Vacuum Karan

PASK
شرکت پارس آمایش صنعت کیش
سهامی خاص

چگونه پمپ وکیوم مناسب را انتخاب نماییم؟

☒ بخش چهارم: مختصری بر فرایندهای متداول تحت خلأ

☒ نسخه : ۴.۱

www.vacuumkaran.com

© تمامی حقوق برای *شرکت پارس آمایش صنعت کیش* محفوظ می باشد.

استفاده از مطالب با ذکر منبع مجاز است.

باسمه تعالی

مختصری بر فرایندهای متداولی که تحت خلأ انجام می‌گیرد

فناوری خلأ از دهه پنجاه با سرعت بالایی توسعه یافته است. در تحقیقات و در بیشتر شاخه‌های صنعت حضور تجهیزات خلأ ضروری می‌باشد.

با توجه به زمینه‌های کاربردی خلأ، تعداد فرایندهایی که قابل انجام است، بسیار زیاد است.

بطور کلی فرایند پمپاژ برای فرایندها به دو دسته خشک و دارای رطوبت تقسیم می‌شود. که در اولی مقادیر چشم‌گیر بخار آب برای پمپ شدن وجود ندارد، در حالی‌که در دومی این بخارات که اغلب بخار آب هستند، وجود دارد.

تمایز این دو دسته بطور خلاصه به شرح زیر است:

- فرایندهای خشک در یک گستره کوچک و محدود فشار انجام می‌شود.

در این سیستم‌ها معمولاً قبل از آغاز فرایند، تخلیه تا یک فشار مناسب انجام می‌شود. مانند دستگاه‌های لایه‌نشانی تبخیر حرارتی، جوشکاری پرتو الکترونی و پردازش بلور، شتاب‌دهنده‌های ذره‌ای، طیف‌سنجی جرمی، میکروسکوپ الکترونی و ... .

علاوه بر این، فرایندهای خشکی وجود دارد که در آن‌ها هدف اصلی تنها گاززدایی[1] تحت خلأ می‌باشد. این فرایندها شامل کوره‌های القایی و آرکی، دستگاه‌های گاززدایی استیل و دستگاه‌هایی برای ساخت فلزات خالص و تیوب‌های الکترونی می‌شود.

