

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВАКУУМНЫХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

И. А. Иванов

Белорусский национальный технический университет, Минск

В работе обсуждаются основные проблемы и перспективные подходы к проектированию вакуумных систем технологических установок. Анализируются факторы, влияющие на работоспособность систем, как, например, газонатекание, связанное как с технологическим процессом, так и с обратным потоком по трубопроводам от систем откачки. Рассматриваются основные требования, предъявляемые к выбору средств получения вакуума и принятию компоновочных решений.

Современный этап развития инновационных технологий получения и обработки композиционных материалов и функциональных наноструктурных покрытий характеризуется расширением области применения вакуумной техники. Вакуумная система любой технологической вакуумной установки служит для обеспечения необходимых условий реализации технологического процесса в течение длительного времени. Она включает в себя откачиваемый рабочий объем, в котором создается и поддерживается давление ниже атмосферного; трубопроводы, клапаны и затворы, а также другую коммутационную вакуумную арматуру, необходимую для соединения откачиваемого объема с системой откачки; средства получения вакуума, представляющие собой один или группу вакуумных насосов. Даже такая обобщенная классификация структурных элементов показывает, что вакуумная система является достаточно сложной и разветвленной многофакторной структурой. Это препятствует разработке единых критериев оценки качества предлагаемых проектных решений и автоматизации самого процесса проектирования. Компоновочные решения при разработке вакуумных систем, основанные на структурно-функциональном анализе ее составных частей, являются крайне важными, так как определяют стоимость готовых вакуумных установок, их энергопотребление, затраты на ремонт и текущее обслуживание.

В работе ставилась задача проанализировать основные проблемы и перспективные подходы к проектированию вакуумных систем технологических установок.

Основным элементом вакуумной системы является вакуумная камера, в которой поддерживается вакуум и происходит реализация технологи-

ческого процесса. Расчет камер на прочность регламентируется рядом ГОСТов (как межгосударственных стандартов) [1, 2]. Методики принятия компоновочных решений включают учет типа используемых вакуумных насосов, наличия средств измерения и контроля вакуума, требований технологического процесса [3]. Однако в ряде случаев необходимо учитывать условия и характер газонатекания в откачиваемый объем, связанные как с самим технологическим процессом, так и с обратным потоком по трубопроводам от систем откачки. Газонатекание, как правило, носит распределенный характер с разной интенсивностью источников. Неконтролируемое газовыделение формирует внутри откачиваемого объема условия, далекие от идеальных, что может сказаться на точности инженерных расчетов [4].

Существенное влияние на работу системы в целом, в том числе и в откачиваемом объеме, оказывают различные температурные неоднородности, особенно характерные для криовакуумной техники. Это требует учета тепловых потоков и их влияния на эффективность работы вакуумной системы.

При движении газовый поток испытывает сопротивление со стороны вакуумной арматуры: трубопроводов, затворов, клапанов. Все эти устройства могут вносить существенные изменения в характер течения, что также нужно учитывать при детальном расчете [5].

Вакуумные насосы являются последним звеном в любой вакуумной системе. От качества их работы зависит эффективность всей системы. Вакуумная система может включать в себя несколько насосов – низко- и высоковакуумных, которые могут работать как одновременно, так и по очереди, обеспечивая непрерывную откачку. Способ подключения насосов может быть последовательным или параллельным [6]. Это требует оценки длительности нестационарного режима работы насосов, совместимости насосов во всем рабочем интервале по давлению.

Задачами компоновочных решений и факторами, влияющими на выбор вакуумных схем, являются реализация технологического процесса (это требование рассматривается как основное, определяющее все последующие проекторочные решения), производительность, энергоемкость, металлоемкость, простота обслуживания.

Основным признаком принадлежности вакуумной системы к тому или иному классу может являться применяемое в ней оборудование откачки. Вакуумные системы для получения низкого вакуума обеспечивают получение в вакуумной камере рабочего давления от 10^5 до 10^1 Па. Как правило, вакуумные системы для получения низкого вакуума имеют одну вакуумную цепь. Тип вакуумного насоса выбирают по предельному давлению и (или) составу остаточных газов. Кроме типа насосов, важную роль играет их производительность, состав и степень достигаемого вакуума,

продолжительность поддержания рабочих режимов. Коэффициент использования насоса выбирают из экономических соображений либо по аналогии с существующими системами. Для насосов с величиной эффективного быстродействия ниже 10^{-1} м³/с существенное влияние на эффективность их использования оказывает число соединительных элементов в вакуумной цепи. Однако использование насосов с увеличенной скоростью откачки не всегда возможно по технологическим требованиям.

Масляная откачка характеризуется использованием пароструйных насосов в качестве высоковакуумных. Для уменьшения обратного потока паров вакуумного масла в вакуумную камеру на входе в высоковакуумный насос устанавливается вакуумная ловушка. Вакуумные системы для получения среднего вакуума предназначены для получения вакуума от 10^5 до 10^{-2} Па. Данные вакуумные системы имеют две вакуумные цепи (два вакуумных насоса). Эти вакуумные цепи могут использовать в качестве конструктивных элементов одни и те же элементы (клапана, трубопроводы и т.п.).

При разработке вакуумной схемы следует учитывать, что при откачке до давления ниже 10 Па (0,1 мм рт. ст.) механический насос дает обратный поток паров масла. Если технологический процесс не допускает попадания паров органических соединений в вакуумную камеру, то в качестве высоковакуумного насоса рекомендуется использовать турбомолекулярные насосы. Такую систему откачки называют безмасляной.

Таким образом, проектирование вакуумных систем, несмотря на наличие типовых решений, требует не только знания рабочих характеристик вакуумного оборудования, но и наличия методик расчета вакуумных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стандарт ассоциации РОСТЕХЭКСПЕРТИЗА СА 03-003-07 Расчеты на прочность и вибрацию стальных технологических трубопроводов.
2. ГОСТ 14249-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Государственный стандарт СССР – М., 1989.
3. Технологическое вакуумное оборудование. Ч. 1: Вакуумные системы технологического оборудования / Л. В. Кожитов [и др.]. – М. : МГИУ, 2010.
4. Иванов, И. А. Анализ математических подходов к описанию движения сильно разреженных газов / И.А. Иванов // Сб. трудов XVI Международной НТК «Машиностроение и техносфера XXI века», 14 – 19 сентября, 2009 г., г. Севастополь. – В 4-х т. – Донецк : ДонГТУ, 2009. – Т. 1. – С. 276 – 279.
5. Иванов И.А. Проектирование вакуумных систем технологических установок на основе структурного и параметрического синтеза (Современные методы и технологии создания и обработки материалов / И. А. Иванов // IV Международная НТК – Минск, 19 – 21 октября, 2009 г. Сб. материалов. В 3 кн. Кн. 3: Обработка материалов давлением. Пленарные доклады. – Минск : ФТИ НАНБ, 2009. – С. 199 – 204.
6. Розанов, Л. Н. Вакуумная техника / Л. Н. Розанов. – М. : Высшая школа, 2007.