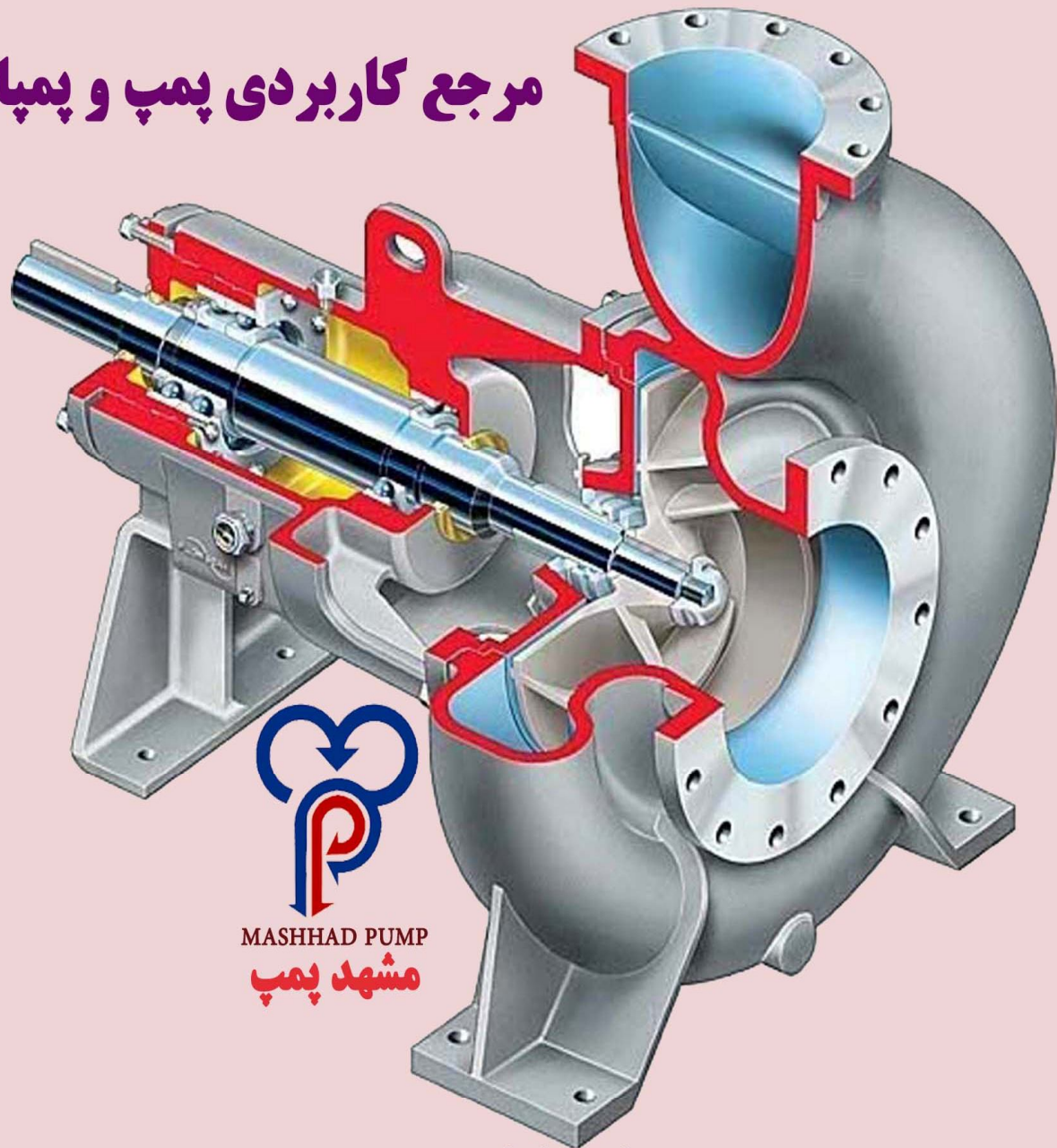


رویکردهای اقتصادی بر عملکرد پمپ

مرجع کاربردی پمپ و پمپاژ



www.mashhadpump.com

www.mptoos.ir

<http://mashhadpump.blogfa.com>

Email : pump.mp@gmail.com

اساس روش رویکرد اقتصادی و اکولوژیکی بازدهی انرژی برای تجهیزات پمپ و سیستم ها

۱. چارچوب ابتکار بازدهی انرژی

بهبود بازدهی انرژی سیستم ها و تجهیزات پمپ در رسیدن به اهداف تغییر انرژی و اقلیم حیاتی است: کاهش انتشار گاز گلخانه ای تا ۲۰ درصد و تضمین ۲۰ درصد منابع انرژی تجدیدپذیر در ترکیب انرژی اتحادیه اروپا؛ کاهش استفاده انرژی ابتدایی اتحادیه اروپا به اندازه ۲۰ درصد تا ۲۰۲۰. در نظر گرفتن این که مصرف انرژی در این نوع تاسیسات نشان دهنده بیشتر از ۲۰ درصد مصرف انرژی کل اقتصادی مدرن است، بهبود بازدهی سیستم پمپ می تواند کمک پیوسته ای به تلاش برای شتاب دهی توسعه و اجرای تکنولوژی های بازدهی انرژی و کم کربن مقرون به صرفه کند. صنعت انرژی پنج مولفه روشن (منابع، تولید، انتقال، توزیع و مصرف) دارد که هر یک مشکلات و راه حل های خاص خود را دارد. در دوره طولانی تر، راه حل برای کربن زدایی اقتصادی و بهبود بازدهی انرژی، نسل های جدید تکنولوژی هایی است که باید از طریق پیشرفت ها در تحقیقات توسعه یابند. از زمان شک قیمت نفت در دهه ۷۰ و ۸۰، اروپا از منابع انرژی ارزان و فراوان لذت برده است. دسترسی آسان به منابع، نبود محدودیت های کربن و اجبارات تجاری نیروهای بازار نه تنها اتحادیه را وابسته به سوخت های فسیلی کرد، بلکه تقریباً علاقه به ابتکار و سرمایه گذاری در تکنولوژی های جدید را تضعیف کرد. این به عنوان بزرگ ترین و گسترده ترین خطای بازار تا به حال شرح داده شده است.