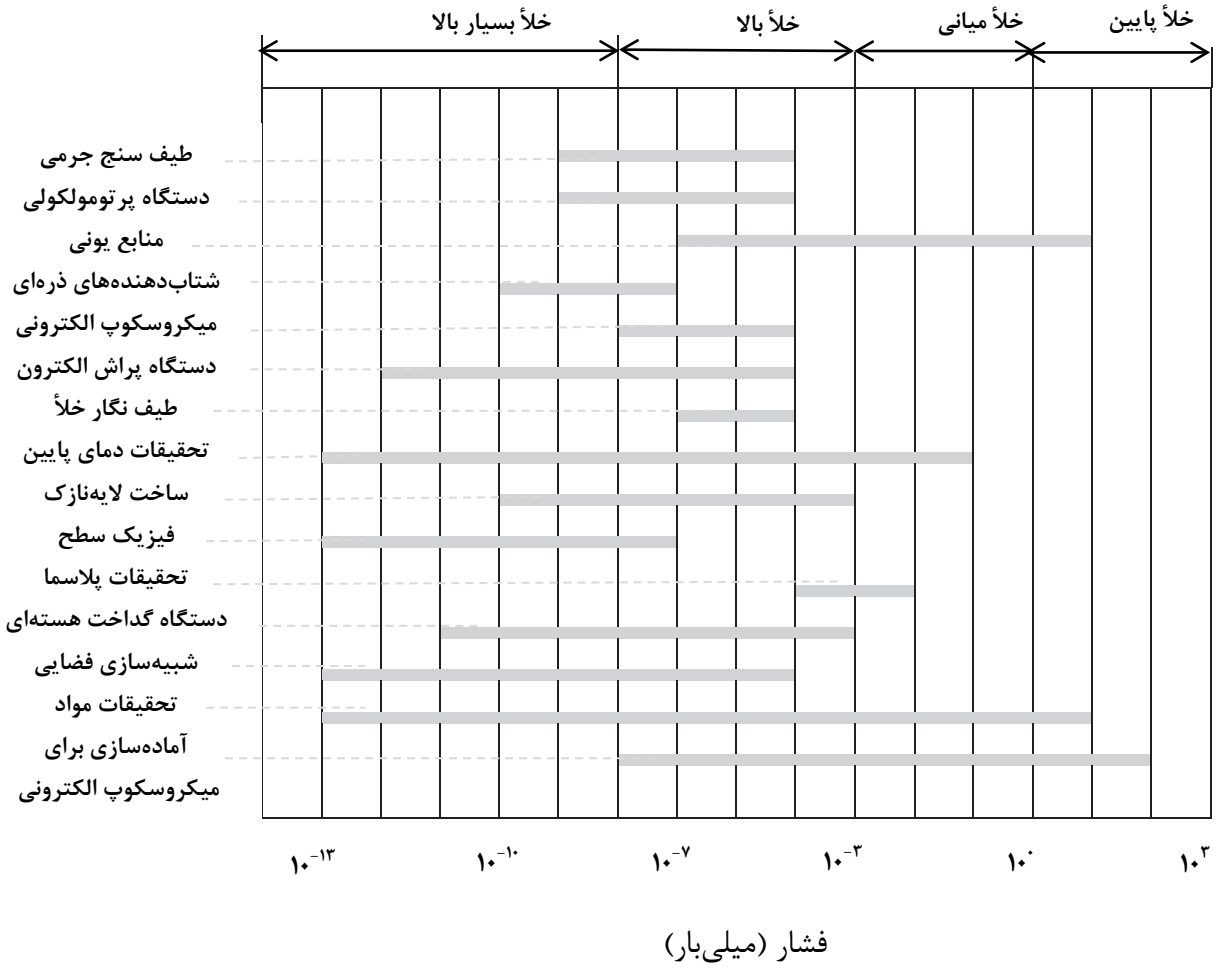
- فرایندهای دارای رطوبت که محدوده وسیع‌تری از فشار را در برمی‌گیرد.

این فرایندها بویژه در خشک کردن فلزات جامد بکار می‌رود. اگر کار در یک فشار بسیار پایین، کمتر از آن-چه مقرر بوده، انجام شود، سطوح بیرونی بسیار سریع خشک می‌شوند. در نتیجه، تماس حرارتی با رطوبتی که قرار است تبخیر شود از دست رفته و زمان خشک کردن بسیار افزایش می‌یابد. فرایندهای خشک کردن، تلقیح[2] و خشک کردن سرمایشی[3] متعلق به این گروه هستند.

