

Примеры расчёта вакуумной техники

Процесс проектирования

В этом разделе поэтапно описана методика проектирования вакуумной системы. Ниже приведен типовой расчёт основных элементов вакуумной техники.

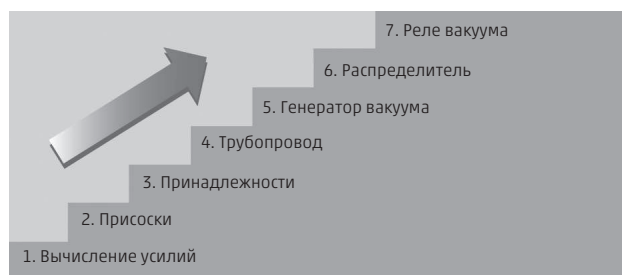


Схема проектирования

Вычисления в примере основываются на следующих данных:

Заготовка

Материал:	стальные листы, сложенные на палете		
Поверхность:	гладкая, плоская, сухая		
Параметры:	длина:	макс.2500 мм	
	ширина:	макс.1250 мм	
	толщина:	макс.2,5 мм	
	масса:	≈ 60 кг	

Система управления

Используемая система:	портальный транспортёр	
Имеющийся источник сжатого воздуха:	8 бар	
Напряжение управляющих сигналов:	24 V DC	
Захват/перемещение:	горизонтальный - горизонтальное	
Макс. ускорение по осям	X и Y:	5 м/с²
	Z:	5 м/с²
Время цикла:	30 с	
Требуемое время:	захвата:	<1 с
	сброса:	<1 с

Расчёт массы заготовки

Для всех последующих вычислений важно знать массу изделия, с которой вы будете работать. Она может быть вычислена по следующей формуле:

Масса m [кг]: $m = L \times B \times H \times \rho$

L = длина [м]

B = ширина [м]

H = высота [м]

ρ = плотность [кг/м³]

Пример: $m = 2,5 \times 1,25 \times 0,0025 \times 7850$
m = 61,33 кг

Расчёт сил – какое усилие должна создавать присоска?

Для определения необходимой силы захвата, требуется провести вычисления массы, описанные выше. Кроме того, присоски должны удерживать объект при движении с различными ускорениями. Для упрощения вычислений три наиболее частых и важных случая изображены и описаны ниже.

Внимание:

В следующих упрощённых примерах для случаев 1, 2, 3 при вычислениях всегда должен использоваться самый неблагоприятный вариант воздействия и максимальное значение сил.

Вариант 1: Присоски размещены на горизонтально расположенной заготовке, перемещение вертикальное

F_{TH} = теоретическая сила захвата [Н]

m = масса [кг]

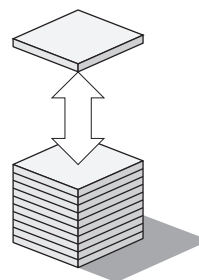
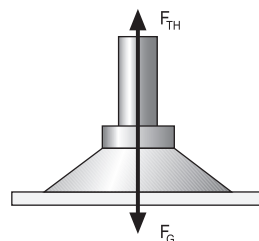
g = ускорение свободного падения [9,81 м/с²]

a = ускорение системы [м/с²]
(не забудьте случай аварийного отключения!)

S = коэффициент запаса
(минимальное значение 1,5; для легко разрушающихся неоднородных, пористых материалов или неровных поверхностей 2,0 или выше)

Пример: $F_{\text{TH}} = 61,33 \times (9,81 + 5) \times 1,5$
 $F_{\text{TH}} = 1363 \text{ Н}$

Присоски размещаются на изделиях горизонтально, изделия перемещаются в вертикальной плоскости.