ضعف های ذاتی در ابتکار انرژی

فرآیند نوآوری انرژی، از مفهوم ابتدایی تا نفوذ بازار، نیز از ضعف های ساختاری منحصر به فرد رنج می برد. این امر به دلیل مقیاس سرمایه گذاری های مورد نیاز و سکون تکنولوژیکی و تنظیمی ذاتی در سیستم های انرژی موجود با زمان تدارک طولانی، اغلب دهه ها، تا رسیدن به بازار انبوه مشخص می شود. نوآوری با سرمایه گذاری های زیربنایی کربن بنیان "قفل شده" پوشیده، محدوده های قیمت تحمیلی، چارچوب های تنظیمی متغیر و چالش های اتصال شبکه روبرو است. در دست گرفتن تکنولوژی های انرژی جدید در بازار به صورت افزاینده ای با ماهیت کالایی انرژی مختل شده است. تکنولوژی های جدید معمولاً هزینه برتر از تکنولوژی هایی هستند که جایگزین آن می شوند در حالی که سرویس انرژی بهتری را فراهم نمی کنند. منفعت های فوری تمایل دارد به جامعه گسترش یابد تا این که در بین خریداران گسترده شود. برخی تکنولوژی

ها با مسائل پذیرش اجتماعی روبرو هستند و اغلب نیازمند هزینه های یکپارچه سازی پیشین هستند تا با سیستم انرژی موجود منطبق شوند. موانع قانونی و اجرایی این چارچوب متناقض نوآوری را تکمیل می کند. به صورت خلاصه، تمایل بازار طبیعی برای این چنین تکنولوژی های و سودمندی تجاری کوتاه مدت وجود ندارد. این شکاف بازار بین موجودی و تقاضا برای تکنولوژی های انرژی کم کربن اغلب به عنوان “دره مرگ” خوانده می شود. بنابراین مداخله عمومی برای پشتیبانی نوآوری انرژی ضروری و توجیه شده است.

