Single & multi stage steam jet vacuum pump

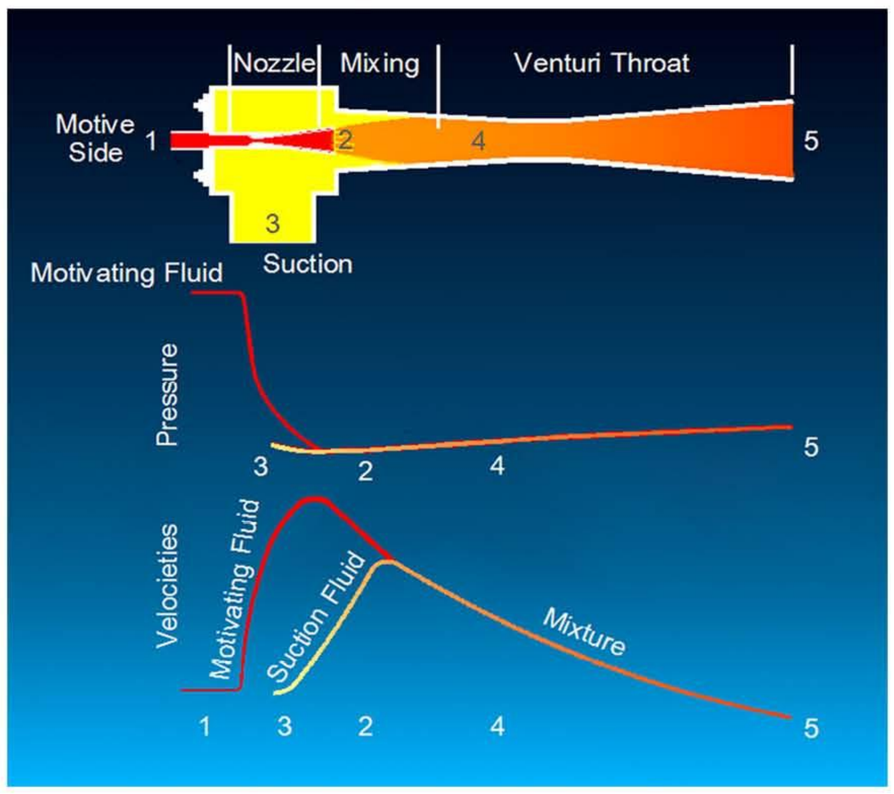
اجکتورهای بخار (Steam Ejector) از کارآمدترین ، مطمئن ترین و کم هزینه ترین تجهیزات تولید خلاء محسوب می شوند .
مجموع مزایا ، توانایی ها و همچنین وسعت محدوده کاربری آنها باعث استفاده گسترده از آنها در صنایع گوناگون گردیده و جایگاهی منحصر به فرد را برای آنها به همراه داشته است . همچنین در مواردی که سیستم تولید خلاء بایستی بطور دائم و ۲۴ ساعت در حال کار باشد اجکتورهای بخار قطعاً بهترین انتخاب می باشند .

مزایا

- ساده و کارا همراه با ضریب اطمینان بالا
- عدم نیاز به تعمیر و نگهداری
- عدم وجود اجزاء متحرک و مستهلک شونده
- مقاومت در برابر خوردگی مواد شیمیایی در مقایسه با سایر انواع پمپ ها
- قیمت اولیه مناسب
- نصب و راه اندازی راحت و سریع
- عمر طولانی
- ابعاد کوچک ، مناسب نصب در مکانهای دور از دسترس
- ایده آل جهت کاربردهای خطرناک ، سمی و موادخورنده
- وجود تنوع در جنس و آلیاژهای مورد مصرف جهت ساخت مانند ؛ انواع استنلس استیل ، فولاد ، تیتانیم، چدن ، برنج و برنز

نحوه عملکرد

اجزاء تشکیل دهنده یک اجکتور بخار عبارتند از :
۱- نازل بخار ..... (Steam Nozzle)
۲- محفظه اختلاط ..... (Mixing Con)
۳- محفظه مکش ..... (Suction Chamber)
۴- گلوگاه ..... (Throat)
۵- شیپوره تخلیه ..... (Discharge Con)

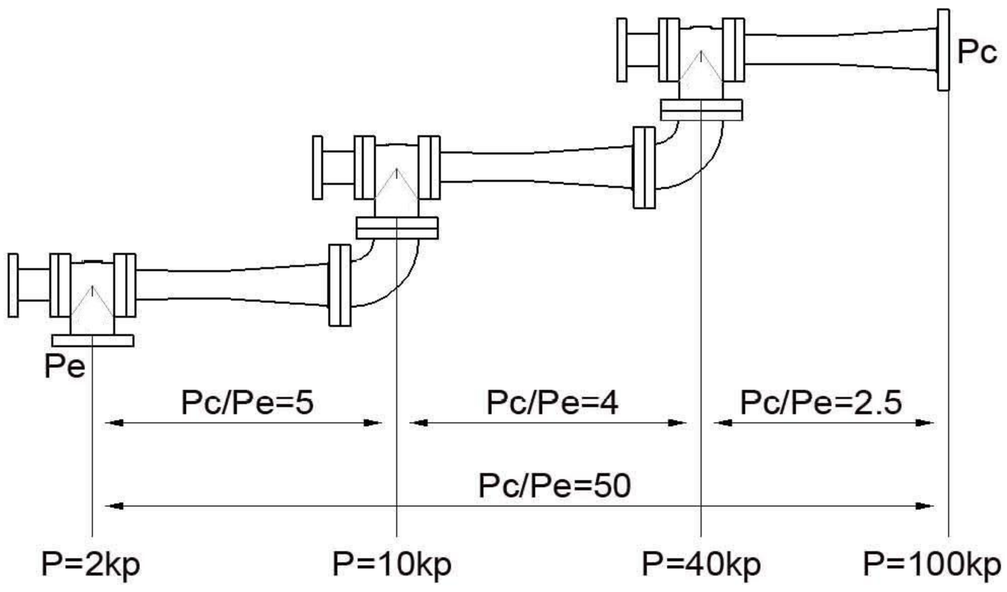


(شکل ۱)