Вариант 2: Горизонтально расположенная присоска, горизонтальное перемещение

$$F_{\text{TH}} = m \times (g + a/\mu) \times S$$

F_{TH} = теоретическая сила захвата [Н]

F_a = сила разгона = $m \times a$

m = масса [кг]

g = ускорение свободного падения [9,81 м/с²]

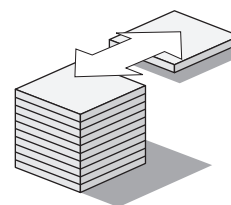
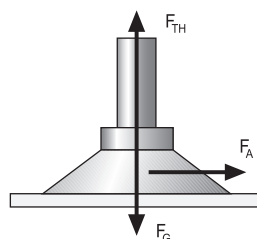
a = ускорение системы объект перемещения – присоска [м/с²]
(необходимо помнить об аварийном случае!)

μ = коэффициент трения*
= 0,1 для жирных поверхностей
= 0,2 ... 0,3 для влажных поверхностей
= 0,5 для дерева, металла, стекла, камней
= 0,6 для грубых поверхностей

S = коэффициент запаса (минимальное значение 1,5; для легко разрушающихся неоднородных или пористых материалов или неровных поверхностей 2,0 или выше)

Пример: $F_{\text{TH}} = 61,33 \times (9,81 + 5/0,5) \times 1,5$
 $F_{\text{TH}} = 1822 \text{ Н}$

Присоски размещаются на изделиях горизонтально, изделия перемещаются в горизонтальной плоскости.



* ВНИМАНИЕ!

Коэффициенты трения, показанные выше, являются усреднёнными величинами. Реальные значения для захватываемых изделий должны быть получены экспериментальным путём.

Вариант 3: Вертикально расположенная присоска, вертикальное перемещение

$$F_{\text{TH}} = (m/\mu) \times (g + a) \times S$$

F_{TH} = теоретическая сила захвата [Н]

m = масса [кг]

g = ускорение свободного падения [9,81 м/с²]

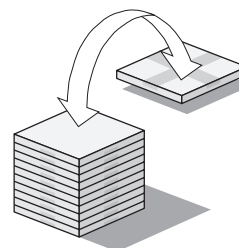
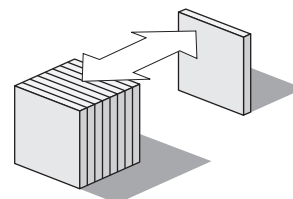
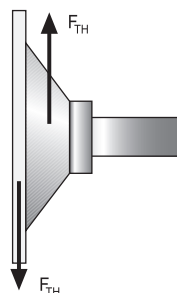
a = ускорение системы [м/с²]
(необходимо помнить об аварийном случае!)

μ = коэффициент трения
= 0,1 для жирных поверхностей
= 0,2 ... 0,3 для влажных поверхностей
= 0,5 для дерева, металла, стекла, камней
= 0,6 для грубых поверхностей

S = коэффициент запаса (минимальное значение 2; для легко разрушающихся неоднородных или пористых материалов или грубых поверхностей)

Пример: $F_{\text{TH}} = 61,33 \times (9,81 + 5/0,5) \times 1,5$
 $F_{\text{TH}} = 1822 \text{ Н}$

Присоски размещаются на изделиях вертикально, изделия перемещаются в вертикальной плоскости или меняется их ориентация.



В условиях задачи указано, что изделия перемещаются в горизонтальном положении, поэтому результаты расчётов варианта 3 далее не учитываются.

Обработка результатов расчёта сил:

Сравнивая результаты, полученные при первом и втором вариантах (третий вариант не учитываем согласно условию задачи), для дальнейших расчётов выбираем максимальную силу $P_{\text{TH}} = 1822 \text{ Н}$ из второго варианта.

Как выбрать присоску



Присоски обычно выбираются по следующим категориям:

Условия работы:

- количество направлений перемещения;
- предполагаемый срок службы;
- рабочая среда;
- температура и др.

Материал:

Критерии выбора материалов присосок приведены на стр. 733

Поверхность:

В зависимости от характера поверхности выбирается вариант исполнения присоски. Номенклатура включает плоские и сифонные (гофрированные) присоски.