بین چالش های تکنولوژیکی کلیدی اتحادیه اروپا برای ۱۰ سال آینده به منظور برآورده سازی اهداف ۲۰۳۰ موارد زیر وجود دارد:

- آوردن تبدیل انرژی پربازده تر و دستگاه های کاربر نهایی و سیستم ها به بازار انبوه، در ساختمان ها، حمل و نقل صنعت، مثل تولید پلیمر و سلول های سوختی؛

- نگه داشتن حالت رقابتی در تکنولوژی های شکافت، همراه با راه حل های مدیریت زائدات طولانی مدت.

و بین چالش های تکنولوژیکی کلیدی اتحادیه اروپا برای ۱۰ سال آینده دیدگاه ۲۰۵۰ وجود دارد که به این شرح است: رسیدن به پیشرفت هایی در تواناسازی تحقیق برای بازدهی انرژی: مثل مواد، علم نانو، علم زیستی و محاسبه.

بین قوانین اروپایی با اثر مهم روی بازدهی انرژی داریم:

- قانون گذاری جدید و یکپارچه یا اصلاح بخشنامه EEC/۷۵/۹۲ برای انرژی جهانی و عملکرد زیست محیطی و ساده سازی.

- طراحی اکو: بخشنامه EC/۳۲/۲۰۰۵ پارلمان اروپا و کنسول ۶ جولای ۲۰۰۵، که تعیین کننده چارچوبی برای مشخص سازی نیازمندی های طراحی اکولوژیکی برای محصولات مصرف کننده انرژی است و اصلاح بخشنامه کنسول EEC/۴۲/۹۲ و بخشنامه های EC/۵۷/۹۶ و EC/۵۵/۲۰۰ اروپا

- ستاره انرژی: قانون گذاری (EC) شماره ۲۰۰۱/۲۴۲۲ پارلمان اروپا و کنسول ۶ نوامبر ۲۰۰۱ روی برنامه برچسب گذاری بازدهی انرژی جامعه برای تجهیزات دفتری به صورت اصلاح شده.

- برچسب گذاری انرژی: بخشنامه کنسول EEC/۷۵/۹۲ ۲۲ سپتامبر ۱۹۹۲ درباره شاخص گذاری با برچسب زنی و اطلاعات محصول استاندارد مصرف انرژی و سایر منابع از لوازم خانگی.

- برچسب اکو: قانون گذاری (EC) شماره ۲۰۰۰/۱۹۸۰ پارلمان اروپا و کنسول ۱۷ جولای ۲۰۰۰. براساس برنامه های اروپایی برای سنجش های اجرای طراحی اکولوژیکی، پمپ ها، تسهیلات و موتورهای الکتریکی باید تا انتهای سال در فاز اندازه گیری پیش نویس و ارزیابی اثر باشند.

۲. راه حل های نمایشی مناسب پمپ های عملیاتی

۱.۲. نمایش نقطه عملیات پمپ

نقطه عملیاتی را می توان به صورت گرافیکی به عنوان تقاطع بین منحنی مشخصات جریان- ارتفاع فشار پمپ $H_p(Q)$ ، معادله (۱)، با منحنی مشخصات به دست آمده جریان- ارتفاع فشار لوله $H_r(Q)$ ، معادله (۲)، به دست آورد به صورتی که در تصویر ۱ نشان داده شده است، یا به صورت تحلیلی معادلات سیستم نشان دهنده تخمین چندجمله ای منحنی های مشخصات ذکر شده را حل کرد، به صورت زیر:

$$H(Q) = a_1 \cdot Q^2 + a_2 \cdot Q + a_3 \quad (۱)$$

$$H_r(Q) = b_1 \cdot Q^2 + b_2 \quad (۲)$$

که در آن:

$a_1, \dots, a_x$ - ضرایب چندجمله ای برای مشخصات جریان- ارتفاع فشار پمپ.