- بخار دارای فشار وارد نازل بخار(۱) شده و در اثرعبور از نازل ، فشار بخار کاهش یافته و سرعت آن افزایش می یابد ، بعبارت دیگر فشار بخار تبدیل به سرعت می گردد (تبدیل انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی).
- کاهش فشار بخار خروجی از نازل با ایجاد مکش در دهانه ورودی محفظه مکش (۳) و ورود سیال همراه می باشد .
- بخار خروجی از نازل که دارای سرعت بسیار بالایی می باشد در قسمت اختلاط (۲) با سیال مکیده شده مخلوط شده و مقداری از انرژی خود را به آن منتقل می نماید . در نتیجه مخلوط بخار و سیال مکیده شده با سرعتی یکسان به سمت گلویی حرکت می نماید .
- سرعت مخلوط فوق در قسمت گلویی (۴) در اثر ایجاد شوک کاهش یافته و مجدداً فشار آن افزایش می یابد بعبارت دیگر انرژی جنبشی مخلوط تبدیل به انرژی پتانسیل می گردد (عکس عمل نازل) .
- در قسمت تخلیه(۵)جهت تطابق فشار بخارات خروجی از اجکتور با فشار پشت اجکتور ، مجدداً مقداری از سرعت بخارات تبدیل به فشار شده به طوری که فشار خروجی کاملاً منطبق با فشار پشت اجکتور گردد .

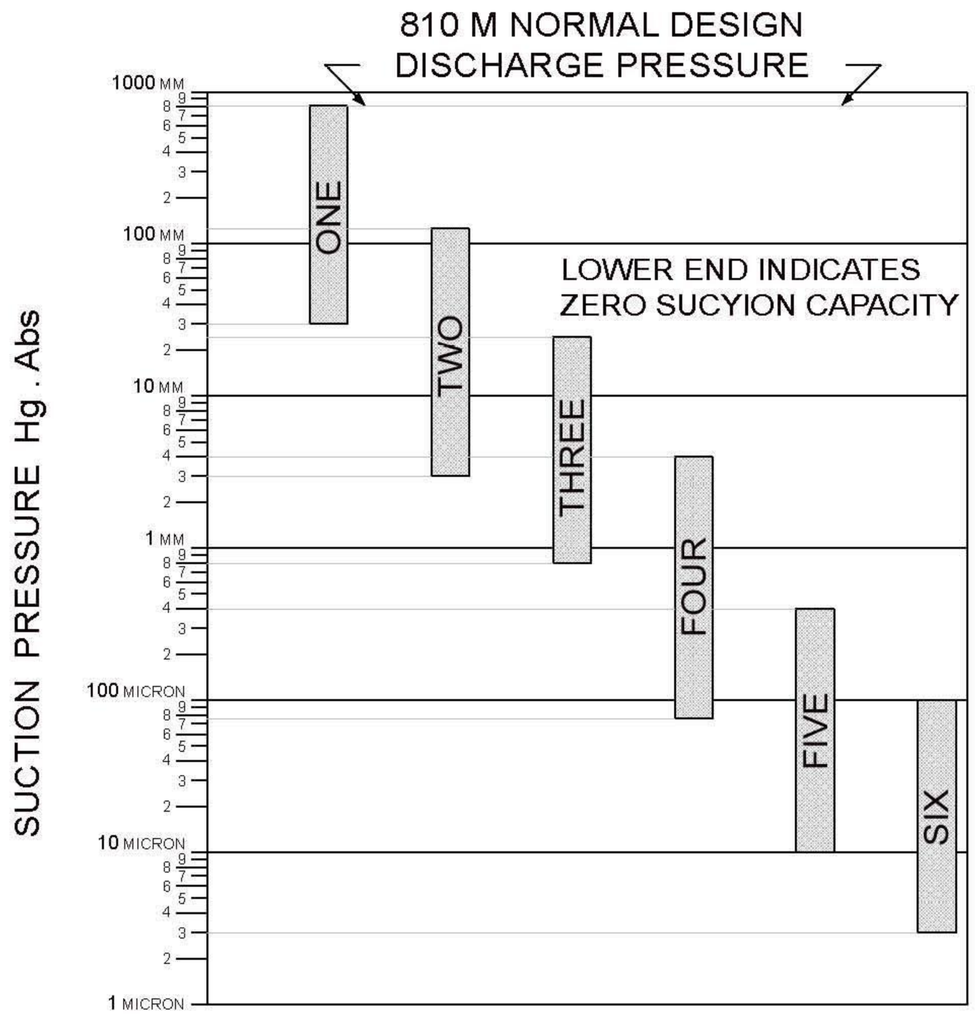
اجکتورهای چند مرحله

نسبت فشار تخلیه یک اجکتور به فشار مکش آن (Pc/Pe) ، بطور معمول در محدوده (2-8) بوده و هر اجکتور برای نسبت ثابتی طراحی می گردد . در مواردی که نیاز به نسبتی بیش از محدوده فوق باشد ، می توان با سری نمودن چند اجکتور نسبت لازم را ایجاد نمود . بطور مثال چنانچه بخواهیم هوای درون یک مخزن را از فشار 2kp به فشار اتمسفر یا 100kp تخلیه نمایم بایستی بصورت ذیل از ۳ مرحله اجکتور استفاده نماییم.



(شکل ۲)

این شکل تعداد مراحل اجکتور مورد نیاز را بر حسب میزان خلاء نشان می دهد .



