

№ 1600

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ИНСТИТУТ СТАЛИ и СПЛАВОВ
Технологический университет



Кафедра машин и агрегатов металлургических предприятий

Расчет и проектирование механизмов и систем технологического оборудования

Раздел: *Расчет и проектирование вакуумных систем*

Курс лекций

для студентов специальности 170300

Рекомендовано редакционно-издательским
советом института в качестве учебного пособия

УДК 533.5.001

Р 24

Р 24 Расчет и проектирование механизмов и систем технологического оборудования: Расчет и проектирование вакуумных систем: Курс лекций. / *А.Ю. Зарапин, Ю.Л. Зарапин, Н.А. Чиченов, Б.А. Сивак.* – М.: МИСиС, 2001. – 85 с.

В курсе лекций изложены основные особенности расчета и проектирования вакуумных систем технологического оборудования, применяемого для получения металлических, полупроводниковых и композиционных материалов. Рассмотрена методика расчета низко-, средне- и высоковакуумных систем, приведены алгоритмы выбора вакуумной системы, соединения и согласования вакуумных насосов, расчета газовых потоков и распределения давлений. Даны принципы проектирования вакуумного технологического оборудования, с применением объектно-ориентированной модели вакуумной системы и с использованием баз данных.

Курс лекций предназначен для студентов, обучающихся по специальности 170300 «Металлургические машины и оборудование», а также может быть полезен студентам других специальностей, которые интересуются проблемами применения вакуумной техники в металлургических и физико-химических процессах. Он может быть также использован при курсовом и дипломном проектировании для разработки технологического вакуумного оборудования.

© Московский государственный
институт стали и сплавов
(Технологический университет)
(МИСиС), 2001

ЗАРАПИН Александр Юрьевич
ЗАРАПИН Юрий Леонидович
ЧИЧЕНЕВ Николай Алексеевич
СИВАК Борис Александрович

Расчет и проектирование механизмов и систем технологического оборудования

Раздел: *Расчет и проектирование вакуумных систем*

Курс лекций

для студентов специальности 170300

Рецензент д-р.техн.наук, проф. А.Г. Кобелев

Редактор Т.А. Кравченко

Объем 85 стр.

Тираж 60 экз.

Заказ 996

Цена «С»

Регистрационный № 469

Московский государственный институт стали и сплавов
(технологический университет),
119991, Москва, Ленинский пр-т, 4
Отпечатано в типографии издательства «Учеба» МИСиС,
117419, Москва, ул. Орджоникидзе, 8/9

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. РАСЧЕТ ВАКУУМНЫХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	4
1.1. Анализ методов расчета вакуумных систем	4
1.2. Расчет распределения давлений в вакуумной системе	8
1.3. Соединение и согласование работы вакуумных насосов	15
1.4. Расчет газовых нагрузок	22
1.5. Методика расчета вакуумной системы технологического оборудования	30
2. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВАКУУМНЫХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	49
2.1. Классификация вакуумного технологического оборудования	49
2.2. Функциональная схема работы и объектно-ориентированная модель вакуумной системы	59
2.3. Проектирование вакуумных систем технологического оборудования с применением баз данных	62
2.4. Низковакуумная защитная камера для прокатки биметалла ...	71
2.5. Дегазационный модуль линии производства стальных полос с газотермическими покрытиями.....	78
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	85

1. РАСЧЕТ ВАКУУМНЫХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.1. Анализ методов расчета вакуумных систем

Расчет вакуумных систем является важным этапом процесса проектирования технологических линий и агрегатов для производства прецизионных металлических материалов с использованием вакуума или сред контролируемого состава. Поэтому практически во всех работах, посвященных проектированию вакуумных систем, кроме изложения теоретических основ вакуумной техники, предлагаются различные методики расчета и принципы конструирования вакуумных систем.

Анализ известных методик расчета вакуумных систем показывает, что наиболее сложным звеном является определение скорости откачки вакуумного насоса.

Для нахождения собственной скорости откачки насосов при проектировании вакуумных систем можно использовать следующие формулы:

– для высоковакуумного (рабочего) насоса

$$S_p = \frac{Q}{P_0} \cdot \frac{F_1}{F_1 - \frac{Q}{P_0}} = f_1 \cdot \frac{Q}{P_0}; \quad (1.1)$$

– для насоса предварительного разрежения

$$S_f = \frac{Q}{P_0} \cdot \frac{F_2}{F_2 - \frac{Q}{P_f}} = f_2 \cdot \frac{Q}{P_0}, \quad (1.2)$$

где Q – поток газов;

F_1 и F_2 – пропускная способность трубопровода между откачиваемым объемом насоса предварительного разрежения и высоковакуумным насосом, соответственно;

P_0 и P_f – давление на входе этих насосов, соответственно;

f_1 и f_2 – коэффициенты, равные отношению собственной быстроты откачки насосов к действительной скорости откачки; f_1 и f_2 всегда больше 1 и, по существу, являются коэффициентами использования высоковакуумного и форвакуумного насосов, соответственно.