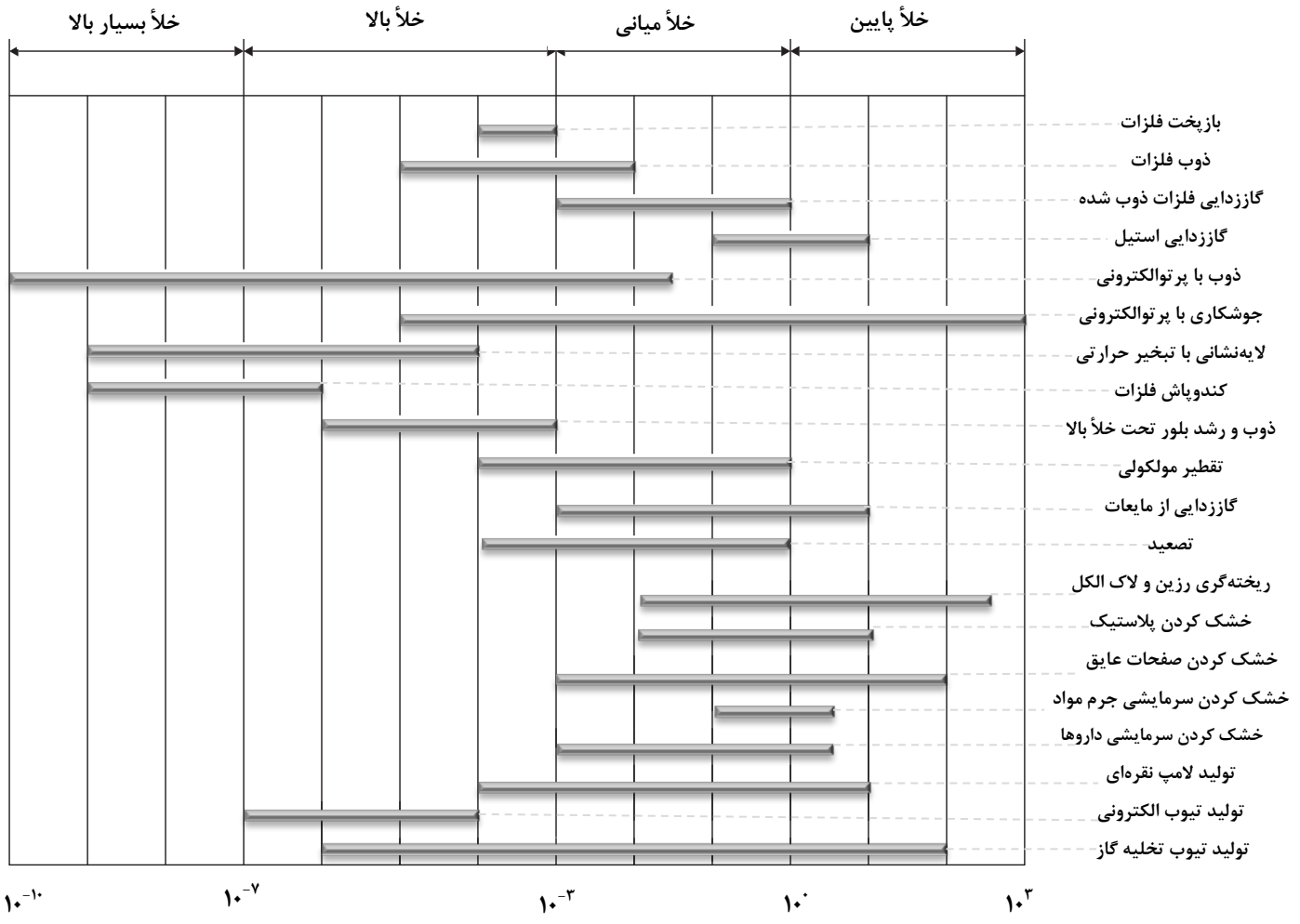
[1] Degassing
[2] Impregnating
[3] Freeze-drying

در برداشتن بخار آب از مایعات و یا در تقطیر آن‌ها، در گاززدایی ستون‌ها، پر کردن خلأ و دستگاه‌های ریخته گری رزین، و همچنین در تقطیر مولکولی، تولید یک سطح مایع تا حد امکان بزرگ، حائز اهمیت است. در همه فرایندهای رطوبتی فراهم آوردن گرمای لازم جهت تبخیر رطوبت ضروری است.

مهم‌ترین فرایندهایی که در این زمینه انجام می‌شود و محدوده فشار کاری آن‌ها در نمودار ۱ آمده است.



نمودار ۱- محدوده فشاری که فرایندهای فیزیکی و شیمیایی در آن انجام می‌شود.



فشار (میلی‌بار)

نمودار ۲- محدوده فشاری که فرایندهای صنعتی در آن انجام می‌شود.

طبقه‌بندی فرایندها و دستگاه‌های معمول خلأ بر اساس محدوده فشاری

خلأ پایین[1] : ۱ – ۱۰۱۳ میلی‌بار

- خشک کردن، تقطیر و گاززدایی استیل

خلأ میانی[2] : $۱۰^{-۳}$ – ۱ میلی‌بار

- تقطیر مولکولی، خشک کردن سرمایشی، تلقیح، ذوب و ریخته‌گری کوره‌ها و کوره‌های آرکی (جرقه‌ای).

خلأ بالا : $۱۰^{-۷}$ – $۱۰^{-۳}$ میلی‌بار

- لایه نشانی به روش تبخیر حرارتی، پردازش کریستال، ساخت لامپ[3]، میکروسکوپ الکترونی، دستگاه‌های پرتوالکترونی و شتاب‌دهنده‌های ذره‌ای.