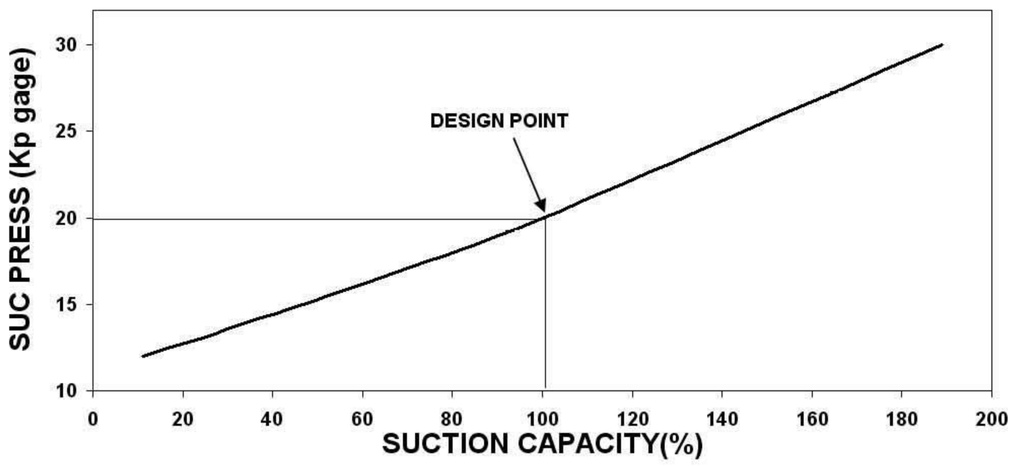
(شکل ۳)

اجکتور بخار یک مرحله ای

اجکتورهای بخار یک مرحله توانایی ایجاد خلاء از 101kp (فشار اتمسفر) تا 4kp مطلق را دارا می باشند ولی بطور معمول حداکثر تا فشار 20kp مطلق مورد استفاده قرار می گیرند . جنس نازل بخار معمولاً استنلس استیل می باشد و سایر قسمتها را با توجه به کاربرد می توان از آلیاژهای مانند انواع استنلس استیل، فولاد ، تیتانیم ، چدن ، برنج و برنز انتخاب نمود .

در مکانهایی که بخار موجود می باشد اجکتورهای بخار را می توان به عنوان جایگزین مطمئن پمپ های وکیوم رینگ آب (Liquid Ring) استفاده نمود و مشکلات این سری پمپ ها نظیر نیاز دائم به نگهداری و تعمیر قسمتهای دوار در اثر فرسودگی را براحتی برطرف نمود.

اجکتورهای بخار بر حسب شرایط مورد نیاز ، طراحی و ساخته می شوند . معمولاً در زمان کار فشار بخار محرک و فشار تخلیه تغییرات محسوسی ندارد ولی بر حسب شرایط کار میزان جرم سیال در قسمت مکش تغییر می نماید . به طور مثال در صورتی که اجکتور بخار بر روی کندانسور یک سیستم تغلیظ نصب شده باشد در اثر افزایش و یا کاهش دمای آب ورودی به کندانسور میزان بخارات خروجی از کندانسور که بایستی توسط اجکتور بخار کشیده شده و به اتمسفر تخلیه گردد نیز ، زیاد و کم می گردد . افزایش و کاهش جرم سیال در قسمت مکش اجکتور ، تأثیر مستقیم بر روی میزان خلاء دارد . منحنی شکل ۴ تغییرات فشار مکش بر حسب مقدار دبی مکش را برای اجکتور بخار یک مرحله نشان می دهد .



(شکل ۴)

از اجکتورهای بخار یک مرحله برای ایجاد خلاء اولیه در بعضی تجهیزات مانند کندانسور نیروگاه ها و یا موارد دیگر نیز استفاده می گردد . معمولاً اجکتورهای را که

برای این منظور مورد استفاده قرار می گیرند را اجکتور راه انداز یا (Hogging) می نامند . در این موارد زمان رسیدن به خلاء مورد نیاز ، پارامتر اصلی طراحی اجکتور می باشد . ظرفیت مکش برحسب خلاء مورد نیاز و زمان رسیدن به ان مشخص می شود .

اجکتورهای چند مرحله

برای رسیدن به فشار مکش پایین بایستی از ۲ یا چند اجکتور که بصورت سری با یکدیگر مرتبط می باشند استفاده نمود . با سری نمودن دو مرحله اجکتور حداکثر تا 4mbar و با سری نمودن سه مرحله حداکثر تا 1mbar می توان خلاء ایجاد نمود .
در سیستمهای چند مرحله ای ، بر حسب امکانات موجود و شرایط کار در بین مراحل مختلف ، می توان از کندانسور استفاده نمود . هدف از تعبیه کندانسور کاهش مصرف بخار می باشد . این کاهش مصرف به دو دلیل ایجاد می گردد :
۱ - با کندانس نمودن بخارات خروجی از اجکتور مرحله اول ، میزان مکش اجکتور دوم و در نتیجه میزان بخار مصرفی آن کاهش می یابد .
۲ - هوا و سایر گازهای غیر قابل کندانس را سرد نموده و بار وارده بر اجکتور مرحله بعد را کاهش می دهد .
معمولاً در ظرفیت های پایین که هزینه اولیه دستگاه مهمتر از هزینه جاری باشد یا امکان تهیه آب خنک کننده جهت کندانسور وجود نداشته باشد ، کندانسور بین مراحل حذف می گردد . اما در حالت کلی استفاده از کندانسور بسیار مقرون به صرفه می باشد.

اطلاعات لازم جهت سفارش

۱ - دما و فشار بخار محرک
۲ - دما ، فشار ، دبی ، جرم مولکولی و جرم حجمی سیال در قسمت مکش
۳ - فشار در قسمت تخلیه
۴ - اطلاعاتی که برای سفارش دهنده اهمیت دارد مانند جنس بدنه و نازل ، حجم سیستمی که بایستی خلاء شود و یا زمان رسیدن به خلاء مورد نیاز .