$b_0, \dots, b_x$ - ضرایب چندجمله ای برای مشخصات جریان- ارتفاع فشار شبکه.

باید ذکر شود مشخصات پمپ در واقع مشخصات جریان- ارتفاع فشار به دست آمده یک پمپ یا کل ایستگاه پمپ را نشان می دهد و مشخصات لوله در واقع مشخصات جریان- ارتفاع فشار به دست آمده یک لوله یا کل شبکه را نمایش می دهد.

سایر پارامترها، بازدهی و نیروی هیدرولیک، نیز در تصویر ۱ آمده اند و می توانند توسط معادلات چندجمله ای (۳) و (۴) تخمین زده شوند:

$$\eta(Q) = C_1 \cdot Q^2 + C_2 \cdot Q + C_3 \quad (3)$$

$$P(Q) = d_1 \cdot Q^2 + d_2 \cdot Q + d_3 \quad (4)$$

که در آن:

$c_1, \dots, c_x$ - ضرایب چندجمله ای برای مشخصات بازدهی-جریان پمپ؛

$d_1, \dots, d_x$ - ضرایب چندجمله ای برای مشخصات نیرو-جریان پمپ.

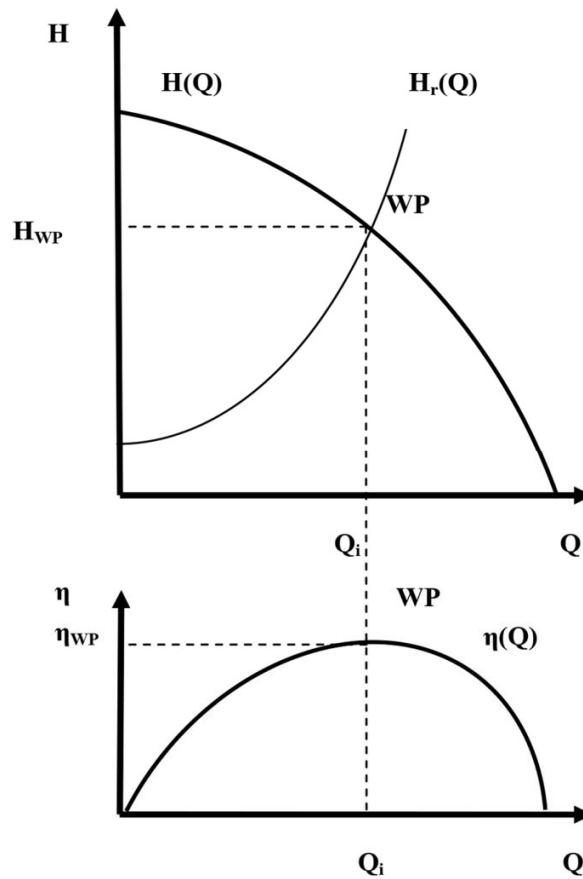
باید نکات برجسته ذکر گردد:

(a) فرم چندجمله ای لوله مشخصات جریان-ارتفاع فشار را می توان مشابه معادله (۵) نشان داد با در نظر گرفتن این که بخشی از اتلاف های دینامیک فقط به مشخصات هندسی آرماتور، مواد، ابعاد و کیفیت سطح بستگی دارد اما بخش دیگر این اتلاف ها به موقعیت عملیات تنظیمی آرماتور بستگی دارد. آن ها نمادگذاری مشابه معادله (۲) را پذیرفته اند.

$$H_r(Q) = (b_1 + b_0)Q^2 + b_2 \quad (5)$$

(b) در چندین موقعیت دیگر، مشخصات پمپ و سیستم می تواند جنبه های مختلفی داشته باشد اما برای هدف تعریف ارائه حاضر در نظر گرفته می شود.