خلأ بسیار بالا: کمتر از $۱۰^{-۷}$ میلی‌بار

- گداخت (همجوشی) هسته‌ای، ذخیره‌سازی حلقه برای شتاب‌دهنده‌ها، تحقیقات فضایی و فیزیک سطح.

پمپاژ گازها (فرایندهای خشک)

در فرایندهای خشک که در آن‌ها قرار است مخلوط گاز چگال ناپذیر پمپ شوند، بدیهی است پمپ مورد استفاده توسط فشار مورد نیاز و مقدار گازی که می‌خواهیم پمپاژ کنیم، تعیین می‌شود. انتخاب فشار کاری در این بخش مورد توجه قرار می‌گیرد و در بخش بعد به انتخاب پمپ مورد نیاز پرداخته خواهد شد.

هر پمپ دارای یک محدوده فشار کاری می‌باشد که در آن محدوده دارای بازده بالا است. از این رو، مناسب‌ترین پمپ برای استفاده در یک محدوده فشار خاص شرح داده شده است. برای هر فرایند خشک، در ابتدا محفظه آن باید تخلیه شود. ممکن است پمپی که برای یک فرایند استفاده شود، با پمپ مناسب برای فرایند دیگر اما در همان محدوده فشار متفاوت باشد. در تمامی موارد انتخاب باید بر اساس فشاری که فرایند غالباً در آن قرار می‌گیرد، انجام شود.

[1] Rouph vacuum
[2] Medium vacuum
[3] Tube production

الف) خلأ پایین : ۱ – ۱۰۱۳ میلی‌بار

- ناحیه فشار کاری پمپ‌های روتاری زیر ۸۰ میلی‌بار می‌باشد. در فشارهای بالاتر از این مقدار مصرف انرژی و مصرف روغن آن‌ها بسیار بالا می‌باشد. بنابراین، اگر بخواهیم گازهایی با فشار بالاتر از ۸۰ میلی‌بار را برای بازه‌های زمانی طولانی پمپ کنیم، از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه‌تر است که از پمپ‌های جت، رینگ آب یا کارکرد به صورت خشک و پمپ‌های چند پره‌ای استفاده نماییم.
- پمپ‌های روتاری پروانه‌ای[1] و روتاری پیستونی بطور خاص برای پمپاژ محفظه‌ها از فشار اتمسفر تا زیر ۸۰ میلی‌بار مناسب هستند، آن‌ها می‌توانند بطور پیوسته در فشارهای پایین کار کنند.
- اگر مقادیر بالای گاز با فشار زیر ۴۰ میلی‌بار، در دهانه ورودی پمپ وجود داشته باشد، اتصال سری پمپ روتس به آن‌ها توصیه می‌شود. پس از آن، پمپ پشتیبان که سرعت آن وابسته به فرایند است، می‌تواند یک روتاری پره‌ای بسیار کوچکتر یا یک پمپ پیستونی انتخاب شود.

ب) خلأ میانی: 10^{-3} – ۱ میلی‌بار

- در محفظه‌های خلأیی که در آن‌ها فشار فقط تا منطقه خلأ میانی پایین می‌آید، مثلاً فشار پمپ پشتیبان برای پمپ‌های انتشاری[2] یا کندوپاش یونی[3]، پمپ‌های روتاری تک‌مرحله‌ای و دومرحله‌ای به ترتیب برای رساندن فشار به 10^{-3} تا 10^{-1} مناسب هستند.
- زمانی کار دشوار می‌شود که انتخاب پمپ مناسب برای ناحیه خلأ میانی مرتبط با گازها یا بخاراتی بشود که بطور پیوسته از آن محفظه ساطع می‌شود و باید پمپ شوند.
- یک تذکر مهم در این نقطه باید داده شود. در نزدیکی فشار نهایی قابل دست‌یابی، سرعت پمپاژ پمپ‌های روتاری به سرعت افت پیدا می‌کند. بنابراین پایین‌ترین حد برای منطقه فشار کاری نرمال این پمپ‌ها باید جایی در نظر گرفته شود که در آن سرعت پمپاژ به اندازه ٪۵۰ سرعت اسمی خودش باشد.
- **بین 10^{-2} و ۱ میلی‌بار** در یک فرایند با مقادیر بالای گاز، پمپ‌های روتس به همراه پمپ‌های روتاری به عنوان پشتیبان ویژگی‌های پمپاژ بهینه را دارند. برای این بخش از فشار، اگر عمده کار در فشار بالای 10^{-1} میلی‌بار باشد، یک پمپ روتاری تک‌مرحله‌ای کفایت می‌کند.
- اگر فشار بین 10^{-2} و 10^{-1} میلی‌بار باشد، پمپ پشتی دومرحله‌ای توصیه می‌شود.