Недостатком описанного выше подхода к расчету вакуумных систем является то, что используемые в ней коэффициенты приходится определять опытным путем для каждой конкретной вакуумной системы.

При расчете и проектировании вакуумных систем электротермических печей большое внимание уделяется анализу составляющих газового потока, откачиваемого из печи. Отметим, что при обычных условиях газы выделяются с поверхностей металлоконструкций промышленных печей не являются определяющим при выборе откачного оборудования.

Приближенная формула для расчета скорости откачки насоса S_n имеет следующий вид:

$$S_n = 2,3 \frac{V}{t} \lg \frac{P'}{P''}, \quad (1.3)$$

где V – объем вакуумной системы;

P' и P'' – давление в системе в начальный и текущий моменты времени, соответственно.

Формула (1.3) выведена без учета сопротивления трубопровода и поэтому справедлива в случае присоединения насоса к вакуумной камере коротким широким патрубком.

Номинальная скорость откачки насоса в этом случае определяется по формуле

$$S_n = \frac{S_{эф}}{1 - \frac{S_{эф}}{U}}, \quad (1.4)$$

где U – проводимость трубопровода;

$S_{эф}$ – эффективная скорость откачки.

Рекомендуется следующий порядок расчета вакуумной системы.

Определив эффективную быстроту откачки как отношение газового потока к давлению в рабочей камере, рассчитывают проводимость всех элементов вакуумной системы и рассчитывают S_n . Выбрав насос, корректируют размеры трубопроводов и элементов вакуумной системы и проводят ее проверочный расчет. Однако данная методика не учитывает коэффициент использования насоса, что может внести существенные погрешности в результаты расчета.

Л.Н. Розановым приведена наиболее полная и современная методика расчета и проектирования вакуумных систем, согласно которой различают три типовых схемы в зависимости от глубины вакуума:

- низкого ($10^5 \dots 10^1$ Па) вакуума;
- среднего ($10^1 \dots 10^{-2}$ Па) вакуума;
- высокого ($10^{-2} \dots 10^{-4}$ Па) и сверхвысокого (до 10^{-7} Па и менее) вакуума.

Расчет вакуумной системы включает проектировочный и проверочный расчеты. Проектировочный расчет выполняют при разработке нового вакуумного оборудования; его целью является определение откачных средств, арматуры и трубопроводов для обеспечения заданного рабочего давления в вакуумной камере. Проверочный расчет необходим для оценки распределения давления в уже существующей либо разрабатываемой вакуумных системах.

Для определения коэффициента использования насоса рекомендуется следующая формула:

$$K_n = \frac{1 - \sqrt{A_5}}{1 - A_5}, \quad (1.5)$$

где A_5 – коэффициент, отражающий соотношение затрат на приобретение и эксплуатацию арматуры к затратам на насосы.

Предлагаются графики для определения коэффициентов использования насосов в зависимости от эффективной быстроты действия и числа элементов между насосом и откачиваемым объектом.

Так как коэффициент использования насоса в данной методике всегда меньше единицы, то номинальная скорость откачки i -го насоса S_{mi} определяется по формуле

$$S_{mi} = \frac{Q}{K_{mi} p - p_{при}}, \quad (1.6)$$

где Q – газовый поток;

p – рабочее давление;

$p_{при}$ – предельное давление i -го насоса.

Аналогичная формула используется для определения номинальной скорости откачки любого другого последовательно включенного насоса.

Основной недостаток описанной выше методики состоит в необходимости использования многочисленных справочных таблиц и графиков, что значительно усложняет инженерные расчеты при проектировании технологического вакуумного оборудования.

При расчете вакуумного оборудования, предназначенного для производства электронно-вакуумных приборов, в частности, служащих для нанесения тонких пленок, коэффициент использования насоса $v = S_n / S_{эф}$ всегда больше 1; при этом приняты конкретные значения коэффициентов использования для различных типов насосов:

$v = 2$ – для струйных насосов, турбонасосов и криогенных насосов;

$v = 4$ – для сорбционных насосов;

$v = (1,3 \dots 1,4)$ – для насосов объемного действия.

Соответственно, формулы для расчета быстроты действия насосов и их согласования принимают другой вид.

Так, для определения быстроты действия вспомогательного насоса $S_{н.всп}$ используется следующая формула:

$$S_{н.всп} = \frac{Q_{max}}{(0,7 \div 0,75) p_{наиб}}, \quad (1.7)$$

где Q_{max} – максимальный поток газов, который способен удалить основной насос;

$p_{наиб}$ – давление на выпускной стороне основного насоса, выше которого насос прекращает работу.