(c) در تصویر، نقطه کاری پربازده ترین نقطه سیستم در نظر گرفته شده است. می تواند سایر شرایط عملیاتی باشد که با پارامترهای دیگر مشخص می شود و بازدهی پمپ می تواند پایین تر از مقدار حداکثر باشد.



تصویر ۱- نمایش نقطه عملیاتی

برای اهداف عمومیت دهی، در مقاله حاضر همه پارامترهای پمپ در مختصات بدون بُعد نمایش داده می شود، که به صورت (۶) تعریف می شود:

$$q(\%) = \frac{Q_x}{Q_n}, h(\%) = \frac{H_x}{H_n}, \quad (۶)$$

$$\eta'(\%) = \frac{\eta_x}{\eta_n}, p(\%) = \frac{P_x}{P_n} \quad \text{که در آن:}$$

Q, H, η, P - پارامترهای عملیاتی (سرعت جریان، ارتفاع فشار پمپ، بازدهی و نیروی هیدرولیک)؛

x - نمادی برای پارامترهای عملیاتی اسمی؛ نمادی برای پارامترهای عملیات آنی؛

q, h, η, p - پارامترهای عملیاتی بدون بُعد (سرعت جریان، ارتفاع فشار پمپ، بازدهی و نیروی هیدرولیک).

۲.۲. تنظیم عملیات نقطه کاری با استفاده از راه حل گرداننده سرعت متغیر

اگر برای بازدهی حداکثر تجهیزات پمپ در رژیم کاری اسمی به دست آوردن بهبود قابل توجه اندک باشد، با در نظر گرفتن عملکرد واقعی دستگاه ها، پتانسیل مهمی برای ارزشیابی در تنظیم بهینه عملیات سیستم پمپ وجود دارد.

روش های مختلفی برای انجام تنظیم های نقطه کاری پمپ، براساس دوره تغییر رژیم، نیرو و ابعاد پمپ، نوع نصب پمپ ها، دقت تنظیم و غیره وجود دارد.

برای نقطه عملیات قطعی در حال تغییر، مطلوب است روی خود پمپ اقداماتی را با استفاده از انواع مختلف پروانه ها در حلزونی مشابه، پروانه مشابه در حلزونی های مختلف یا فراهم آوری تغییر دائم در نوع پمپ استاندارد، انجام داد.

برای نقطه عملیاتی متغیر در دوره زمانی طولانی، می توان انواع مختلف دیافراگم در خروجی پمپ یا در نقاط مناسب شبکه را به کار برد.

برای تغییرات کوتاه مدت، مطلوب است از دستگاه های قابل تنظیم نصب (پره ها، مسیرهای فرعی) موتورهای محرک (موتورهای سرعت متغیر) یا خود پمپ (پروانه های قابل تنظیم برای پمپ های جریان محوری یا پمپ های قطری مشابه) استفاده کرد.

در کل، چالش بین پره های قابل تنظیم و موتورهای سرعت متغیر در طول دوره کوتاه مدت در اکثر انواع تاسیسات است. برای موتور محرک سرعت متغیر و با استفاده از نمادگذاری ها، فرم چندجمله ای مشخصات پارامترهای پمپ به این صورت می شود: مشخصات جریان-ارتفاع فشار - (۷) مشخصات بازدهی-جریان - (۸)، مشخصات نیرو-جریان - (۹).

$$H_p(Q,N) = a_1 \cdot Q^2 + a_2 \cdot Q \cdot N + a_3 \cdot N^2 + a_4 \cdot Q + a_5 \cdot N + a_6 \quad (7)$$

$$\eta(Q,N) = c_1 \cdot Q^2 + c_2 \cdot Q \cdot N + c_3 \cdot N^2 + c_4 \cdot Q + c_5 \cdot N + c_6 \quad (8)$$

$$p(Q,N) = d_1 \cdot Q^2 + d_2 \cdot Q \cdot N + d_3 \cdot N^2 + d_4 \cdot Q + d_5 \cdot N + d_6 \quad (9)$$

که در آن:

N - سرعت چرخشی در نقطه عملیاتی.