[1] Rotary vane
[2] Diffusion
[3] Sputter ion

- زیر $۱۰^{-۲}$ میلی‌بار سرعت پمپاژ پمپ‌های روتس تک‌مرحله‌ای در ترکیب با پمپ‌های روتاری دومرحله‌ای کاهش می‌یابد.
- بین $۱۰^{-۴}$ و $۱۰^{-۲}$ میلی‌بار، پمپ روتس دومرحله‌ای با روتاری دومرحله‌ای به عنوان پشتیبان (و یا دو پمپ روتس دومرحله‌ای به شکل سری با یکدیگر)، هم‌چنان سرعت پمپاژ بالا دارند.

برعکس این منطقه فشار، محدوده کاری پمپ‌های اجکتور بخار است. برای کار در این منطقه فشار، خریداری این پمپ‌ها مقرون به صرفه‌تر است. به عنوان پمپ پشتیبان، روتاری جابجایی مثبت تک-مرحله‌ای مناسب هستند. اگر راحت‌تر آن است که عملیات با نگهداری کم و بدون شیر انجام دهید، مثلاً اگر لازم است محفظه‌های کوچک را در بازه‌های زمانی کوچک تا فشار $۱۰^{-۴}$ میلی‌بار تخلیه کنید و یا محفظه‌های بزرگ را برای چند هفته بدون نیاز به مراقبت در این فشار نگه دارید، پیشنهاد اول، یعنی پمپ روتس دومرحله‌ای با پمپ روتاری دومرحله‌ای ترکیب مناسب‌تری است. هرچند این روش نسبت به اجکتورهای بخار پرهزینه‌تر است، اما پمپ روتس و روتاری می‌توانند برای مدت زمان بسیار بیشتر بدون نیاز به مراقبت کار کنند.

