 мкм по всей длине основы при сохранении достаточно высокой производительности процесса (8 мкм/ч).



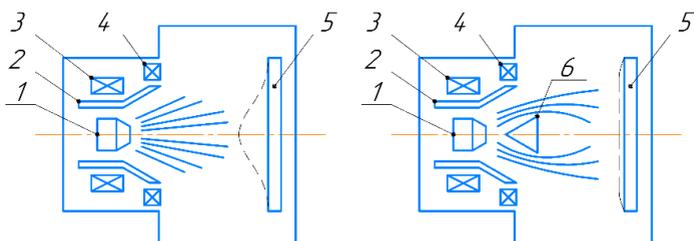
1 – без использования экрана; 2 – с использованием конического экрана.

Рис. 3 – Радиальное распределение толщины покрытия TiN на основе при поперечном сечении плазменного потока на расстоянии 300 мм от катода

Качественные характеристики покрытия также оказались высокими за счет значительного уменьшения содержания капельной со-

равномерно распределить плазменный поток по длине детали [2]. Однако данные системы значительно усложняют конструкцию вакуумных установок, что препятствует их широкому использованию на практике.

Для получения равномерного покрытия на длинномерных деталях было предложено использовать специальные экраны. Данный способ основан на рассеянии плазменного потока с помощью непрозрачного экрана обтекаемой формы, находящегося под потенциалом анода и установленного по оси испарителя на определенном от него расстоянии (рисунок 1).



1 – катод; 3 и 4 – электромагнитные системы стабилизации разряда и фокусировки плазменного потока; 5 – основа с покрытием; 6 – конический экран.

Рис. 1 – Схемы осаждения вакуумных электродуговых покрытий на длинномерные основы прямым потоком (а) и с использованием конического экрана (б)

Степень равномерности покрытия регулируется изменением расстояния катод-экран и выбирается с учетом компромисса между производительностью и комплексом защитно-декоративных свойств покрытия. Кроме повышения равномерности покрытия экран обеспечивает частичную сепарацию плазменного потока, задерживая большую часть капельной фазы [3].

Была проведена серия экспериментов по определению формы, размеров экрана и его расположения в вакуумной камере. Установлено, что наилучшие результаты достигаются при использовании экрана в форме конуса с углом при вершине  $60^\circ$  и диаметром основания 40–50 мм (рисунок 2).

УДК 533.599

## **Модернизация устройства распыления материала катода вакуумной установки**

**Мацкевич Э. П., магистрант**

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: докт. техн. наук., профессор Иващенко С. А.*

**Аннотация:**

В данной статье рассматривается проблема неравномерного нанесения покрытия. Предложено использовать специальные конические экраны для решения данной проблемы. Выявлены оптимальные размеры экрана и расстояние от катода, при котором достигаются наилучшие результаты.

Метод вакуумно-плазменной металлизации, позволяющий осадить как тугоплавкие металлы, так и их химические соединения типа нитридов, карбидов и т. п., используется в основном для нанесения покрытий на поверхности прецизионных деталей. Основным фактором, влияющим на точностные параметры упрочняемых поверхностей, является толщина осажденного слоя. В камерах электродуговых вакуумных установок плотность потока материала расходуемого электрода неоднородна по объему камеры. Поэтому представляет интерес исследование пространственно-временного распределения толщины покрытия на поверхности деталей, размещенных в объеме камеры. При электродуговом методе имеет место значительная неравномерность толщины покрытия по длине основы, которая возрастает с увеличением тока фокусирующей катушки. Наибольший рост наблюдается по оси испарителя (около 70 %), и лишь при удалении от оси катода в радиальном направлении на 120 мм он падает практически до нуля.

В настоящее время известен ряд способов повышения равномерности вакуумно-плазменных покрытий. Основной из них заключается в придании детали сложного движения в пространстве вакуумной камеры [1]. Но для реализации этого способа необходимо изготовление специальных устройств, обладающих малой универсальностью.

Повышение равномерности покрытий возможно также за счет использования специальных фокусирующих систем, позволяющих