در مختصات بدون بُعد و با استفاده از سرعت چرخشی بدون بُعد η ، براساس (۱۰)، معادلات (۱)، (۲)، (۳)، (۴)، (۵)، (۶)، (۷)،

(۸)، (۹) به معادلات (۱۱)–(۱۷) تبدیل می شوند:

$$n \frac{NX}{NX} \quad (۱۰)$$

که در آن:

N_x – سرعت چرخشی در نقطه عملیاتی لحظه ای؛

N_n – سرعت چرخشی در نقطه عملیاتی بهینه.

$$h(q) = a'_1 \cdot q^2 + a'_2 \cdot q + a'_3 \quad (۱۱)$$

$$h_r(q) = (b'_1 + b'_0)q^2 + b'_2 \quad (۱۲)$$

$$\eta'(Q) = c'_1 \cdot q^2 + c'_2 \cdot q + c'_3 \quad (۱۳)$$

$$p(q) = d'_1 \cdot q^2 + d'_2 \cdot q + d'_3 \quad (۱۴)$$

$$h(q, n) = a'_1 \cdot q^2 + a'_2 \cdot q \cdot n + a'_3 \cdot n^2 + a'_4 \cdot q + a'_5 \cdot n + a'_6 \quad (۱۵)$$

$$\eta'(q, n) = c'_1 \cdot q^2 + c'_2 \cdot q \cdot n + c'_3 \cdot n^2 + c'_4 \cdot q + c'_5 \cdot N + c'_6 \quad (۱۶)$$

$$p(q, n) = d'_1 \cdot q^2 + d'_2 \cdot q \cdot n + d'_3 \cdot n^2 + d'_4 \cdot q + d'_5 \cdot n + d'_6 \quad (۱۷)$$

ضرایب معادلات برای پارامترهای بدون بُعد اندیس های (m_i) را می گیرد.

در عمل، برای موتور محرک سرعت متغیر، مطلوب است هر نقطه کاری با استفاده از قوانین مجاورت که به نسبت بین سرعت جاری و سرعت اسمی برای نقطه کاری با مشخصات مختلف جریان-ارتفاع فشار و جریان-نیرو اعمال می شود و محاسبه بازدهی برای هر نقطه، ایجاد گردد.

$$\frac{H_x}{H} = \left(\frac{N_x}{N_N} \right)^2, \quad \frac{Q_x}{Q} = \left(\frac{N_x}{N_N} \right), \quad \frac{P_x}{P} = \left(\frac{N_x}{N_N} \right)^3 \quad (18)$$

$$\frac{h_x}{h} = \left(\frac{n_x}{100} \right)^2, \quad \frac{q_x}{q} = \left(\frac{n_x}{100} \right), \quad \frac{p_x}{p} = \left(\frac{n_x}{100} \right)^3 \quad (19)$$

معادلات (18) و (19) نشان دهنده عبارات قانون مجاورت دارای بُد و بدون آن برای پمپ های توربو است.

برای معادلات پارامترهای بدون بُعد، مقادیر پارامترهای نقطه عملیاتی بهینه ۱۰۰ درصد در نظر گرفته می شوند.

۳. تعریف اسمی عملیات کنترل شده و محاسبه برای اهداف خاص

۱.۳. تعریف مشخصات عملیات کنترل شده

مشخصات عملیات کنترل شده به صورت منحنی تئوری که در طول آن تغییر نقطه عملیاتی محدود شده است تعریف می گردد تا پربازده ترین عملیات را با محدودیت هایی فراهم آورده و تضمین نماید که از سرعت جریان حداقل تا اسمی، حتی در محرک نشت متغیر، همیشه ارتفاع فشار پمپ کافی در دسترس برای پوشش اتلاف های فشار لوله کشی و فشار مفید در تاسیسات مصرف کننده وجود دارد.