ج) خلأ بالا: $۱۰^{-۷}$ – $۱۰^{-۳}$ میلی‌بار

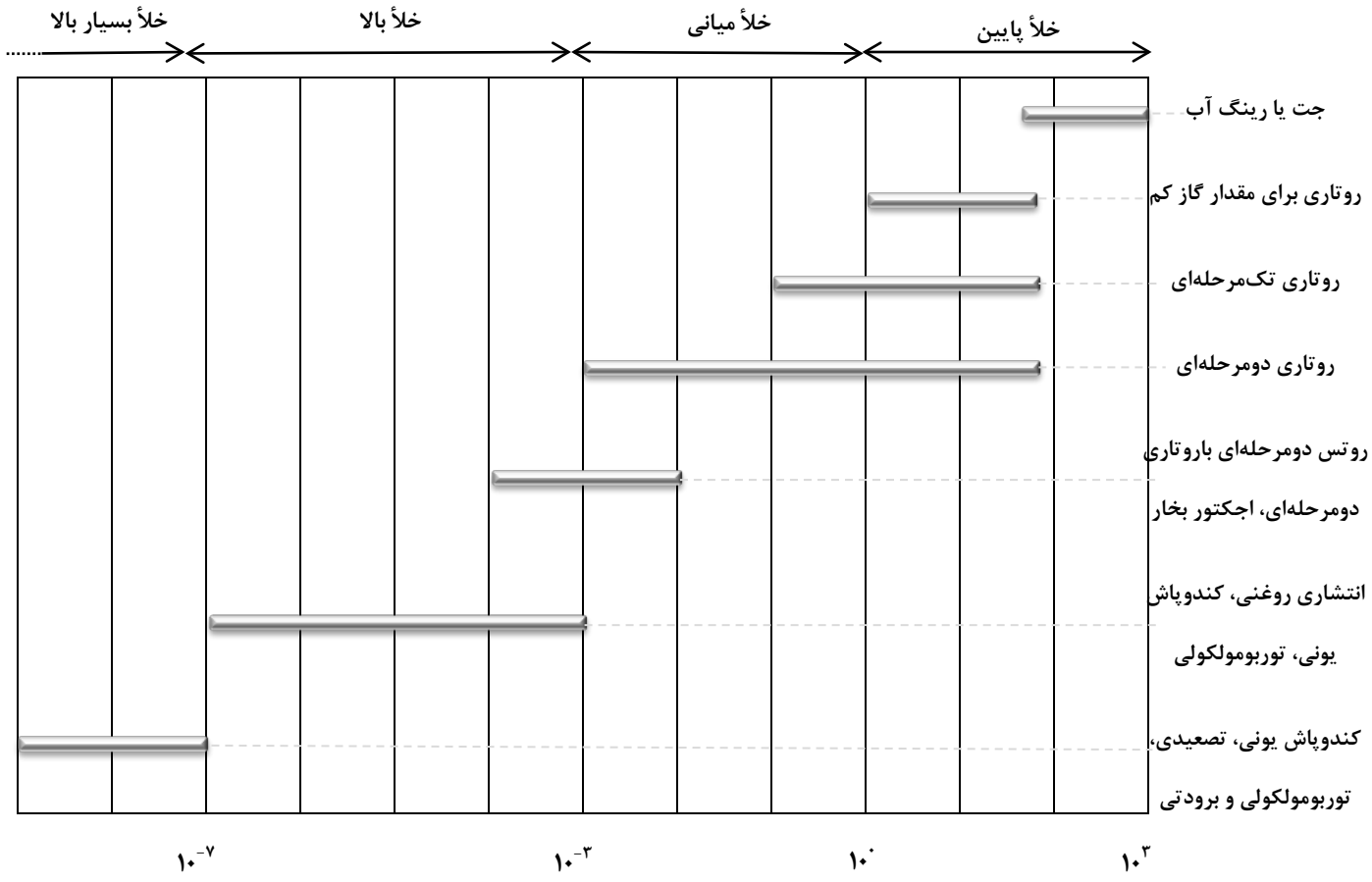
- پمپ‌های انتشاری[1]، کندوپاش یونی[2] و توربومولکولی نوعاً در فشار کمتر از $۱۰^{-۳}$ میلی‌بار کار می-کنند.
- اگر در طول یک فرایند، منطقه کاری فشار تغییر کند، سیستم‌های پمپاژ مختلفی باید برای محفظه در نظر گرفته شود. پمپ‌های انتشاری خاصی وجود دارد که ویژگی‌های مختلف یک پمپ انتشاری را مانند فشار نهایی پایین و سرعت پمپاژ بالا در منطقه خلأ بالا و هم‌چنین ویژگی‌های برجسته یک پمپ اجکتور بخار مانند ظرفیت پمپاژ (نرخ جریان جرمی که پمپاژ می‌شود) بالا در منطقه خلأ میانی و فشار پشتی بحرانی بالا را دارا می‌باشند.
- اگر منطقه فشار کاری بین $۱۰^{-۲}$ تا $۱۰^{-۶}$ میلی‌بار باشد، این پمپ‌های دیفیوژن بطور خاص توصیه می‌شود.

[1] Diffusion
[2] Sputter-ion

د) خلأ بسیار بالا: کمتر از $۱۰^{-۷}$ میلی‌بار

برای دست‌یابی به فشار در محدوده خلأ بسیار بالا، پمپ‌های کندوپاش یونی، تصعیدی، توربومولکولی و پمپ‌های برودتی[1] در ترکیب با پمپ پشتیبان درست، مناسب هستند. انتخاب یک پمپ مناسب برای یک فرایند خاص خلأ بسیار بالا بستگی به شرایط مختلف فرایند دارد.

