

۱- مقدمه:

اجکتورها تجهیزاتی برای جابجایی، تراکم یا اختلاط گاز، بخار، سیالات و جامدات هستند، لذا می توانند برای ایجاد خلا، افزایش فشار و یا جابجایی سیال مورد استفاده قرار گیرند. عامل محرک، به جای قطعات مکانیکی، مایعات، گازها یا بخار آب می باشد. این وسایل «پمپ های فاقد قطعات متحرک» هستند. وجود گزینه های متعدد برای سیال محرک منجر به طیف بسیار وسیعی از کاربردها برای این پمپ ها شده است.

۲- نحوه عملکرد

اجکتورها از سه بخش اصلی و سه اتصال اصلی تشکیل شده اند که در شکل ۱ نشان داده شده است و به شرح زیر می باشد:

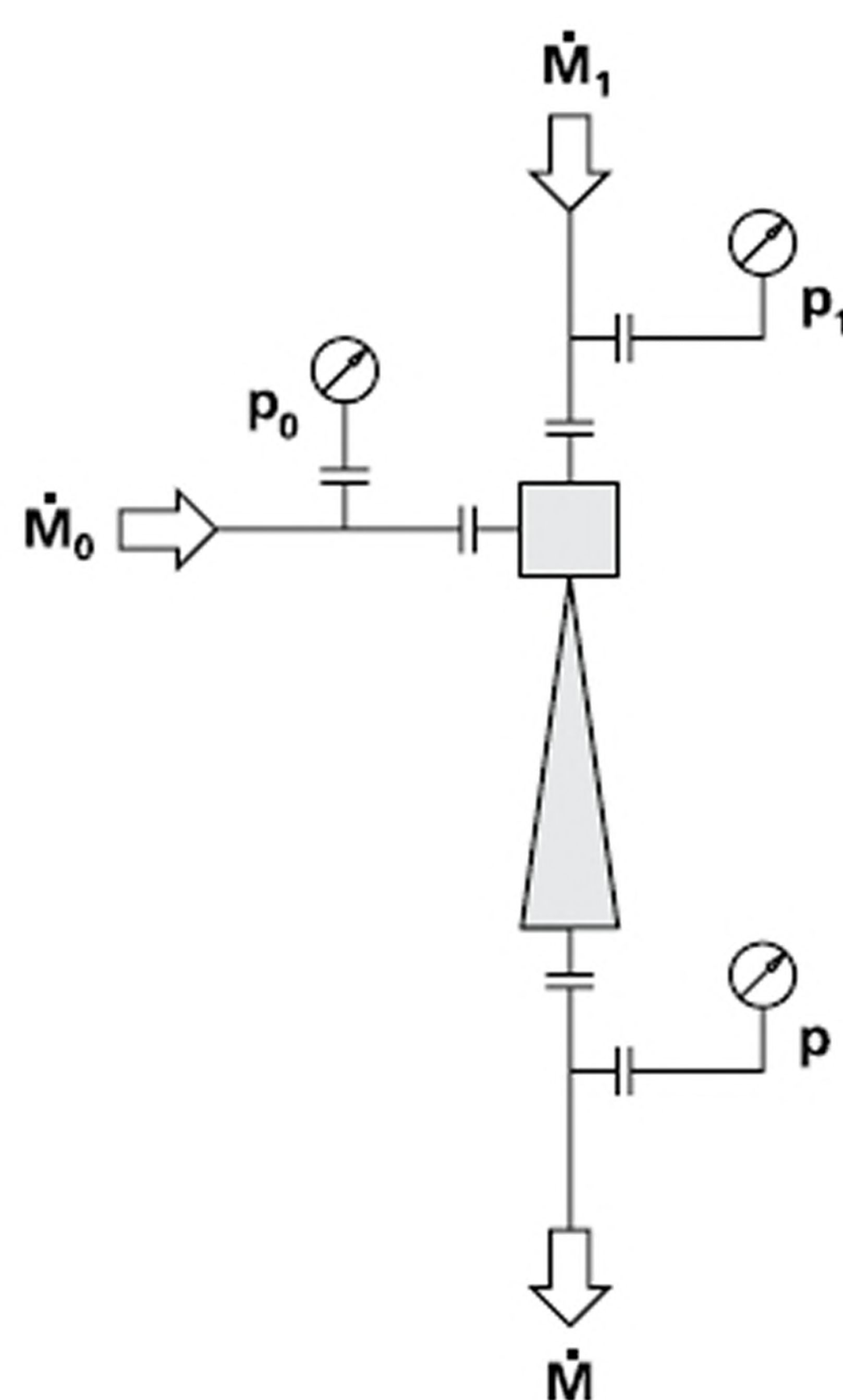
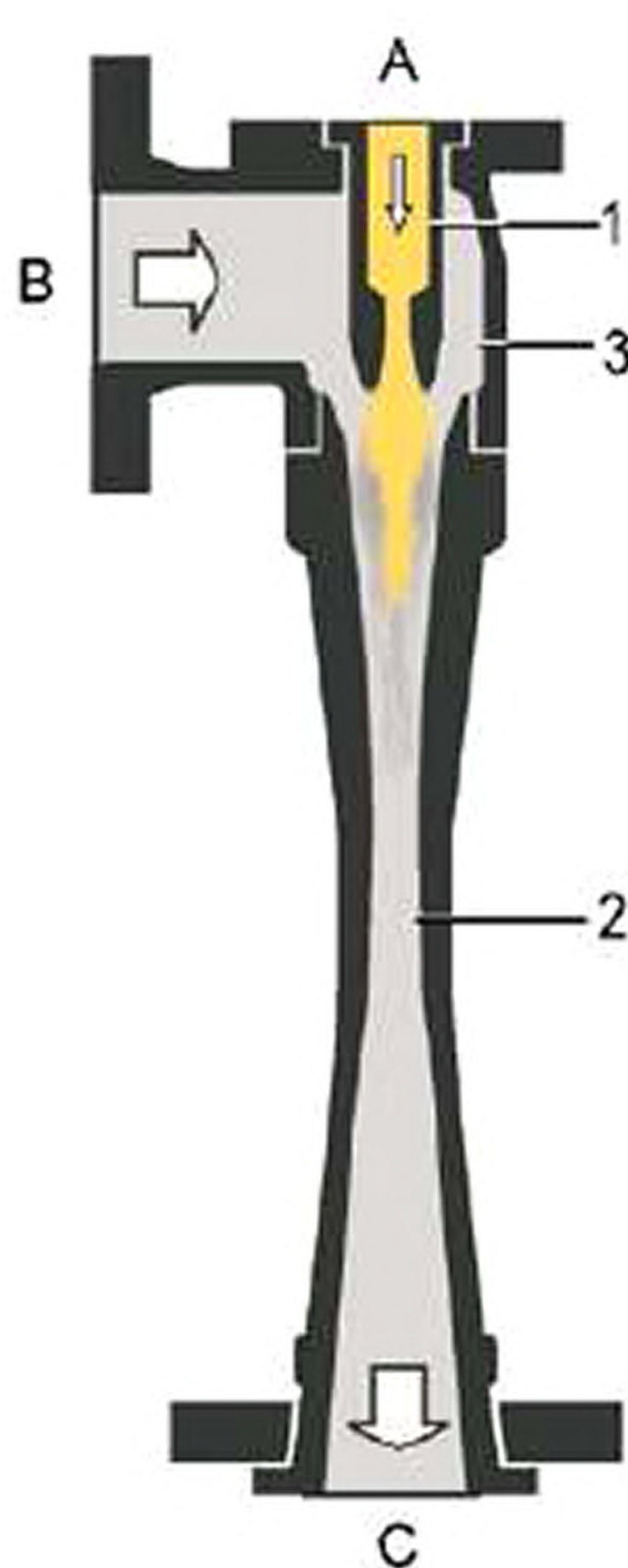
- ✓ نازل موتیو (شماره ۱)
- ✓ دیفیوزر (شماره ۲)
- ✓ محفظه مکش (شماره ۳)
- ✓ ورودی سیال موتیو (A)
- ✓ ورودی سیال مکش (B)
- ✓ خروجی مخلوط سیال (C)