انواع کندانسورهای مورد استفاده

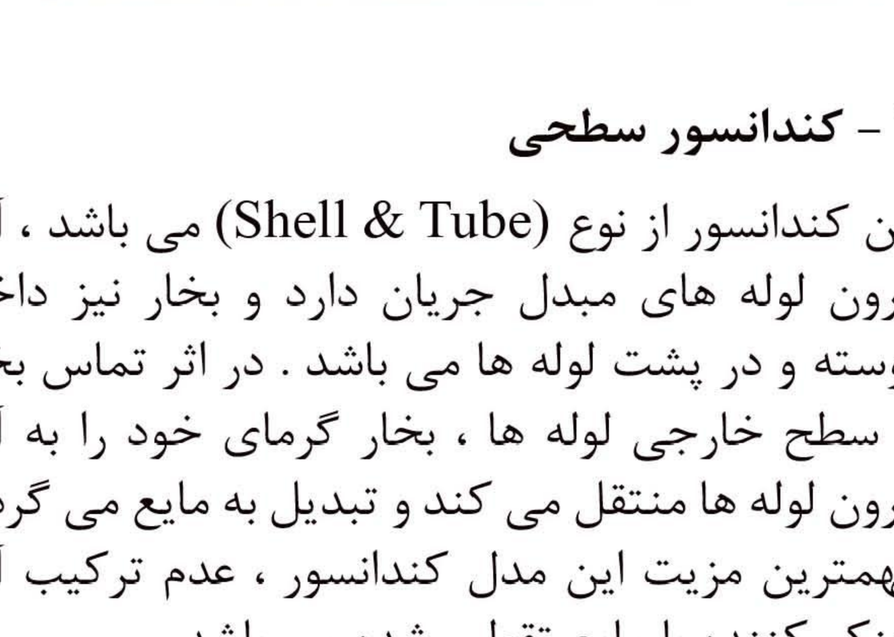
۱ - کندانسور تماس مستقیم

در این نوع کندانسور بخار مستقیماً با آب سرد کننده (Cooling water) برخورد نموده و گرمای خود را به آب انتقال می دهد ، این عمل سبب تقطیر بخار (تبدیل بخار به مایع) شده و دمای آب را افزایش می دهد. مخلوط بخار تقطیر شده و آب گرم شده از انتهای کندانسور خارج می گردد و برای سرد شدن به برج خنک کن منتقل می شود . این نوع کندانسور به سرویس و نگهداری نیازی ندارد ، طول عمر آن زیاد می باشد و نسبت به سایر کندانسورها از راندمان بیشتر و قیمت اولیه کمتر برخوردار می باشد .

(شکل ۸)

۲ - کندانسور سطحی

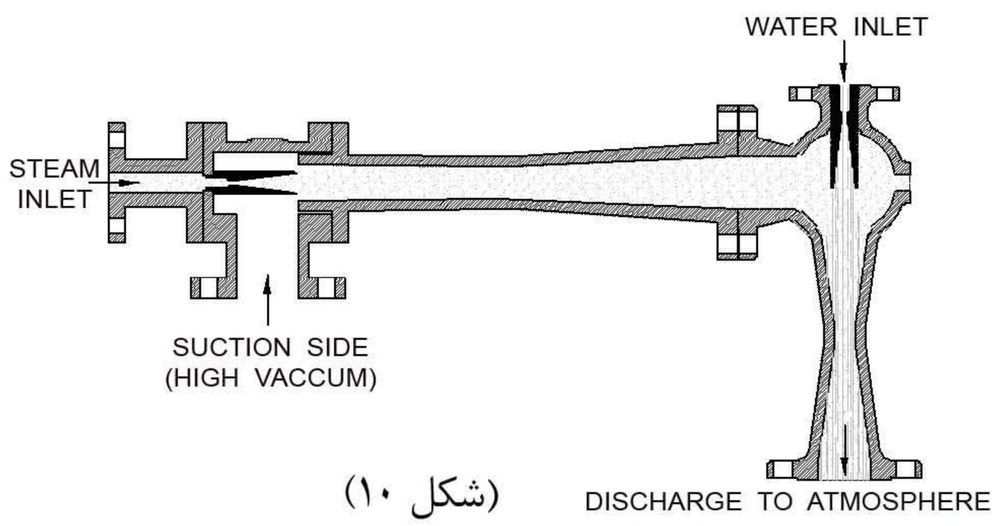
این کندانسور از نوع (Shell & Tube) می باشد ، آب درون لوله های مبدل جریان دارد و بخار نیز داخل پوسته و در پشت لوله ها می باشد . در اثر تماس بخار با سطح خارجی لوله ها ، بخار گرمای خود را به آب درون لوله ها منتقل می کند و تبدیل به مایع می گردد. مهمترین مزیت این مدل کندانسور ، عدم ترکیب آب خنک کننده با مایع تقطیر شده می باشد .



(شکل ۹)

۳ - جت کندانسور

جت کندانسور در واقع یک (Water jet vaccum pump) می باشد که اصول عملکرد آن دقیقاً شبیه اجکتورهای بخار است با این تفاوت که سیال محرک آن به جای بخار ، آب تحت فشار می باشد .



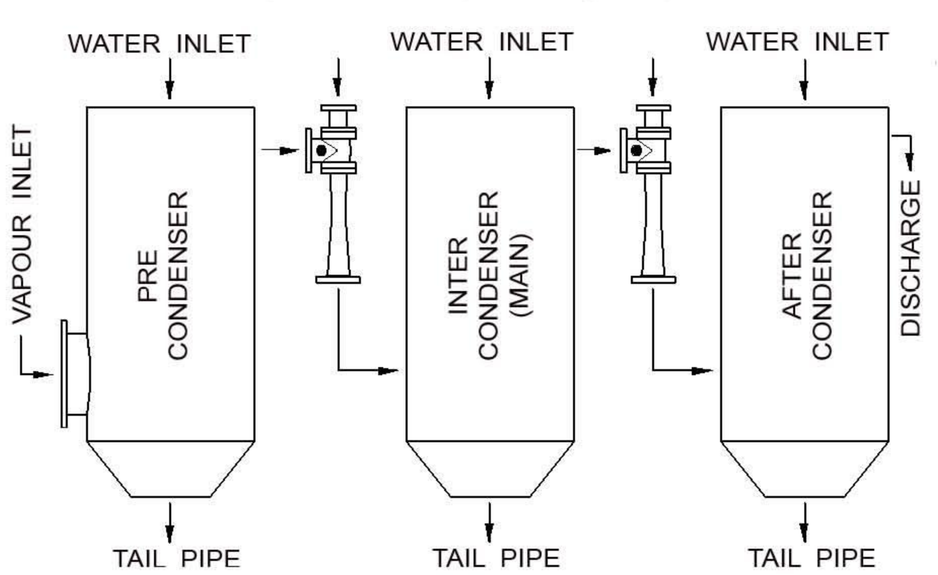
(شکل ۱۰)

