

# Приклад розрахунку вакуумної техніки

## Процес проектування

У цьому розділі поетапно описано методику проектування вакуумної системи. Нижче наведено типовий розрахунок основних елементів вакуумної техніки.

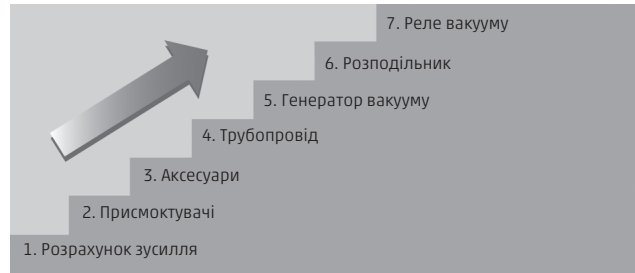


Схема проектування

Розрахунок у прикладі ґрунтується на наступних даних:

### Заготовка

Матеріал:	сталеві листи, які складені на палеті
Поверхня:	гладка, пласка, суха
Параметри:	довжина: макс.2500 мм
	ширина: макс.1250 мм
	товщина: макс.2,5 мм
	маса: ≈ 60 кг

### Система керування

Система, яка використовується:	портальний транспортер
Джерело стисеного повітря :	8 бар
Напруга керуючих сигналів:	24 V DC
Захват/переміщення:	горизонтальний - горизонтальне
Макс. прискорення за осями X і Y:	5 м/с <sup>2</sup>
	Z: 5 м/с <sup>2</sup>
Час циклу:	30 с
Закладений час на:	захват: <1 с
	скидання: <1 с

## Розрахунок маси заготовки

Для всіх наступних розрахунків важливо знати масу виробу, з якою Ви будете працювати.  
Вона може бути розрахована за наступною формулою:

$$\text{Маса } m \text{ [кг]: } m = L \times B \times H \times \rho$$

L = довжина [м]

B = ширина [м]

H = висота [м]

$\rho$  = щільність [кг/м<sup>3</sup>]

$$\text{Приклад: } m = 2,5 \times 1,25 \times 0,0025 \times 7850$$

$$m = 61,33 \text{ кг}$$

## Розрахунок сили - яке зусилля повинні створювати присмоктувачі?

Для визначення необхідної сили захоплення, необхідно провести розрахунок маси, який описаний вище. Крім того, присмоктувачі повинні утримувати об'єкт при русі з різними прискореннями. Задля спрощення розрахунків, три найбільш поширені та важливі випадки зображені та описані нижче.

### Увага:

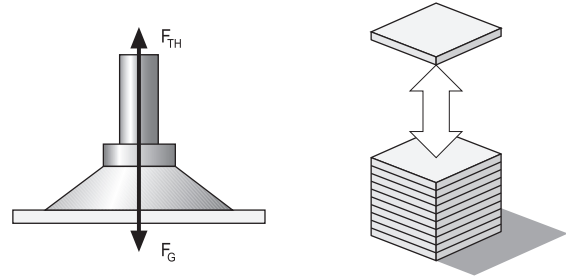
У наступних спрощених прикладах для випадків 1, 2, 3 при розрахунках завжди повинен використовуватися найбільш несприятливий варіант впливу та максимальне значення сил.

### Варіант 1: Присмоктувачі розміщені на горизонтально розташованій заготовці, вертикальне переміщення.

$F_{ТН}$  = теоретична сила захоплення [Н]  
 $m$  = маса [кг]  
 $g$  = прискорення вільного падіння [9,81 м/с<sup>2</sup>]  
 $a$  = прискорення системи [м/с<sup>2</sup>]  
 (Пам'ятайте про можливість аварійного відключення!)  
 $S$  = коефіцієнт запасу  
 (мінімальне значення 1,5; для неоднорідних, пористих матеріалів, які легко руйнуються або для нерівних поверхонь 2,0 або вище)

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

Присмоктувачі розміщуються на виробах горизонтально, вироби переміщуються у вертикальній площині.