عملکرد اجکتورها به این صورت است که سیال پر فشار یا همان سیال موتیو پس از عبور از نازل، فشار آن کاهش یافته و سیال مکش را به داخل اجکتور هدایت می کند. سپس در دیفیوزر فشار سیال افزایش پیدا می کند و به فشار مورد نیاز در تخلیه می رسد. لذا رابطه بین فشار سیال و همینطور دبی آنها به صورت زیر می باشد:

$$P_1 > P > P_0$$

$$M_1 + M_0 = M$$

لازم به ذکر است که برای ارتباط بین فشارها و دبی های اجکتورها قانون ساده ای وجود ندارد و می بایستی بر اساس آن شرایط خاص، طراحی و ساخته شود. همینطور پروسس داخل اجکتورها پیچیده است و می بایستی برای هر شرایط فشاری محاسبات به



شکل ۱ / اجکتور

۳- انواع اجکتورها:

اجکتورها بر اساس نوع سیال موتیو و همینطور میزان افزایش فشار یا خلای که ایجاد می نمایند به صورت زیر دسته بندی شوند:

بر اساس سیال موتیو	بر اساس سیال مکش		
اجکتورهای مایع:	اجکتورهای بخار:	اجکتورهای گاز:	
ونتیلاتور مایع	ونتیلاتور بخار	ونتیلاتور گاز	
کمپرسور مایع	کمپرسور بخار	کمپرسور گاز	
اجکتور خلا مایع	اجکتور خلا بخار	اجکتور خلا گاز	
اجکتور مایع-مایع	اجکتور بخار-مایع (سیفون)	اجکتور گاز-مایع	
اجکتور مایع-جامد	اجکتور بخار-جامد	اجکتور گاز-جامد	

با توجه به اینکه بخار آب پر فشار در اکثر فرآیندها موجود می باشد و همینطور رنج کارکرد وسیع این نوع اجکتورها، در ادامه بیشتر به این نوع اجکتور پرداخته ایم.