کندانسورها عموماً در سه موقعیت زیر مورد استفاده قرار می گیرند :

۱ - کندانسور میانی یا اصلی
در بین مراحل مختلف اجکتور قرار گرفته و هدف از آنها همان گونه که قبلاً ذکر شد کاهش بار وارده به اجکتورهای بعدی و در نتیجه کاهش مصرف بخار آنها می باشد .

۲ - پیش کندانسور
در مواردی که در مخلوط مکش شده اجکتورها، نسبت بخارات قابل کندانس به بخارات غیر قابل کندانس زیاد می باشد ، برای کاهش مصرف بخار اجکتورها بهتر است یک کندانسور بارومتریک یا سطحی به عنوان پیش کندانسور ، قبل از ورودی اجکتور تعبیه گردد .

۳ - پس کندانسور
در قسمت تخلیه اجکتور مرحلهٔ آخر نصب میگردد و بخارات خروجی به دلیل بازیافت وتبدیل مجدد به آب و همچنین کاهش صدا در آن تخلیه میگردد.



(شکل ۱۱)

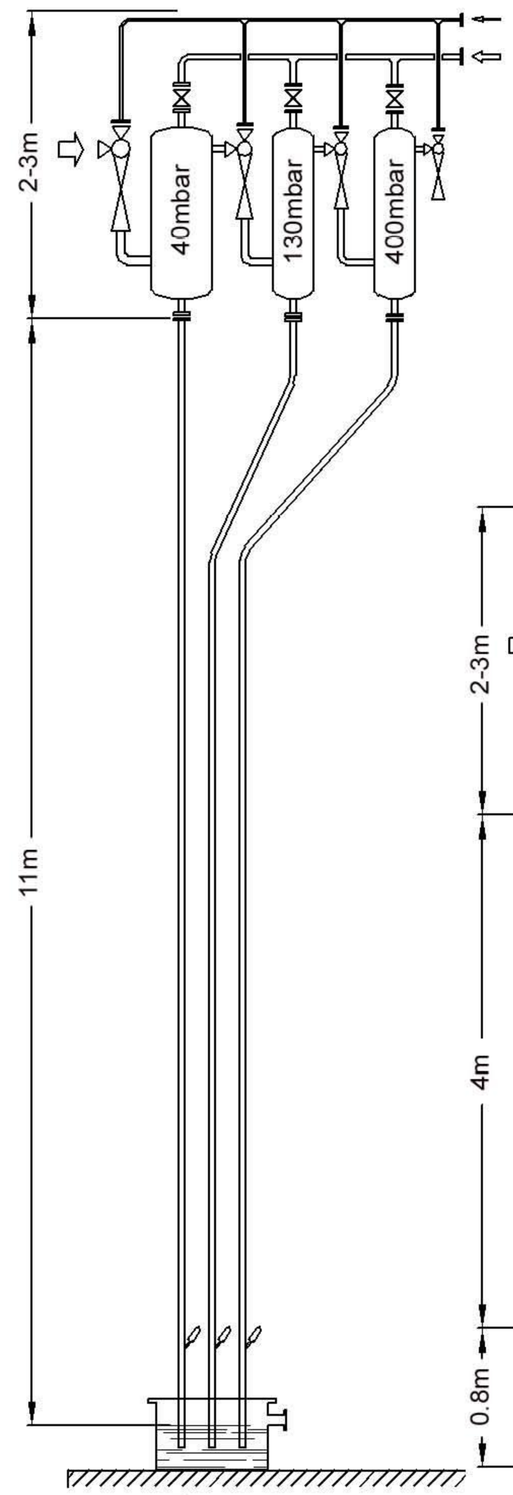
نحوه نصب کندانسورها

۱ - بارومتریک

تا حد امکان بایستی کندانسورها به این سیستم نصب شوند چرا که آب کندانس شده در آنها توسط نیروی ثقل تخلیه شده و نیازی به پمپ ندارد . در این حالت فشار کندانسور به علاوه فشار ارتفاع آب بایستی بیش از فشار اتمسفر شود تا آب در کندانسور جمع نشود .

۲ - سطح پایین یا شبه بارومتریک

در حالتیکه امکان تأمین تمامی ارتفاع برای جبران خلاء (مثلاً حدود ۱۱ متر) وجود نداشته باشد ، قسمتی از اختلاف فشار کندانسور و اتمسفر توسط ستون آب و مابقی توسط پمپ تأمین می شود .



نصب بارومتریک کندانسورها
(شکل ۱۲)