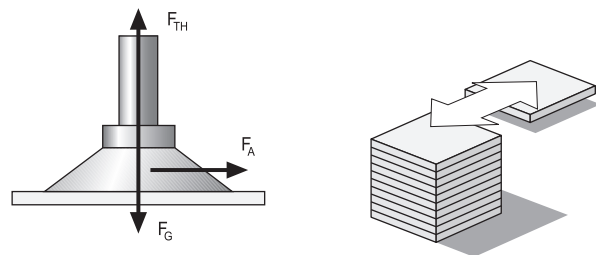
### Варіант 2: Присмоктувачі розташовані горизонтально, горизонтальне переміщення

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

$F_{ТН}$  = теоретична сила захоплення [Н]  
 $F_a$  = сила розгону =  $m \cdot a$   
 $m$  = маса [кг]  
 $g$  = прискорення вільного падіння [9,81 м/с<sup>2</sup>]  
 $a$  = прискорення системи [м/с<sup>2</sup>]  
 (Пам'ятайте про можливість аварійного відключення!)  
 $\mu$  = коефіцієнт тертя\*  
 = 0,1 для жирних поверхонь  
 = 0,2 ... 0,3 для вологих поверхонь  
 = 0,5 для дерева, металу, скла, каміння  
 = 0,6 для грубих поверхонь  
 $S$  = коефіцієнт запасу (мінімальне значення 1,5; для неоднорідних, пористих матеріалів, які легко руйнуються, або нерівних поверхонь 2,0 або вище)

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

Присмоктувачі розміщуються на виробах горизонтально, вироби переміщуються у горизонтальній площині.



\* Увага! Коефіцієнти тертя, які наведені вище, є середніми величинами. Реальні значення для виробів, які захоплюються, повинні бути отримані експериментальним шляхом.

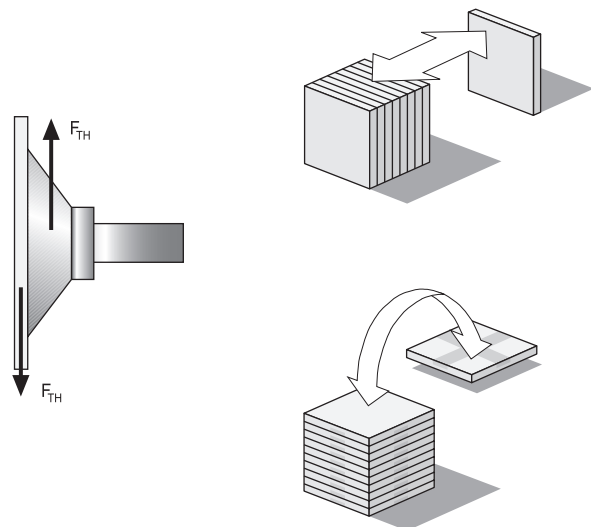
### Варіант 3: Присмоктувачі розташовані вертикально, вертикальне переміщення

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

$F_{ТН}$  = теоретична сила захоплення [Н]  
 $m$  = маса [кг]  
 $g$  = прискорення вільного падіння [9,81 м/с<sup>2</sup>]  
 $a$  = прискорення системи [м/с<sup>2</sup>]  
 (Пам'ятайте про можливість аварійного відключення!)  
 $\mu$  = коефіцієнт тертя  
 = 0,1 для жирних поверхонь  
 = 0,2 ... 0,3 для вологих поверхонь  
 = 0,5 для дерева, металу, скла, каміння  
 = 0,6 для грубих поверхонь  
 $S$  = коефіцієнт запасу (мінімальне значення 2; для неоднорідних, пористих матеріалів, які легко руйнуються, або для грубих поверхонь)

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

Присмоктувачі розміщуються на виробах вертикально, вироби переміщуються у вертикальній площині або змінюється їх орієнтація.



В умові задачі вказано, що вироби переміщуються в горизонтальному положенні, тому результати розрахунків варіанта 3 далі не враховуються.

### Обробка результатів розрахунку сили:

Порівнюючи результати, які були отримані при першому та другому варіантах (третій варіант не враховуємо виходячи з умови задачі), для подальших розрахунків вибираємо максимальну силу  $P_{ТН} = 1822 \text{ Н}$  із другого варіанта..

## Як вибрати присмоктувачі



Присмоктувачі, зазвичай, вибираються за наступним критеріями:

### Умови роботи:

- кількість напрямків переміщення
- ймовірний термін служби;
- робоче середовище;
- температура та ін.

### Матеріал:

Критерії вибору матеріалів присмоктувачів наведені на стр. 733.