۴- امتیازات اجکتورها

- ✓ ساخت نسبتاً ساده
- ✓ عملکرد ایمن
- ✓ فرسایش ناچیز، مقاومت در برابر خوردگی و در نتیجه عمر طولانی در صورت انتخاب جنس مناسب
- ✓ مناسب برای خلأهای پایین
- ✓ ترکیب با پمپهای خلأ مکانیکی
- ✓ قابلیت ساخت از انواع مواد (اطمینان از سازگاری با جریانهای مکش)
- ✓ عدم وجود قطعات متحرک
- ✓ قابلیت ایجاد هر نوع خلأ برای دبیهای کوچک تا بزرگ
- ✓ هزینه نگهداری پایین
- ✓ قابلیت اطمینان بالا
- ✓ هزینه بهره‌برداری پایین در نتیجه طراحی حرفه‌ای و انطباق دقیق با نیازهای طرح
- ✓ نصب آسان
- ✓ راه‌اندازی سریع

۵- کاربردها

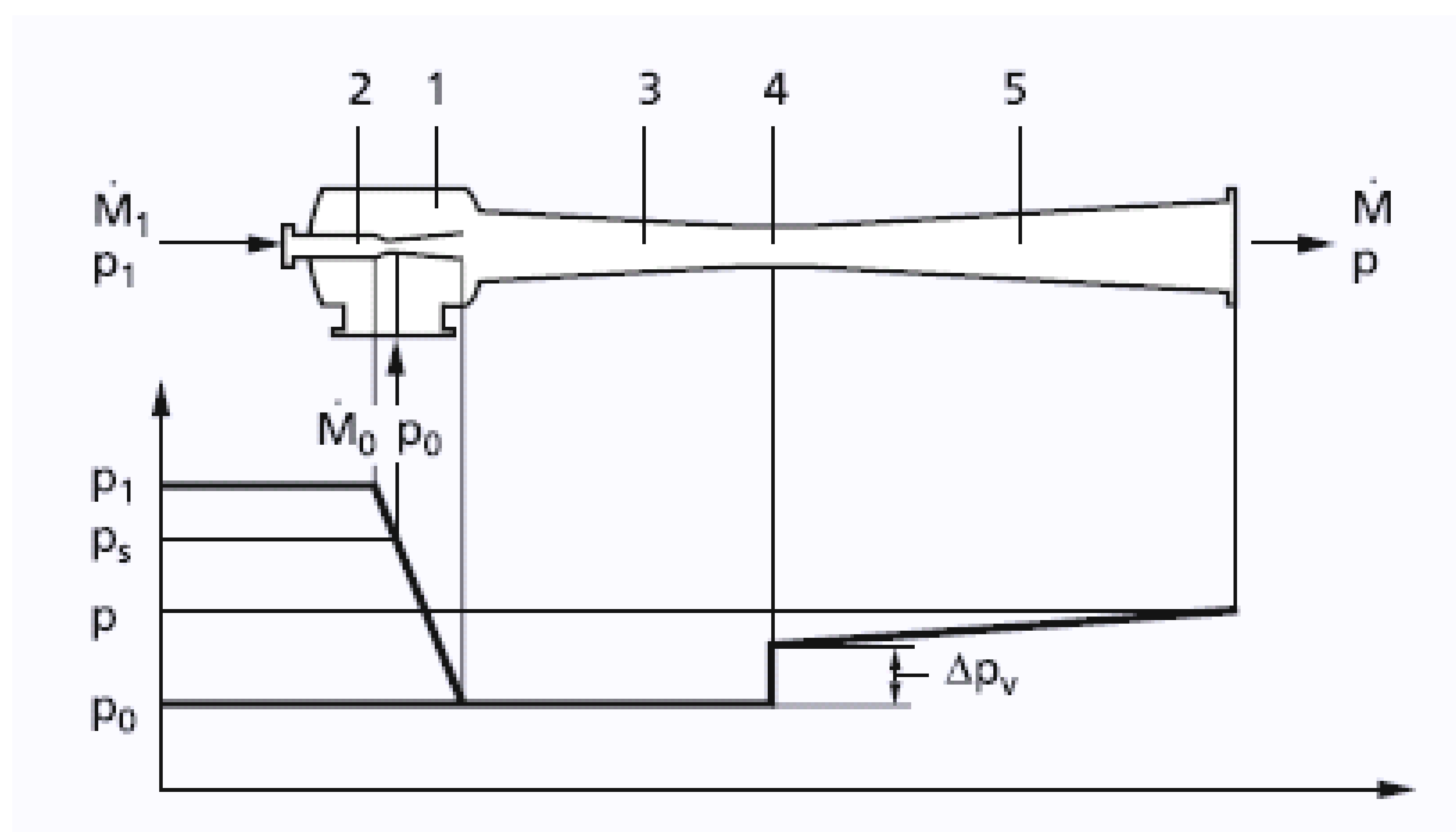
- ✓ تولید خلأ در اوپراتورها
- ✓ هوازدایی کندانسور توربین
- ✓ رطوبت زدایی تنباکو
- ✓ تولید فیلم در صنعت پلاستیک
- ✓ تولید اوره
- ✓ گاز زدایی اکسترودر
- ✓ فرآیندهای خشک کردن
- ✓ بو زدایی از روغن خوراکی
- ✓ گاز زدایی فولاد
- ✓ صنایع شیمیایی
- ✓ شیرین سازی آب
- ✓ تقطیر تحت خلأ
- ✓ استخراج و فرآوری گاز طبیعی
- ✓ بازیابی گاز فلر
- ✓ جابجایی و مکش سیالات
- ✓ جابجایی و شستشوی جامدات مانند گرانول