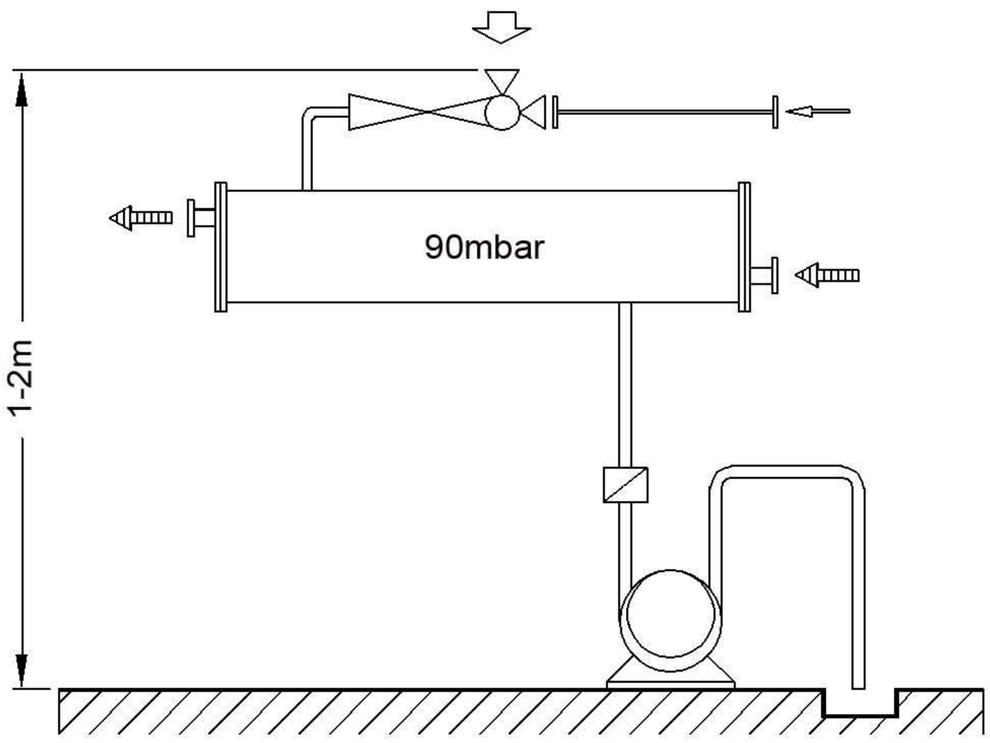
نصب سطح پائین کندانسور
(شکل ۱۳)

۳ - نصب غیر بارومتریک

نصب غیر بارومتریک به سه صورت امکان پذیر است :

۱) Steam jet water ring :

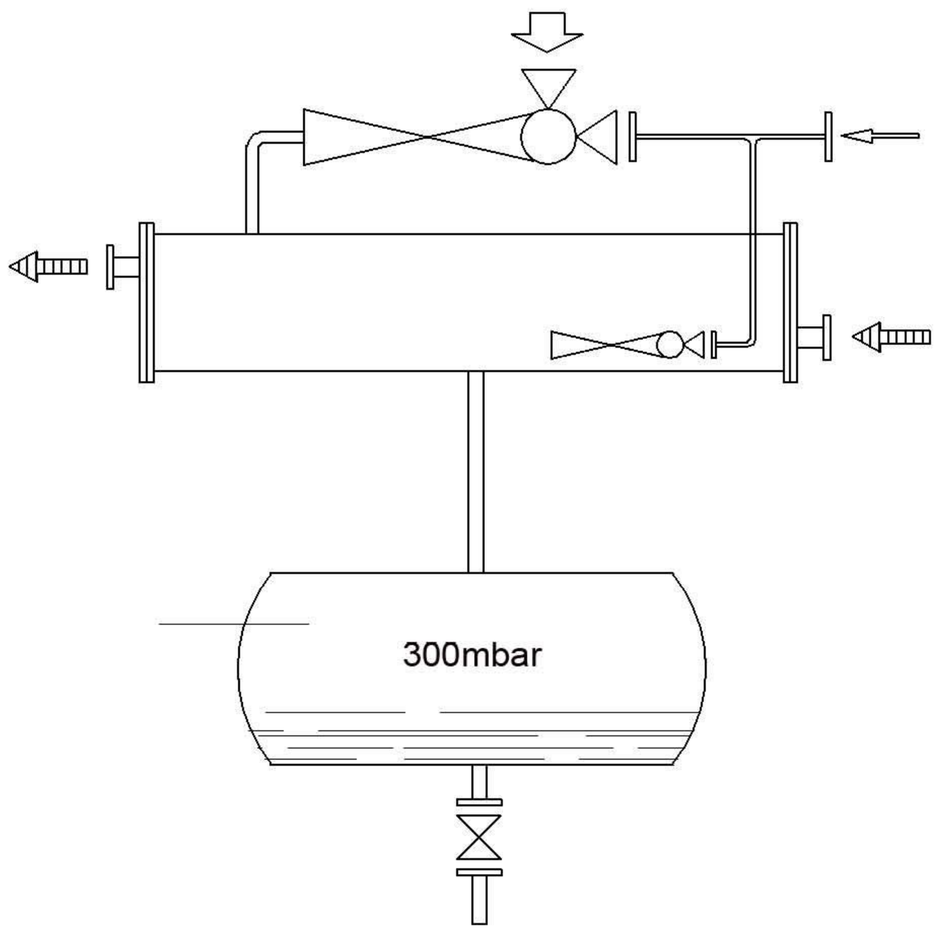
در این حالت مینیمم ارتفاع نصب فقط به گونه ای در نظر گرفته می شود که از وقوع کاویتاسیون در پمپ جلوگیری کند .



(شکل ۱۴)

۲) استفاده از تانک کندانس :

در حالتی که کارکرد دائم سیستم مد نظر نباشد می توان با تعبیه یک تانک کندانس این کار را انجام داد . این حالت فقط برای کندانسور سطحی قابل استفاده است .