آن‌چه شرح داده شد، مربوط به پمپاژ گازها در فشارهای مختلف و پمپ مناسب در نمودار ۲ آمده است.



نمودار ۳- محدوده فشار کاری پمپ‌های مختلف

[1] Cryopumps

پیوست ۱

فشار بخار اشباع P_S و چگالی بخار ϱ_D آب در بازه دمایی ۱۰۰– تا ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد

t °C	ps mbar	ϱ_D g/m³	t °C	ps mbar	ϱ_D g/m³	t °C	ps mbar	ϱ_D g/m³	t °C	ps mbar	ϱ_D g/m³
– 100	$1.403 \cdot 10^{-5}$	$1.756 \cdot 10^{-5}$	– 35	0.2233	0.2032	30	42.43	30.38	95	845.3	504.5
– 99	1.719	2.139	– 34	0.2488	0.2254	31	44.93	32.07	96	876.9	522.1
– 98	2.101	2.599	– 33	0.2769	0.2498	32	47.55	33.83	97	909.4	540.3
– 97	2.561	3.150	– 32	0.3079	0.2767	33	50.31	35.68	98	943.0	558.9
– 96	3.117	3.812	– 31	0.3421	0.3061	34	53.20	37.61	99	977.6	578.1
– 95	$3.784 \cdot 10^{-5}$	$4.602 \cdot 10^{-5}$	– 30	0.3798	0.3385	35	56.24	39.63	100	1013.2	597.8
– 94	4.584	5.544	– 29	0.4213	0.3739	36	59.42	41.75	101	1050	618.0
– 93	5.542	6.665	– 28	0.4669	0.4127	37	62.76	43.96	102	1088	638.8
– 92	6.685	7.996	– 27	0.5170	0.4551	38	66.26	46.26	103	1127	660.2
– 91	8.049	9.574	– 26	0.5720	0.5015	39	69.93	48.67	104	1167	682.2
– 90	$9.672 \cdot 10^{-5}$	$11.44 \cdot 10^{-5}$	– 25	0.6323	0.5521	40	73.78	51.19	105	1208	704.7
– 89	11.60	13.65	– 24	0.6985	0.6075	41	77.80	53.82	106	1250	727.8
– 88	13.88	16.24	– 23	0.7709	0.6678	42	82.02	56.56	107	1294	751.6
– 87	16.58	19.30	– 22	0.8502	0.7336	43	86.42	59.41	108	1339	776.0
– 86	19.77	22.89	– 21	0.9370	0.8053	44	91.03	62.39	109	1385	801.0
– 85	$23.53 \cdot 10^{-5}$	$27.10 \cdot 10^{-5}$	– 20	1.032	0.8835	45	95.86	65.50	110	1433	826.7
– 84	27.96	32.03	– 19	1.135	0.9678	46	100.9	68.73	111	1481	853.0
– 83	33.16	37.78	– 18	1.248	1.060	47	106.2	72.10	112	1532	880.0
– 82	39.25	44.49	– 17	1.371	1.160	48	111.7	75.61	113	1583	907.7
– 81	46.38	52.30	– 16	1.506	1.269	49	117.4	79.26	114	1636	936.1
– 80	$0.5473 \cdot 10^{-3}$	$0.6138 \cdot 10^{-3}$	– 15	1.652	1.387	50	123.4	83.06	115	1691	965.2
– 79	0.6444	0.7191	– 14	1.811	1.515	51	129.7	87.01	116	1746	995.0
– 78	0.7577	0.8413	– 13	1.984	1.653	52	136.2	91.12	117	1804	1026
– 77	0.8894	0.9824	– 12	2.172	1.803	53	143.0	95.39	118	1863	1057
– 76	1.042	1.145	– 11	2.376	1.964	54	150.1	99.83	119	1923	1089
– 75	$1.220 \cdot 10^{-3}$	$1.334 \cdot 10^{-3}$	– 10	2.597	2.139	55	157.5	104.4	120	1985	1122
– 74	1.425	1.550	– 9	2.837	2.328	56	165.2	109.2	121	2049	1156
– 73	1.662	1.799	– 8	3.097	2.532	57	173.2	114.2	122	2114	1190