۶- اجکتورهای بخار:

۶-۱- اجکتورهای بخار تک مرحله:

نحوه عملکرد اجکتور بخار مانند سایر اجکتورهاست با این تفاوت که سیال موتیو، بخار آب می باشد. در شکل ۲ تغییرات فشار در طول اجکتور نمایش داده شده است. در بسیاری از موارد سرعت در خروجی نازل به چندین برابر سرعت صوت می رسد. اجکتورهای بخار جریان های فشار پایین دارای حجم مخصوص بالا را به راحتی جابجا می کنند که باعث می شود انتخاب بسیار مناسبی جهت کاربردهای تولید خلأ باشند. در اجکتور بخار شکل ۲ نسبت فشار شیپوره بیشتر از «حد بحرانی» است. به این ترتیب سرعت بخار از سرعت صوت بیشتر می شود و اختلاط در سرعت مافوق صوت صورت می پذیرد. در گلوگاه دیفیوزر یک شوک رخ می دهد که همراه با یک پرش ناگهانی در فشار، ΔP ، و کاهش سرعت جریان به زیر سرعت صوت می باشد. افزایش فشار نهایی تا فشار تخلیه، P ، در بخش واگرای دیفیوزر حاصل می گردد.



فشار بخار محرک	P_1
فشار مکش	P_0
فشار تخلیه	P
فشار در سرعت صوت	P_s
پرش فشار	ΔP_v
جریان بخار محرک	M_1
جریان مکش	M_0
جریان مخلوط	M

شکل ۲. اساس کار اجکتور بخار و تغییرات فشار در طول مسیر جریان

در اکثر مواقع نسبت فشار تخلیه به مکش برای اجکتور تک مرحله حداکثر ۱۰ می باشد ($P/P_0 < 10$). پمپ های خلأی که به جو تخلیه می شوند می توانند تا فشار مکش نهایی حدود ۱۰۰ mbar تولید کنند که می بایستی فشار بخار موتیو به اندازه کافی بالا باشد. با افزایش فشار بخار موتیو میزان مصرف بخار کاهش می یابد. با این حال در فشار موتیو بالاتر از ۲۰ bar صرفه جویی چشمگیری در مصرف بخار حاصل نخواهد شد.

چنانچه نسبت فشار تخلیه به مکش اجکتور کمتر از ۱/۸ باشد ($P/P_0 < 1.8$)، در گلوئی اجکتور بخار شوک نداشته و این اجکتورها ونتیلاتور بخار نامیده می شوند.

از کاربردهای اجکتور تک مرحله می توان استفاده به عنوان پمپ راه انداز برای تولید پیش خلا (Pre evacuation) نام برد. همچنین این اجکتورها در بسیاری از مواقع می توانند جایگزین پمپ رینگ آبی مخصوصا برای خلا های پایین شوند. در صورتی که تخلیه

مستقیم به محیط، به دلیل تولید سر و صدا، مجاز نباشد می توان از یک سایلنسر در خروجی اجکتور استفاده نمود. همچنین اگر می بایست از تخلیه بخار خودداری شود می توان یک مبدل آبی تماس مستقیم یا غیر مستقیم نصب نمود. همینطور ونتیلاتورهای بخار کاربرد گسترده ای در صنایع داشته و برای افزایش فشارهای پایین (کمتر از 500 mbar) مورد استفاده قرار می گیرد.