(شکل ۱۵)

۳) استفاده از جت کندانسور :

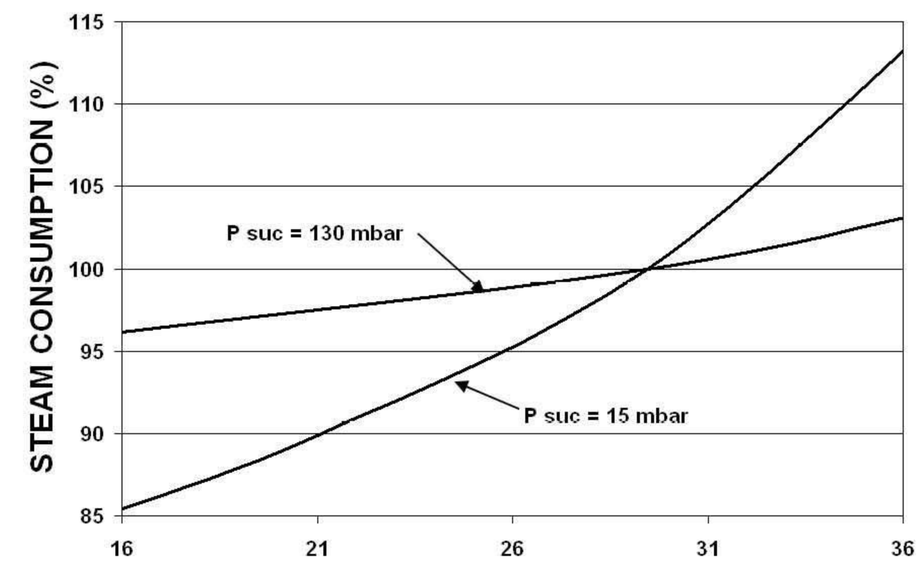
در این حالت دیگر نیازی به نصب سیستم یا استفاده از پمپ نمی باشد .

اثر دمای آب کندانسور بر عملکرد سیستم خلاء

با افزایش دمای آب سرد کننده (Cooling water) عمل کندانس در کندانسورها بخوبی انجام نمی شود و لذا فشار کندانسورها افزایش می یابد ، این افزایش فشار روی عملکرد اجکتور تاثیر منفی می گذارد و سبب افت خلاء می گردد .

در چنین شرایطی برای تأمین خلاء مورد نیاز باید فشار بخار را افزایش داد که سبب افزایش مصرف بخار می گردد. هر چه خلاء نهایی ایجاد شده در سیستم بیشتر باشد این تاثیر بیشتر دیده می شود .

در نمودار شکل ۱۶ برای یک سیستم خلاء دو مرحله با کندانسور بارومتریک و برای دو مقدار خلاء 15mbar و 130mbar میزان افزایش مصرف بخار بر حسب دمای آب سرد کننده Cooling water نشان داده شده است.



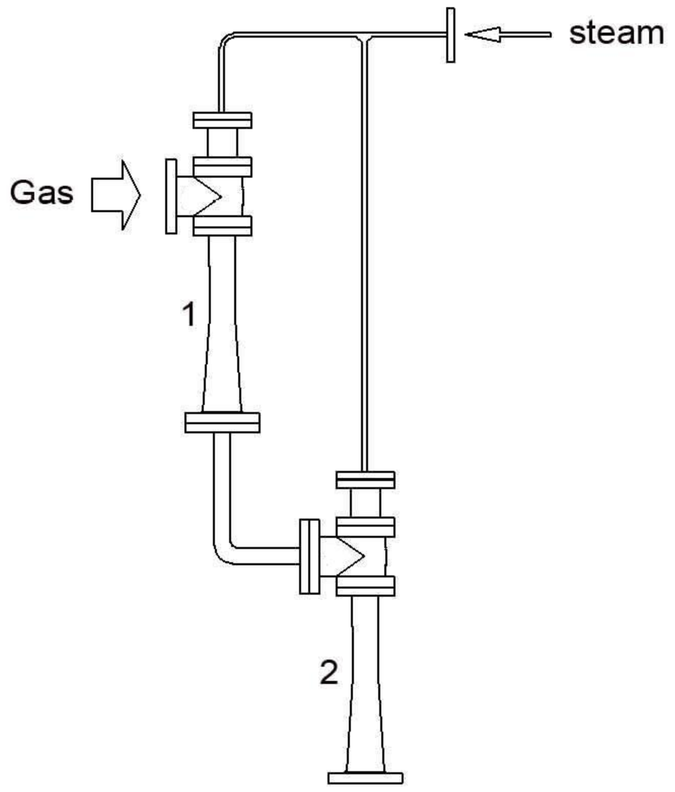
(شکل ۱۶)

اجکتورهای دو مرحله ای و سه مرحله ای

محدوده خلاء قابل دستیابی با دو مرحله بین 4mbar تا 167mbar می باشد که بر حسب شرایط گاهی در محدوده 167mbar استفاده از یک مرحله و در محدوده 4mbar استفاده از سه مرحله مقرون به صرفه است .

