**Функциональные особенности современных криогенных насосов**

О.Н.Подчерняев, Б.В.Юдин, \*С.Б.Нестеров, \*А.В.Андросов

Москва, ООО «Криосистемы», 117105, Нагорный пр.,7;

\*Москва, ФГУП «НИИВТ им. С.А.Векшинского» , 117105, Нагорный пр.,7

E-mail: info@cryosystems.com.ru

Криогенные вакуумные насосы, основанные на цикле Гиффорда-МакМагона, используются в промышленности для получения высокого и сверхвысокого вакуума для производства компонентов полупроводниковой и электронной промышленности, нанесения вакуумных покрытий, в производстве тонких пленок, металлургии чистых металлов и ряде других высокотехнологичных приложений. Свое широкое распространение крионасосы получили благодаря чистоте создаваемого ими вакуума, высокой производительности и относительно невысокой стоимости.

Характерными требованиями потребителей к современным криогенным насосам являются:

снижение времени захолаживания и выхода на рабочие температуры при пуске или после регенерации;

уменьшение времени полной регенерации, как отдельного насоса, так и нескольких, встроенных в одну вакуумную систему и/или работающих от одного компрессора;

увеличение рабочего времени до полной регенерации;

автоматическое включение и выход на соответствующий режим после внезапного отключения электроэнергии;

автоматическое поддержание рабочей температуры первой ступени охладителя;

гибкость автоматического контроля и способность интеграции в вакуумные системы со специфическими требованиями к рабочим процессам;

сервисная поддержка оборудования в кратчайшие сроки, в любой точке мира.

Все эти требования вытекают из общих критериев конкурентоспособности современных производств: увеличения выхода продукта (подложек и др.) в единицу времени, снижения уровня отбракованного продукта путем уменьшения уровня загрязнений в вакуумной камере, увеличения общего времени производства за счет минимизации потерь времени на сервис и ремонт оборудования.

Снижение времени выхода на режим при пуске, в основном, важно для тех пользователей, которые эксплуатируют систему в течение одной или двух смен и по требованиям техники безопасности отключают ее после окончания процесса производства. Сокращение времени захолаживания после регенерации необходимо абсолютному большинству производителей, работающих непрерывно в циклическом режиме. Это может быть достигнуто с помощью автоматического увеличения холодопроизводительности крионасоса при изменении частоты вращения двигателя криоохладителя /1,2/. Такой контроль частоты вращения позволяет до 30 % сократить время выхода на режим.

Полная регенерация крионасоса большой производительности в ручном режиме может занимать до 5 часов полезного производственного времени. Она обычно состоит из циклов: отогрева с продувкой, дополнительной продувки для удаления паров воды, форвакуумной откачки и теста на остаточный газ. Если тест не пройден продувка и форвакуумная откачка крионасоса повторяются снова. Установка нагревателей, отогрев до температур выше окружающей среды и автоматический контроль процесса регенерации с анализом результатов теста на остаточный газ позволяют сократить и поддерживать неизменным время регенерации до 2,5-3 часов.

Увеличение времени работы крионасоса до полной регенерации может быть достигнуто с помощью режима быстрой регенерации только низкотемпературной ступени (10-15К). Обычно насыщение газами именно этой ступени вызывает необходимость регенерации. При этом более высокотемпературная ступень (80-100К) остается холодной и продолжает откачивать пары воды, повышение уровня которых является критическим для производства качественного продукта. Увеличение времени работы крионасоса может быть достигнуто путем увеличения емкости криопанелей, которое достигается с помощью концентраторов криоосадка /3/.

Одна из функций автоматического контроля современных крионасосов позволяет им выходить на нужный режим после внезапного отключения электроэнергии. Немедленно после восстановления подачи электропитания, контроллер определяет в каком состоянии насос был до отключения (нормальная работа, режим регенерации и т.д.), оценивает текущую температуру крионасоса. На основании этих данных принимается одно из решений: или продолжить нормальную работу или регенерацию, или охладиться до рабочей температуры, или начать регенерацию.

Автоматический контроль температуры первой ступени современных крионасосов от 80 К до 100 К введен для предотвращения криоадсорбции на ней рабочих газов, таких как аргон, ксенон и др. При отсутствии такого контроля температура этой ступени может опускаться до 40 К-65 К. Это приводит к криоадсорбции, например, ксенона на криопанелях первой ступени при относительно высоком парциальном давлении. С прекращением напуска рабочего газа вакуум в системе должен быстро улучшаться, однако этого не происходит из-за выделения ксенона из криоосадка первой ступени и конденсации его на второй ступени. Во время этого процесса, который занимает длительное время, вакуумная система не может выйти на рабочий, более глубокий вакуум.

Современные высоковакуумные производственные процессы быстро изменяются, число их растет. Вместе с ними меняются вакуумные системы и системные требования к вакуумному оборудованию. Производители вакуумных систем интегрируют в свои контроллеры набор компьютерных программ высокого уровня, которые напрямую обмениваются информацией с контроллером крионасоса. Современные крионасосы способны изменять холодопроизводительность и цикл работы, адаптируясь к тепловым нагрузкам и ограничениям производственного процесса в режиме реального времени.

С целью своевременного сервисного обслуживания и ремонта, производители криогенных насосов интегрируют в контроллеры функции дистанционной передачи данных о работе насоса, таких как давление, температуру, напряжение электропитания, частоту и др. При подключении контроллера через телефонную сеть эти данные передаются и обрабатываются в центре мониторинга. Основываясь на результатах многомесячного мониторинга, сервисный центр может своевременно отследить тенденцию к ухудшению работы крионасоса и уведомить пользователя о необходимости профилактических или сервисных работ до того, как насос полностью потеряет свою работоспособность.

Примером реализации функций современного крионасоса, могут служить крионасосы серий On-Board и On-Board IS производства компании Helix CTI Cryogenics.