### Поверхня:

Залежно від характеру поверхні вибирається варіант виконання присмоктувача. Номенклатура налічує плоскі та сільфонні (гофровані) присмоктувачі.

### Приклад:

У даному прикладі для захоплення сталевих листів будемо використовувати плоскі присмоктувачі Мод. VTSCF з матеріалу NBR. Це найкраще та найбільш ефективно рішення для захоплення гладких плоских поверхонь.

### Приклад:

Для сталевих листів середніх розмірів (2500 x 1250 мм) будемо використовувати від 6 до 8 присмоктувачів. Найважливішим критерієм вибору кількості присмоктувачів в даному прикладі є гнучкість сталевих листів під час транспортування.

#### Розрахунок сили захоплення $F_s$ [Н]

$$F_s = 1822/6$$

$$F_s = 304 \text{ Н}$$

Відповідно до технічних даних на ст. і 12 для Мод. VTSCF, вибираємо 6 присмоктувачів Мод. VTSCF-0950N; необхідна сила захоплення для кожного присмоктувача складає 340 Н.

В даному прикладі вирішуємо використовувати 6 присмоктувачів Мод. VTSCF-950N, тому що даної кількості присмоктувачів достатньо, а вартість системи при цьому нижча.

#### Розрахунок сили захоплення $F_s$ [Н]

$$F_s = 1822/8$$

$$F_s = 228 \text{ Н}$$

Відповідно до технічних даних на ст. і 12 для Мод. VTSCF, вибираємо 8 присмоктувачів Мод. VTSCF-800N; необхідна сила захоплення для кожного присмоктувача складає 260 Н.

#### Сила захоплення $F_s$ [Н]

$$F_s = F_{тн} / n$$

$F_s$  = сила захоплення  
 $F_{тн}$  = теоретическая сила  
 $n$  = кількість присмоктувачів

### Увага:

- Навантаження, яке втримує кожен присмоктувач, вказано у таблиці технічних даних для кожного типу присмоктувачів.
- Максимально допустиме навантаження присмоктувача повинно бути не більше розрахованого значення.

## Вибір аксесуарів



Зазвичай, спосіб кріплення присмоктувачів визначається залежно від вимог замовника. Однак, існує велика кількість умов, по причині яких вимагається використання додаткових аксесуарів для кріплення:

### Нерівні або нахилі поверхні.

Присмоктувач повинен «приспосовуватись» до форми поверхні.

- Гнучкий ніпель Серії NPF.

### Різна довжина або товщина виробу.

Присмоктувачі повинні бути підпружинені для того, щоб компенсувати різницю в висоті.

- Пружинний плунжер Серії NPM - NPR.

### Приклад:

У даному прикладі сталеві листи складені на палеті. Якщо листи більші за палету, вони можуть звисати по краям.

Це означає, що присмоктувачі повинні компенсувати значну різницю в висоті та кутів нахилу окремих частин листа.

### Вирішуємо використовувати наступні аксесуари:

Пружинний плунжер Мод. NPM-FM-1/4-75. Необхідно, щоб максимальний хід плунжера компенсував максимальні відхилення від країв листа.

Для компенсації кутів відхилень країв листа використовуємо гнучкий ніпель Серії NPF, який підключається до плунжера різьбовим з'єднанням 1/4.

Запірні клапани Мод. VNV.

Вони використовуються на вакуумних колекторах, які налічують велику кількість присмоктувачів для блокування тих присмоктувачів, які не покривають виріб (при захопленні виробів різної довжини).

### Примітка:

При виборі аксесуарів необхідно перевірити, що їх можливо вкручувати, тобто вони мають однакового розміру різьбове з'єднання.

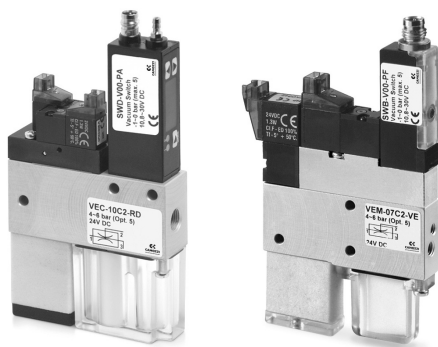
Також, необхідно звернути увагу на вантажність вибраних елементів.