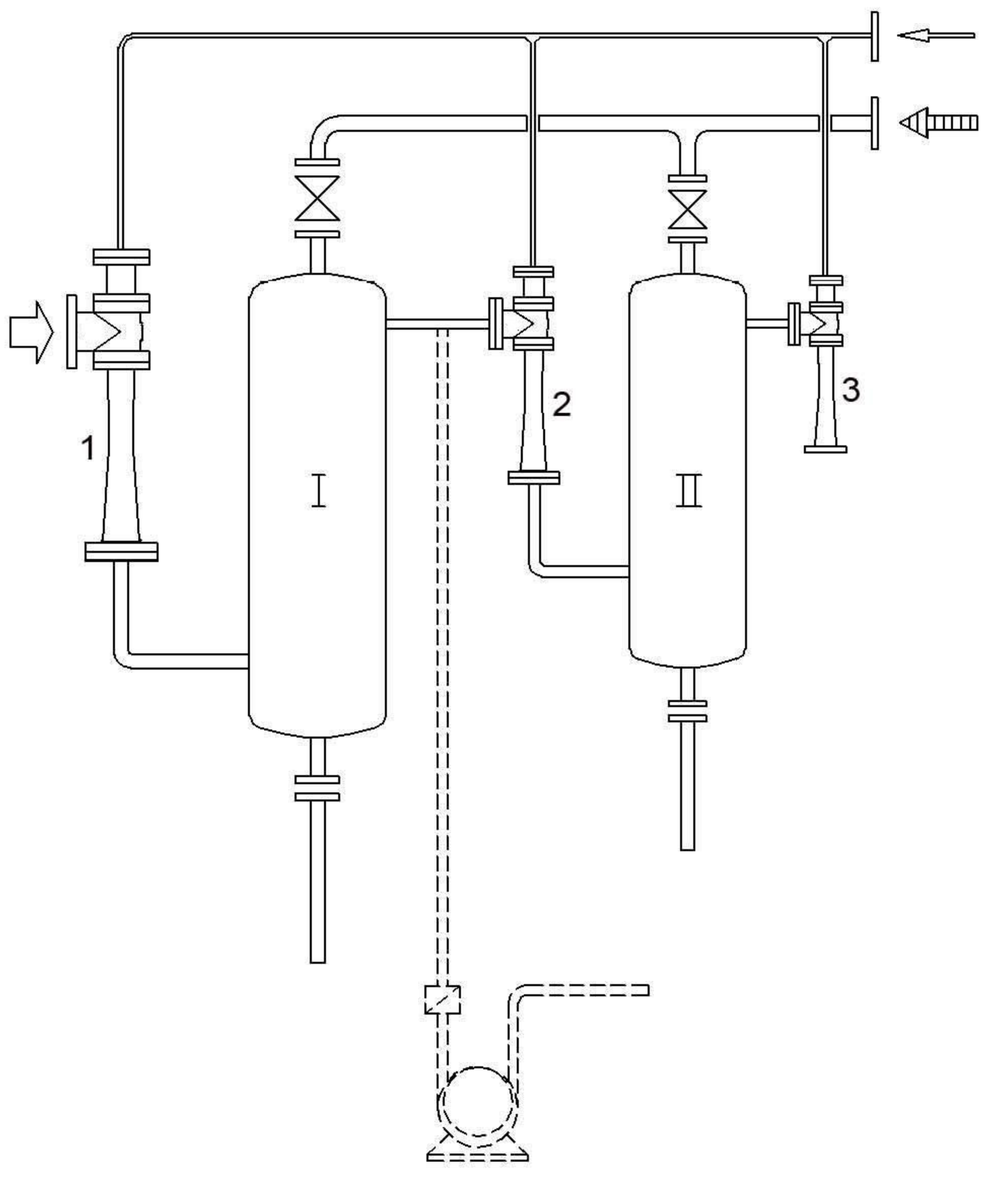
همچنین محدودهٔ خلاء قابل دستیابی برای سه مرحله بین 1-34mbar می باشد که در این حالت نیز در محدودهٔ 34mbar استفاده از دو مرحله و در محدودهٔ 1mbar استفاده از چهار مرحله از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است .

در سیستم دو مرحله ابتدا اجکتور مرحله اول (خلاء بالا) سیال مکش را فشرده کرده و به یک فشار میانی کمتر از فشار اتمسفر می رساند و سپس اجکتور دوم (خلاء پائین تر) آن را تا فشار اتمسفر فشرده می کند . در سیستم سه مرحله ای دو فشار میانگین وجود دارد . این فشارهای میانی بر حسب شرایط کارکرد متفاوت بوده و طراحی بر اساس بهینه ترین حالت انجام می شود . بر اساس شرایط محیطی و شرایط کارکرد سیستم و امکانات موجود ، کندانسور سطحی یا بارومتریک در موقعیتهای کندانسور میانی یا پس کندانسور و پیش کندانسور و موقعیت های نصب گوناگون در نظر گرفته می شود .



سیستم خلاء دو مرحله بدون کندانسور

(شکل ۱۷)



سیستم خلاء سه مرحله با کندانسور میانی

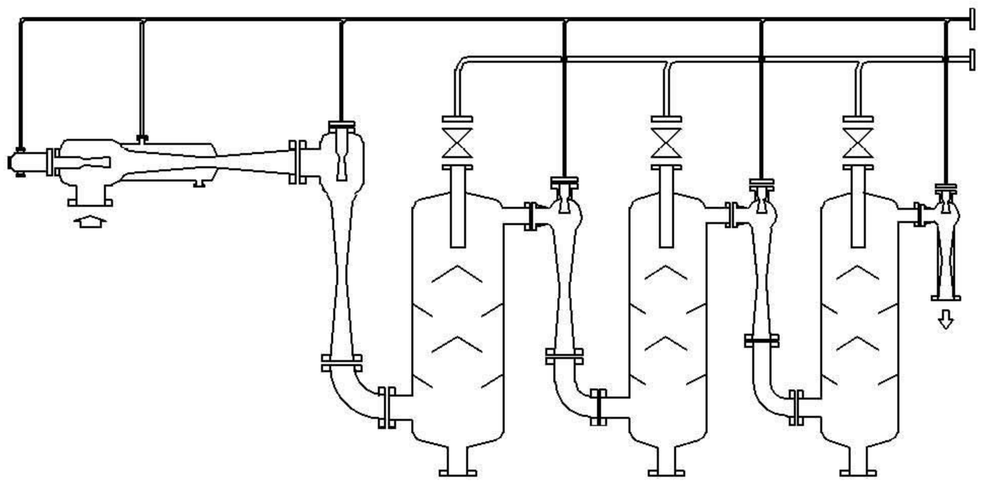
(شکل ۱۸)

اجکتورهای چهار و پنج و شش مرحله ای

محدودهٔ خلاءهای قابل دستیابی برای مراحل چهار پنج و شش مرحله ای به شکل زیر است :

- اجکتور چهار مرحله ای : 1-5.3mbar
- اجکتور پنج مرحله ای : 0.013-0.5mbar
- اجکتور شش مرحله ای : 0.004-0.132mbar

سیستمهای چهار و پنج و شش مرحله ای معمولاً به ترتیب شامل ۲ و ۳ و ۴ بوستر ، دو کندانسور تماس مستقیم یا سطحی و دو عدد اجکتور مرحله یک و دو می باشد . برای جلوگیری از تشکیل شدن یخ در گلوئی مراحل چهار به بالا لازم است خارج دیفیوز این اجکتورها یک Jacket گرمایی در نظر گرفته شود .



سیستم خلاء پنج مرحله ای همراه کندانسورهای بارومتریک
(اجکتور مرحله پنج دارای Jacket گرمایی می باشد)

(شکل ۱۹)

(شکل ۲۰)