Пример:

В рассматриваемом примере для захвата стальных листов будем использовать плоские присоски Мод. VTCF из материала NBR. Это лучшее и наиболее эффективное решение для захвата гладких плоских поверхностей.

Сила захвата F_s [Н]

$$F_s = F_{тн} / n$$

$$F_s = \text{сила захвата}$$

$$F_{тн} = \text{теоретическая сила}$$

$$n = \text{количество присосок}$$

Пример:

Для стальных листов средних размеров (2500x1250 мм) будем использовать от 6 до 8 присосок. Наиболее важным критерием выбора числа присосок в этом примере является гибкость стального листа во время транспортировки.

Вычисление силы захвата F_s [Н]

$$F_s = 1822/6$$

$$F_s = 304 \text{ Н}$$

В соответствии с техническими данными для Мод. VTCF, выбираем 6 присосок Мод. VTCF-0950N, необходимая сила захвата для каждой присоски составляет 340 Н.

В данном примере решаем использовать 6 присосок Мод. VTCF-950N, так как данного количества присосок достаточно, а стоимость системы при этом ниже.

Вычисление F_s [Н]

$$F_s = 1822/8$$

$$F_s = 228 \text{ Н}$$

В соответствии с техническими данными для Мод. VTCF, выбираем 8 присосок Мод. VTCF-800N, необходимая сила захвата для каждой присоски составляет 260 Н.

ВНИМАНИЕ:

- Нагрузка, которую удерживает каждая присоска, указана в таблице технических данных для каждого типа присосок.
- Максимально допустимая нагрузка присоски должна быть не больше рассчитанного значения.

Выбор принадлежностей



Обычно, способ крепления присосок определяется требованиями заказчика. Однако, существует множество причин, по которым требуется использование дополнительных крепёжных аксессуаров:

Неровные или наклонные поверхности.

Присоска должна "приспосабливаться" к форме поверхности.

- Гибкий ниппель Мод. NPF.

Различная длина или толщина изделия.

Присоски должны быть подпружиненными для того, чтобы компенсировать различия в высоте.

- Пружинный фиксатор.

Пример:

В рассматриваемом примере стальные листы сложены на палете. Если листы больше палеты, они могут свисать по краям. Это означает, что присоски должны компенсировать значительную разницу в высоте и углов наклона отдельных частей листа.

Решаем использовать следующие крепёжные элементы:

Пружинный плунжер Мод. NPM-FM-1/4-75. Необходимо, чтобы максимальный ход плунжера компенсировал максимальные отклонения краёв листа. Для компенсации угловых отклонений краёв листа используем гибкий ниппель модели NPF, который подключается к плунжеру по резьбе 1/4.

Обратные клапаны Мод. VNV. Они используются на вакуумных коллекторах, содержащих множество присосок для блокирования тех присосок, которые не покрывают изделие (при захвате изделий различных длин).

Примечание:

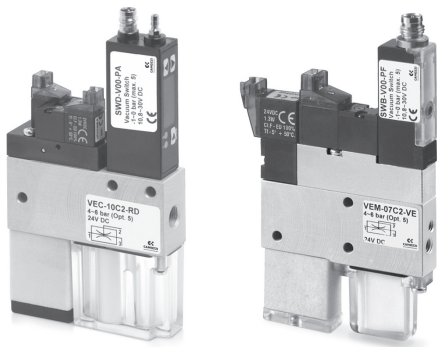
При выборе встраиваемых элементов необходимо удостовериться в том, что их можно вкручивать в присоски, т.е. что они имеют резьбы одинакового размера. Также необходимо обратить внимание на грузоподъёмность встраиваемых элементов.

Выбор вакуумных трубопроводов



Определяется в соответствии с техническими характеристиками трубопровода.