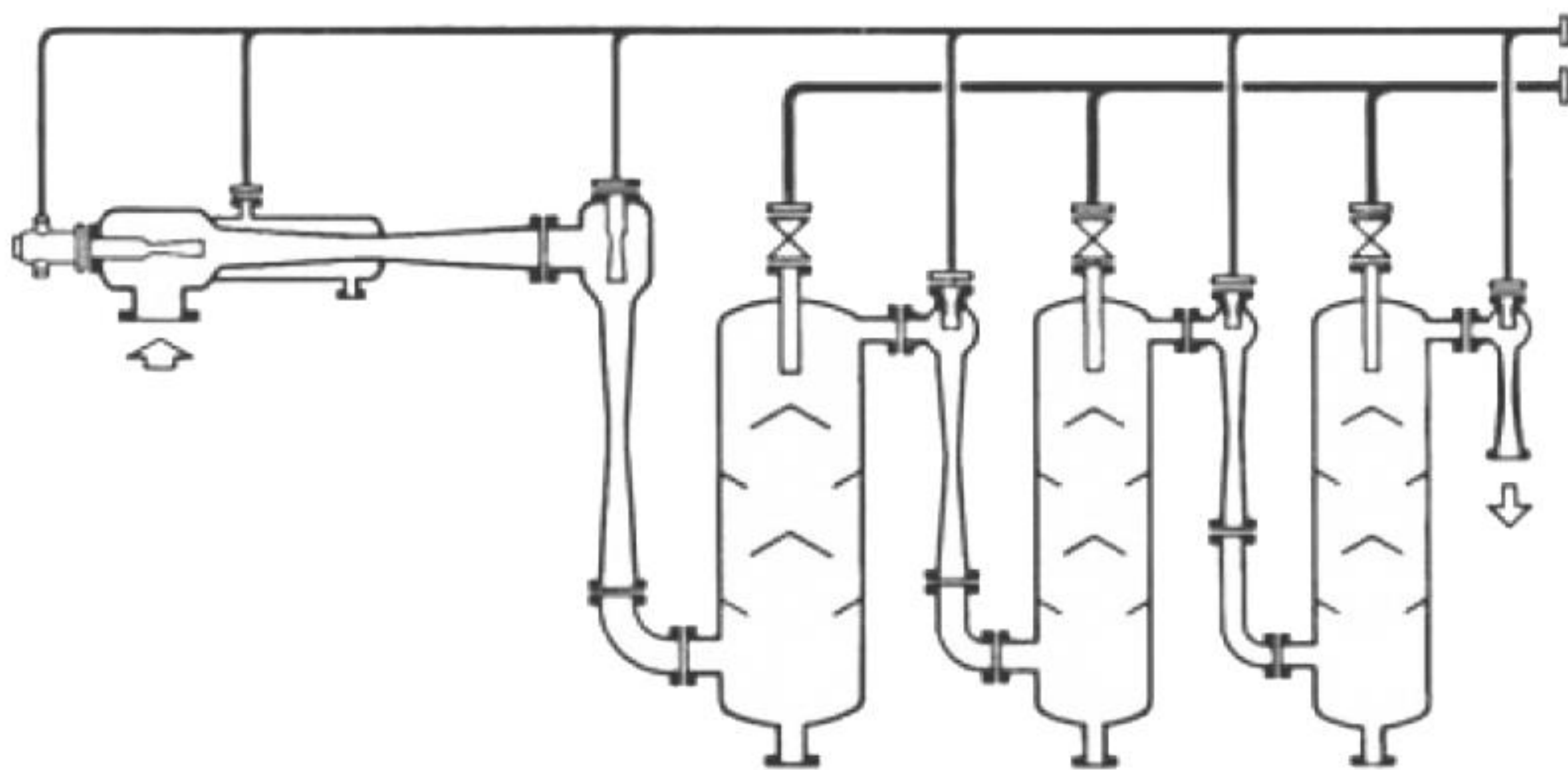
۲-۴. اجکتورهای بخار چند مرحله:

بدلیل محدود بودن نسبت فشار تخلیه به مکش برای یک تک اجکتور، جهت دستیابی به خلأهای پایین تر، اجکتورها را به صورت سری ترکیب می کنند. با ترکیب چند مرحله اجکتور بخار، حتی می توان به فشارهای خلا بسیار پایین مانند 0.01 mbar رسید. در این حالت سیستم شامل ترکیبی از اجکتور و کندانسور می باشد. وجود کندانسور سبب می شود تا بخار آب کندانس شده و مکش اجکتور مرحله بعد و در نتیجه مصرف بخار اجکتور بعدی کاهش پیدا کند.