– 72	1.936	2.085	– 7	3.379	2.752	58	181.5	119.4	123	2182	1225
– 71	2.252	2.414	– 6	3.685	2.990	59	190.2	124.7	124	2250	1262
– 70	$2.615 \cdot 10^{-3}$	$2.789 \cdot 10^{-3}$	– 5	4.015	3.246	60	199.2	130.2	125	2321	1299
– 69	3.032	3.218	– 4	4.372	3.521	61	208.6	135.9	126	2393	1337
– 68	3.511	3.708	– 3	4.757	3.817	62	218.4	141.9	127	2467	1375
– 67	4.060	4.267	– 2	5.173	4.136	63	228.5	148.1	128	2543	1415
– 66	4.688	4.903	– 1	5.623	4.479	64	293.1	154.5	129	2621	1456
– 65	$5.406 \cdot 10^{-3}$	$5.627 \cdot 10^{-3}$	0	6.108	4.847	65	250.1	161.2	130	2701	1497
– 64	6.225	6.449	1	6.566	5.192	66	261.5	168.1	131	2783	1540
– 63	7.159	7.381	2	7.055	5.559	67	273.3	175.2	132	2867	1583
– 62	8.223	8.438	3	7.575	5.947	68	285.6	182.6	133	2953	1627
– 61	9.432	9.633	4	8.129	6.360	69	298.4	190.2	134	3041	1673
– 60	$10.80 \cdot 10^{-3}$	$10.98 \cdot 10^{-3}$	5	8.719	6.797	70	311.6	198.1	135	3131	1719
– 59	12.36	12.51	6	9.347	7.260	71	325.3	206.3	136	3223	1767
– 58	14.13	14.23	7	10.01	7.750	72	339.6	214.7	137	3317	1815
– 57	16.12	16.16	8	10.72	8.270	73	354.3	223.5	138	3414	1865
– 56	18.38	18.34	9	11.47	8.819	74	369.6	232.5	139	3512	1915
– 55	$20.92 \cdot 10^{-3}$	$20.78 \cdot 10^{-3}$	10	12.27	9.399	75	385.5	241.8	140	3614	1967
– 54	23.80	23.53	11	13.12	10.01	76	401.9	251.5			
– 53	27.03	26.60	12	14.02	10.66	77	418.9	261.4			
– 52	30.67	30.05	13	14.97	11.35	78	436.5	271.7			
– 51	34.76	33.90	14	15.98	12.07	79	454.7	282.3			
– 50	$39.35 \cdot 10^{-3}$	$38.21 \cdot 10^{-3}$	15	17.04	12.83	80	473.6	293.3			
– 49	44.49	43.01	16	18.17	13.63	81	493.1	304.6			
– 48	50.26	48.37	17	19.37	14.48	82	513.3	316.3			
– 47	56.71	54.33	18	20.63	15.37	83	534.2	328.3			
– 46	63.93	60.98	19	21.96	16.31	84	555.7	340.7			
– 45	$71.98 \cdot 10^{-3}$	$68.36 \cdot 10^{-3}$	20	23.37	17.30	85	578.0	353.5			
– 44	80.97	76.56	21	24.86	18.34	86	601.0	366.6			
– 43	90.98	85.65	22	26.43	19.43	87	624.9	380.2			
– 42	102.1	95.70	23	28.09	20.58	88	649.5	394.2			
– 41	$114.5 \cdot 10^{-3}$	$106.9 \cdot 10^{-3}$	24	29.83	21.78	89	674.9	408.6			
– 40	0.1283	0.1192	25	31.67	23.05	90	701.1	423.5			
– 39	0.1436	0.1329	26	33.61	24.38	91	728.2	438.8			
– 38	0.1606	0.1480	27	35.65	25.78	92	756.1	454.5			
– 37	0.1794	0.1646	28	37.80	27.24	93	784.9	470.7			
– 36	0.2002	0.1829	29	40.06	28.78	94	814.6	487.4			

1 Sources: Smithsonian Meteorological Tables 6th. ed. (1971) and VDI vapor tables 6th ed (1963).