## Вибір вакуумних трубопроводів



Визначається залежно від технічних характеристик трубопроводу.

## Вибір вакуумних генераторів



Виходячи зі свого досвіду та значень, які були отримані при розробці різних систем, ми рекомендуємо вибирати вакуумні генератори в залежності від Діаметра присмоктувача відповідно до таблиці, яка наведена нижче.

### Обчислення необхідної потужності $V$ [м<sup>3</sup>/год, л/хв]

$$V = n \times V_s$$

$n$  = кількість присмоктувачів

$V_s$  = необхідні витрати на всмоктування для одного присмоктувача [м<sup>3</sup>/год, л/хв]

**Приклад:**  $V = 6 \times 16,6$   
 $V = 99,6$  л/хв

Вибираємо вакуумний ежектор Мод. VEC-20 з витратами на всмоктування 116 л/хв.

### Залежність необхідної потужності вакуумного генератора від Діаметра присмоктувача

Ø присмокт.	Потужність $V_s$	
до 20 мм	0,17 м <sup>3</sup> /год	2,83 л/хв
до 40 мм	0,35 м <sup>3</sup> /год	5,83 л/хв
до 60 мм	0,5 м <sup>3</sup> /год	8,3 л/хв
до 90 мм	0,75 м <sup>3</sup> /год	12,7 л/хв
до 120 мм	1 м <sup>3</sup> /год	16,6 л/хв

### Примітка:

Отримані значення підходять до всіх типів вакуумних генераторів. Рекомендовані значення потужності наведені для одного присмоктувача при роботі з гладкими герметизованими поверхнями. Для пористих поверхонь ми рекомендуємо провести експеримент перед вибором вакуумного генератора.

## Вибір реле вакууму



Вакуумні реле та датчики тиску, зазвичай, вибираються на основі необхідних функцій та частоті перемикання.

Можливості електронних реле вакууму:

- налаштування тиску перемикання;
- фіксований гістерезис, або налаштовується вручну;
- дискретний і/або аналоговий вихідні сигнали;
- світлодіодна індикація;
- семисегментний індикатор стану з клавіатурою;
- підключення: внутрішня різьба M5, зовнішня різьба G1/8, фланцеве підключення або підключення трубопроводу.

### Приклад:

- Вакуумне реле з цифровим дисплеєм, з гістерезисом, який налаштовується (вмонтован у компактний ежектор).
- Манометр.

## Вибір вакуумних реле та манометрів

Якщо Ви не впевнені в правильності результатів розрахунків елементів системи, для підтвердження Вам слід провести експеримент із реальним виробом. Тим не менш, теоретичний розрахунок дає орієнтовне значення параметрів для передбачуваних пристроїв.

# Технічна інформація для вакуумних присмоктувачів

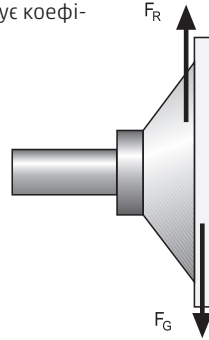
При проектуванні вакуумного ланцюга та при виборі відповідних присмоктувачів необхідно провести низку розрахунків.

Нижче наведено список загальних даних, які необхідні для проведення таких розрахунків.

## Технічна інформація

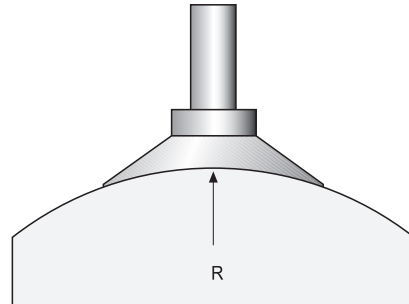
### Поперечна сила

Визначена при глибині вакууму -0,6 бар для очищеної або жирної, гладкої та гладкої поверхонь. Не враховує коефіцієнт запасу.



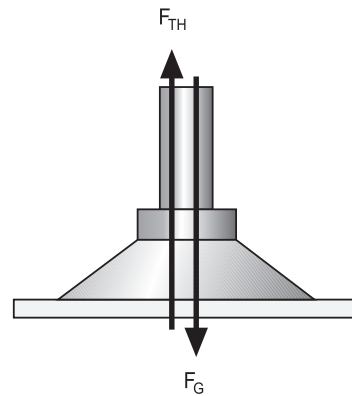
### Мінімальний радіус закруглення виробу

Визначає мінімальний радіус виробу, гарантується надійне захоплення деталі.