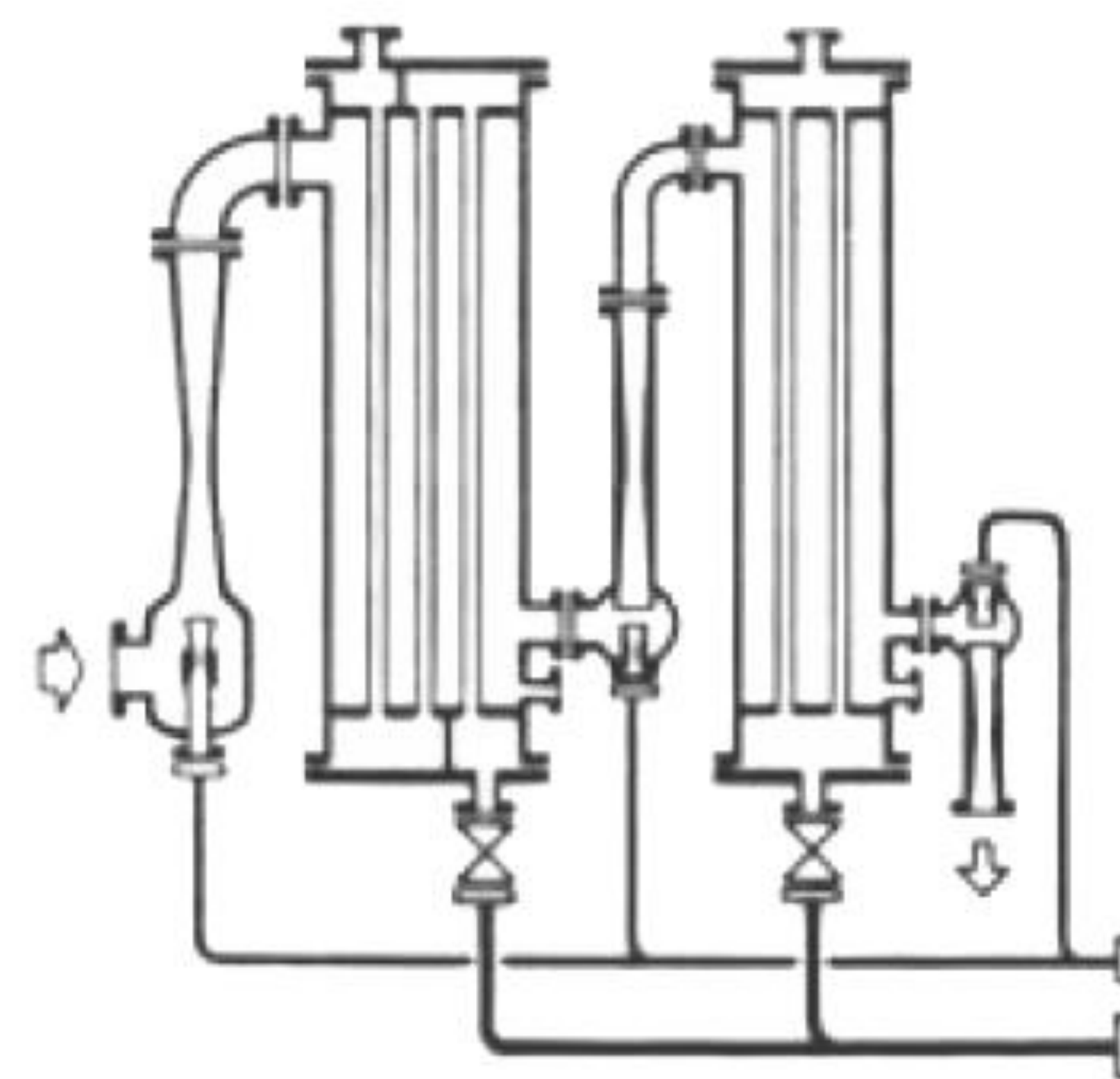
طبیعتاً استفاده از کندانسورهای میانی منوط به حصول فشارهای میانی بالاتر می باشد زیرا فشار تقطیر تابعی از دمای آب خنک کن موجود است. برای مثال با فرض دمای آب خنک کن 25°C و افزایش دمای 10°C ، دمای تقطیر حاصل برابر 35°C است. این دما مربوط به فشار اشباع 56 mbar می باشد. فشار تقطیر پایینتر، مثلاً $42/5 \text{ mbar}$ ، مربوط به دمای 30°C بوده و مستلزم افزایش مصرف آب خنک کن می باشد.

برای تراکم گاز مورد نظر از فشار 0.7 mbar تا فشار کندانسور میانی 56 mbar (یعنی نسبت تراکم $80 \approx 0.7 : 56$) وجود دو مرحله اجکتور هر یک با نسبت تراکم $8/9$ کفایت می کند. برای فشار مکش 0.1 mbar با همان فشار تخلیه بایستی ۳ اجکتور، هر یک با نسبت تراکم $8/25$ ، باید ترکیب شوند.

کندانسورهای مورد استفاده می توانند از نوع تماس مستقیم (شکل ۳) یا سطحی (شکل ۴) باشند و با آب خنک شوند. در صورت محدودیت منابع آب از کندانسورهای هوایی استفاده می شود. در کندانسورهای سطحی تقطیر ممکن است در سمت پوسته یا لوله انجام گیرد. این مبدل ها می توانند دارای لوله های ثابت یا قابل تعویض باشند. در کندانسورهای تماس مستقیم، تقطیر بخارات در تماس مستقیم با آب خنک کن صورت می گیرد. آب خنک کن و میعانات حاصله با هم مخلوط می شوند. برای صرفه جویی در مصرف آب می توان آب خنک کن را در یک سیکل بسته چرخاند. هرگاه تماس بین سیال فرآیند و آب خنک کن مطلوب نباشد و یا نیاز به بازیابی آن باشد از کندانسورهای سطحی استفاده می شود. در صورتیکه تخلیه بخار به اتمسفر مطلوب نباشد می توان پس از آخرین مرحله یک افتر کندانسور نصب نمود.