Выбор вакуумных генераторов



Вычисление требуемой производительности V [м³/ч, л/мин]

- V = n × VS
- n = количество присосок
- VS = требуемый расход всасывания для одной присоски [м³/ч, л/мин]

Пример: V = 6 × 16,6
V = 99,6 л/мин

Выбираем вакуумный эжектор Мод. VEC-20 с расходом всасывания 116 л/мин.

Основываясь на своём опыте и на значениях, полученных при разработке различных систем, мы рекомендуем выбирать вакуумные генераторы в зависимости от диаметра присоски в соответствии со следующей таблицей.

Зависимость требуемой производительности вакуумного генератора от диаметра присоски

Ø присоски	Производительность Vs	
до 20 мм	0,17 м³/ч	2,83 л/мин
до 40 мм	0,35 м³/ч	5,83 л/мин
до 60 мм	0,5 м³/ч	8,3 л/мин
до 90 мм	0,75 м³/ч	12,7 л/мин
до 120 мм	1 м³/ч	16,6 л/мин

Примечание:
Полученные значения подходят ко всем типам вакуумных генераторов. Рекомендуемые значения производительности приведены для одной присоски при работе с гладкими герметизируемыми поверхностями. Для пористых поверхностей мы рекомендуем выполнить испытания перед выбором вакуумного генератора.

Выбор реле вакуума



Вакуумные реле и датчики давления обычно выбираются на основе требуемой функциональности и частоте переключений.

- Возможности электронных реле вакуума:
- настройка давления переключения;
 - фиксированный или настраиваемый гистерезис;
 - дискретный и/или аналоговый выходные сигналы;
 - светодиодная индикация;
 - семисегментный индикатор состояния с клавиатурой;
 - подключение: внутренняя резьба M5, наружная резьба G1/8, фланцевое подключение или подключение трубопровода.

Пример:

- Вакуумное реле с цифровым дисплеем, настраиваемый гистерезис (встроен в компактный эжектор).
- Манометр.

Выбор вакуумных реле и манометров

Если вы не уверены в правильности результатов расчёта элементов системы, для подтверждения вам следует провести испытания с реальным изделием. Тем не менее, теоретический расчёт даёт ориентировочные значения параметров для предполагаемых устройств.

Техническая информация по вакуумным присоскам

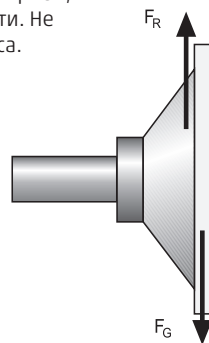
При проектировании вакуумной цепи и выборе подходящих присосок необходимо провести ряд расчётов.

Ниже приведён список наиболее общих данных, необходимых для проведения таких расчётов.

Техническая информация

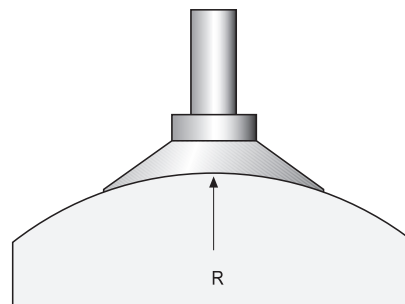
Поперечная сила

Определена при глубине вакуума -0,6 бар для очищенной или жирной, плоской и гладкой поверхности. Не учитывает коэффициент запаса.



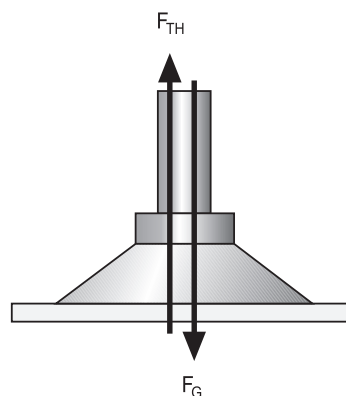
Минимальный радиус закругления изделия

Определяет минимальный радиус изделия, гарантируется безопасный захват детали.