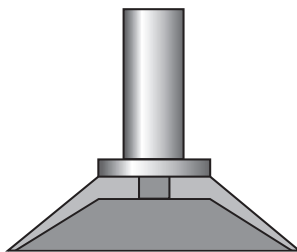
### Теоретична сила відриву

Теоретична сила відриву розраховується для вакууму глибиною -0,6 бар. Для подальших розрахунків, необхідне теоретичне зусилля потрібно збільшити на коефіцієнт запасу для врахування втрат на терті та витоків.



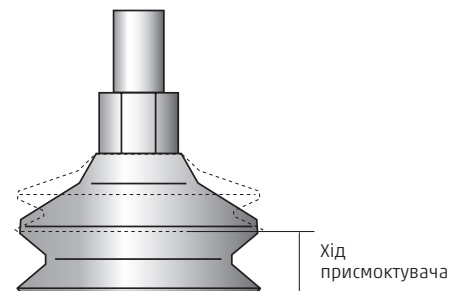
### Внутрішній об'єм

Використовується для розрахунку повного об'єму вакуумної системи. Це значення також використовується для розрахунку часу скидання.



### Хід присмоктувача

При вакуумуванні присмоктувачів сильфонного типу виникає ефект підняття захопленого об'єкта.



## Вибір матеріалу для присмоктувачів

Застосування	NBR	Силікон
Харчові продукти		•
Жирні поверхні	•	
Вироби з легким маркуванням		•
Високі температури		•
Низькі температури		•
Гладкі поверхні (скло)	•	
Грубі шорсткі поверхні (деревина, каміння)	•	•

## Вибір присмоктувачів

### Перелік питань, які допоможуть підібрати присмоктувач

Які розміри виробу та його маса?	На основі розмірів деталі розраховуються сили захвату, кількість присмоктувачів (див. технічну інформацію).
Яка поверхня виробу (жорстка, гладка)?	Визначається тип і розмір присмоктувача (матеріал, форма, розміри).
Чи забруднена робоча поверхня? Якщо так, то який вид забруднення?	Важливо для вибору правильних розмірів присмоктувача (див. технічну інформацію), а також для вибору фільтрів.
Яка температура виробу?	Температура враховується при виборі матеріалу присмоктувача.
Чи потрібне стиснення/орієнтація/ базування виробу?	Виначає структуру, тип і виконання присмоктувача.
Який час циклу?	Враховується при розрахунках. Визначає потужність вакуумного генератора (див. технічну інформацію).
Яке максимальне прискорення системи при переміщенні?	Важливо для визначення розміру та типу вакуумного присмоктувача, а також для проведення деяких розрахунків (наприклад, сили фіксації, моменту інерції тощо, див. технічну інформацію).
Який вид переміщення виробу (переміщення, поворот, обертання)?	Важливо для вибору розмірів присмоктувача та для розрахунку сили всмоктування.

## Матеріали присмоктувачів

Найменування Позначення	Нітрил-бутадієнова гума NBR	Силіконва гума SI
Зносостійкість	••	•
Стійкість до залишкових деформацій	••	••
Робота на відкритому повітрі	••	•••
Стійкість до озону	•	••••
Стійкість до мастила	••••	•
Стійкість до палива	••	•
Стійкість до спиртів та етанолу, 96 %	••••	••••
Стійкість до розчинників	••	••
Загальна стійкість до кислот	•	•
Стійкість до пару	••	••
Міцність на розрив	••	•
Значення тертя мм <sup>2</sup> , DIN 53516 (приблизно)	100-120 по Шору 60	180-200 по Шору 55
Електричний опір [Ом*см]	-	-
Стійкість до короточасних впливів температур, °C	від -30° до +120°	від -60° до +250°
Стійкість до тривалих впливів температур, °C	від -10° до +70°	від -30° до +200°
Твердість за Шором, DIN 53505	від 40 до 90	від 30 до 85*
Колір	чорний, сірий, блакитний, світлоблакитий	білий, прозорий

\* Затвердіння силікону упродовж 10 годин при 160°C = +5 ...10 одиниць за Шором

•••• відмінно    ••• дуже добре    •• добре    • незадовільно