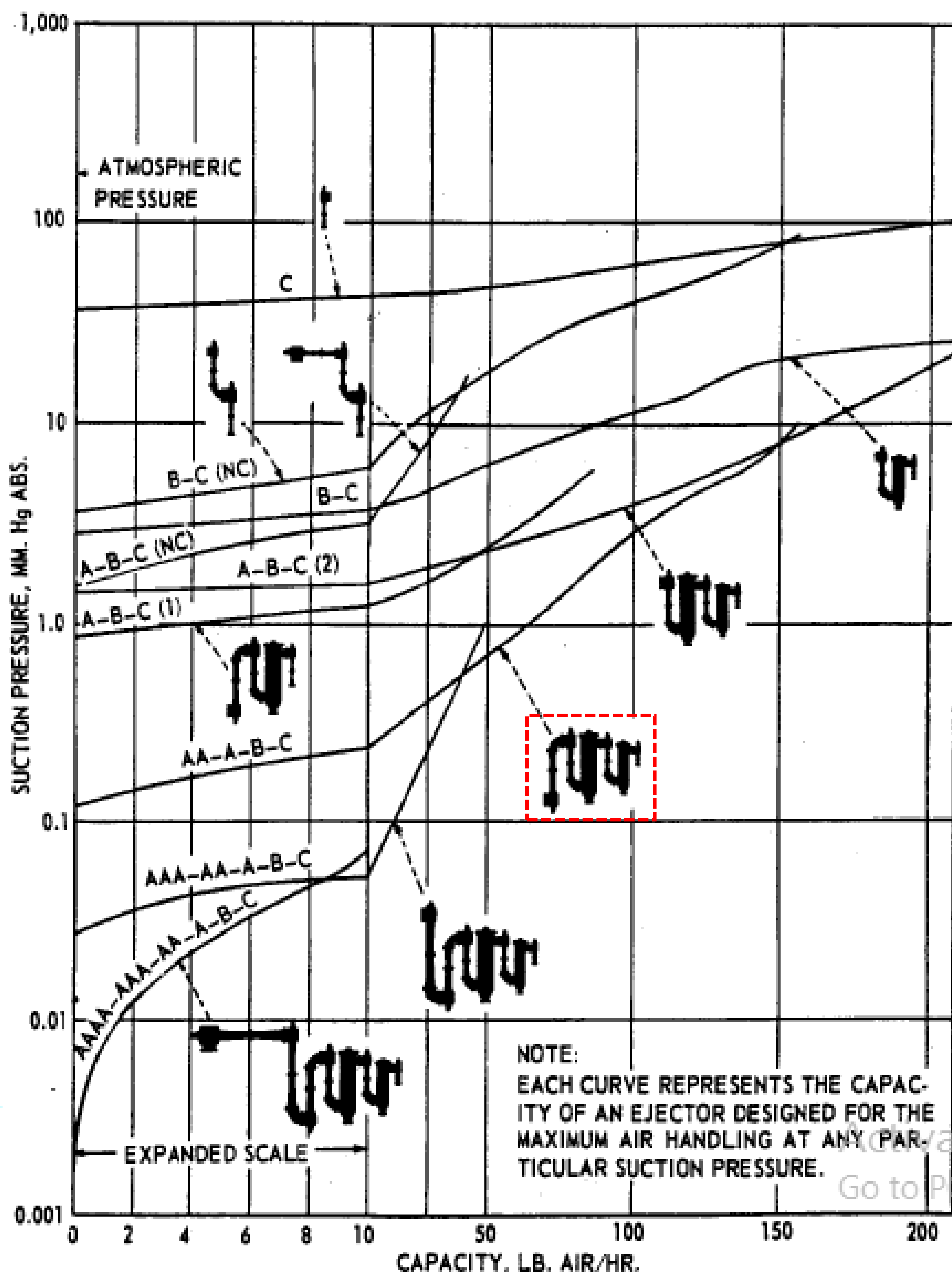


شکل ۳. پمپ خلأ چند مرحله ای با کندانسورهای میانی تماس مستقیم



شکل ۴. پمپ خلأ چند مرحله ای با کندانسورهای میانی سطحی

۵- محاسبه اجکتورهای بخار چند مرحله و تک مرحله:



شکل ۵. نمودار محاسبه ظرفیت اجکتور تک مرحله و چند مرحله با کندانسور بارومتریک و مصرف بخار ۱۰۰۰ پوند بر ساعت

نمودار شکل ۵ تخمینی از ظرفیت اجکتور تک مرحله و چند مرحله برای فشارهای مکش مختلف را در اختیار قرار می دهد. در این منحنی ها، دبی مکش که محور افقی می باشد، برای سیال غیرقابل کندانس هوا است. همینطور محور عمودی فشار مکش اجکتور بر حسب میلی متر جیوه را نشان می دهد. دبی مصرفی بخار برای تمام موارد ۱۰۰۰ پوند بر ساعت است و تخلیه سیستم به اتمسفر می باشد. لذا با استفاده از این نمودار می توان تخمینی از شرایط عملکردی اجکتور بدست آورد.