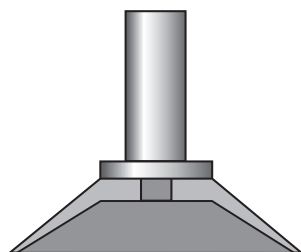
Теоретическая сила отрыва

Теоретическая сила отрыва рассчитывается для вакуума глубиной -0,6 бар. Для дальнейших расчётов требуемое теоретическое усилие необходимо увеличить на коэффициент запаса для учёта потерь на трение и утечки.



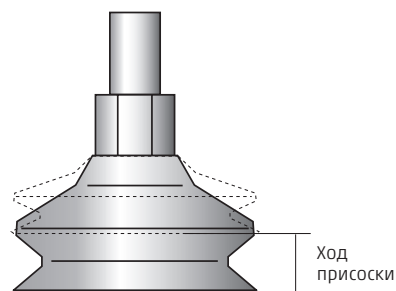
Внутренний объем

Используется для вычисления полного объёма вакуумной системы. Это значение так же используется для вычисления времени сброса.



Ход присоски

При вакуумировании присоски сифонного типа возникает эффект поднятия захваченного объекта.



Выбор материала для присосок

Применение	NBR	Силикон
Пищевые продукты		•
Жирные поверхности	•	
Изделия с лёгкой маркировкой		•
Высокие температуры		•
Низкие температуры		•
Гладкие поверхности (стекло)	•	
Грубые шероховатые поверхности (дерево, камень)	•	•

Выбор присосок	
Перечень вопросов, помогающих подобрать присоску	
Каковы размеры изделия и его масса?	На основе размеров детали рассчитываются силы захвата, количество присосок (см. техническую информацию).
Какова поверхность изделия (шероховатость, гладкая)?	Определяется тип и размер присоски (материал, форма, размеры)
Есть ли загрязнения рабочей поверхности? Если да, то какой вид загрязнения?	Важно для выбора правильных размеров присоски (см. техническую информацию), а также для подбора фильтров.
Какова температура изделия?	Температура учитывается при выборе материала присоски.
Требуется ли зажатие/ориентация/базирование изделия?	Определяет структуру, тип и исполнение присоски.
Каково время цикла?	Учитывается при расчётах. Определяет производительность вакуумного генератора (см. техническую информацию).
Каково максимальное ускорение системы при перемещении?	Важно для определения размера и типа вакуумной присоски, а также для проведения некоторых расчётов (например, силы фиксации, момента инерции и т.д., см. техническую информацию).
Каков вид движения изделия (перемещение, поворот, вращение)?	Важно для выбора размеров присоски и расчёта силы всасывания.

Материалы присосок		
Наименование	Нитрил-бутадиеновая резина	Силиконовая резина
Обозначение	NBR	SI
Износостойкость	••	•
Устойчивость к остаточным деформациям	••	••
Работа на открытом воздухе	••	•••
Устойчивость к озону	•	••••
Устойчивость к маслу	••••	•
Устойчивость к топливу	••	•
Устойчивость к спиртам и этанолу, 96 %	••••	••••
Устойчивость к растворителям	••	••
Общая устойчивость к кислотам	•	•
Устойчивость к пару	••	••
Прочность на разрыв	••	•
Значение трения мм ³ , DIN 53516 (приблизительно)	100-120 at 60 Sh.	180-200 at 55 Sh.
Электрическое сопротивление [Ом*см]	-	-
Устойчивость к кратковременному воздействию температур, °C	от -30° до +120°	от -60° до +250°
Устойчивость к длительному воздействию температур, °C	от -10° до +70°	от -30° до +200°
Твёрдость по Шору, DIN 53505	от 40 до 90	от 30 до 85*
Цвет	чёрный	белый

* Затвердевание силикона в течение 10 ч. при 160°C = +5 ...10 единиц по Шору
•••• отлично ••• очень хорошо •• хорошо • неудовлетворительно