لازم به ذکر است که این شکل یک تخمین اولیه را در اختیار قرار می دهد و با توجه به دمای آب خنک کندانسور یا دبی آن و یا میزان فشار بخار می تواند تغییر نماید.

مثال ۱. برای یک اجکتور چهار مرحله با دو کندانسور میانی که فشار مکش آن 1 mm Hg. و ظرفیت مکش 100 Lb/hr است و به اتمسفر تخلیه می شود، مصرف بخار به صورت زیر قابل محاسبه است:

با توجه به شکل ۵، برای اجکتور چهار مرحله که در تصویر مشخص شده است، میزان مکش ۷۰ پوند بر ساعت می باشد. به عبارتی با مصرف ۱۰۰۰ پوند بر ساعت بخار، می توان ۷۰ پوند بر ساعت هوا در فشار ۱ میلی متر جیوه را مکش نمود. لذا برای ۱۰۰ پوند بر ساعت، مصرف بخار بصورت زیر است:

$$\text{مصرف بخار} = \frac{100}{70} \times 1000 = 1428 \text{ Lb/hr}$$

نوع اجکتور	سیال موتیو	سیال مکش	نسبت فشار	چند نمونه کاربرد
اجکتور بخار تک مرحله	ونتیلاتور بخار	بخار	گاز / بخار	مکش هوا، گاز و بخارات مضر و اضافی از محیط های کاری و مخازن تخلیه گازهای محصولات احتراق
	کمپرسور بخار	بخار	گاز / بخار	تقطیر، تبخیر، تبرید، تبلور، تغلیظ بوگیری (همانند صنعت روغن های خوراکی) بازیابی حرارت خشک کردن تحت خلا
	اجکتور خلا بخار	بخار	گاز / بخار	ایجاد خلا در انواع کندانسورها، اواپراتورها، خشک کن و سیستمهای تغلیظ استفاده در سیستمهای آب شیرین کن و برج های تقطیر استفاده در سیستمهای گاززدایی و بوگیر استفاده در سیستمهای برودتی، منجمد کننده ها و فریزر درایرها
	اجکتور بخار-مایع (سیفون)	بخار	مایع	تخلیه حوضچه های sump کشیدن آب باران جابجایی و تخلیه سیال
	اجکتور بخار-جامد	بخار	جامد	-
اجکتورهای چند مرحله بخار	وکیوم سیستم	بخار	گاز / بخار	اواپراتورها خشک کن ها واحدهای تقطیر فرآیندهای تصفیه و جداسازی خشک کردن انجمادی پلی کندانسیشن گاززدایی واحدهای بوزدایی
اجکتور گاز تک مرحله	ونتیلاتور گاز	گاز	گاز	گاز زدایی از مخازنی که در آنها واکنش انجام می شود تخلیه گازها از مخازن کشتی ها استفاده در مشعل دیگ بخار امکان سیرکوله کردن هوا در صنایع چرم، تنباکو و نساجی
	کمپرسور گاز	گاز	گاز	افزایش فشار چاههای کم فشار بازیابی گاز فلر
	اجکتور خلا گاز	گاز	گاز	ایجاد خلا و مکش در راه اندازی سیفون جابجایی مایعات به سطح بالاتر
	اجکتور گاز-مایع	گاز	مایع	-
	اجکتور گاز-جامد	گاز	جامد	-
اجکتور مایع تک مرحله	ونتیلاتور مایع (اسکراپر)	مایع	گاز	برای شستشو یا زدودن گازهای خطرناک تخلیه هوا، گاز و بخار از مخازن و دستگاههای با اختلاف فشار کم
	کمپرسور مایع	مایع	گاز	انتقال، تراکم و اختلاط گاز با سیال مورد نظر هوادهی آب با تزریق ازن به آب شرب در فرآیند تصفیه آب بازیابی گاز فلر
	اجکتور خلا مایع	مایع	گاز	جهت هواگیری و راه اندازی پمپ ها گاززدایی از مخازن تولید فشار منفی در بعضی فیلترها ایجاد خلا در آزمایشگاهها و صنایع شیمیایی
	اجکتور مایع-مایع	مایع	مایع	تخلیه مخازن، استخرها، چاله ها و ... برای مخلوط کردن چند مایع یا تزریق مایع خاصی در مایع ثانویه و نهایتا اسپری مخلوط با فشار
	اجکتور مایع-جامد	مایع	جامد	کاربردهای کشاورزی انباشتن و تخلیهٔ رآکتورها با مادهٔ رآکتور واحدهای کربور زدایی و اسید زدایی سایت های تصفیهٔ آب و فاضلاب انتقال گرانول ها، ماسه، شن، نمک، کربن فعال، رزین تعویض یونی، کربن جاذب، مواد شیمیایی و دارویی، دوده، گل حفاری، نیمه جامدها مانند مواد غذایی له شده و سایر انواع جامدات