کاربرد مشخصات عملیات کنترل شده عملی در هر طراحی سیستم پمپ خودکار است اما اساساً برای ایستگاه های پمپ عملیات موازی است که در آن تنظیم نقطه کاری با اصلاح نقاط کاری پمپ های منفرد مختلف، با تحویل روی لوله مشابه، مشخص می شود. برای یک پمپ عملیاتی یا بیشتر، پربازده ترین نقطه باید نقطه تقاطع مشخصات جریان-ارتفاع فشار پمپ

ها با مشخصات مشابه باشد اما برخی شرایط عملیات ویژه آنی می تواند صدماتی را ایجاد کند، پس مهم است عملیات ایمن، که فقط بالای منحنی عملیات کنترل شده کار می کند، تضمین شود.

مشخصات عملیات کنترل شده یکی از مشخصات سیستم است و تعریف کاربردی آن به نصب ویژه و مشخصات پمپ بستگی دارد.

تفاوت بین مشخصات جریان-ارتفاع فشار و مشخصات عملیات کنترل شده از تنظیم شدن با ارتفاع فشار برای کنترل کننده های عملیات، دستگاه های سرعت متغیر و برخی پره های کنترل شده تر، برمی خیزد.

۲.۳. شرح دقیق مشخصات عملیات کنترل شده

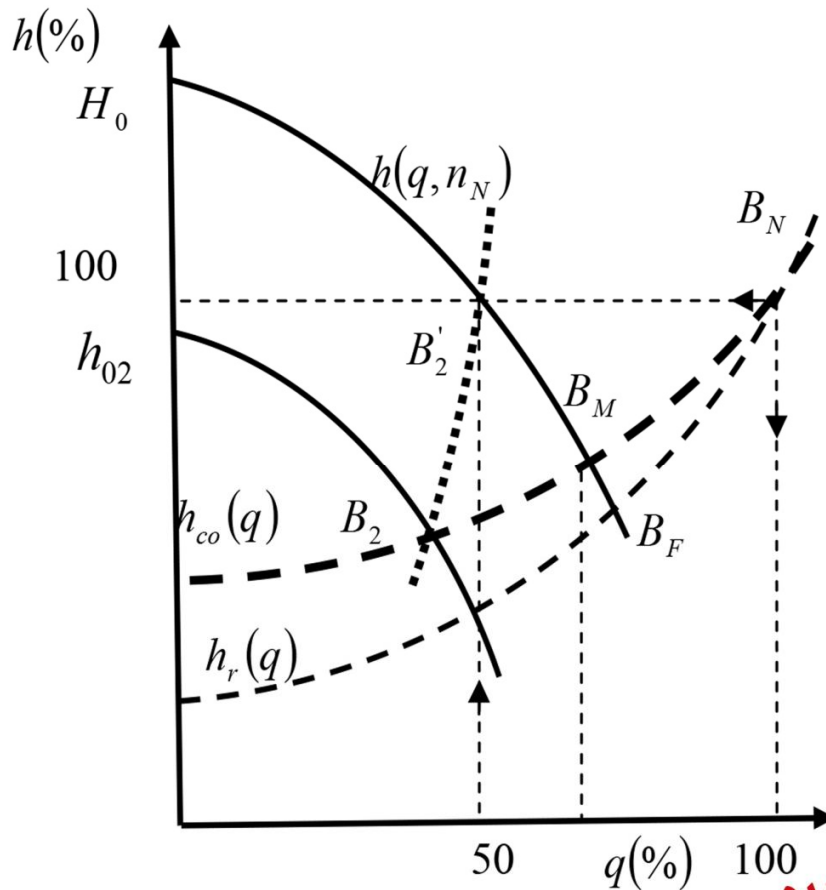
در کل، این مشخصات منحنی درجه دو در نظر گرفته می شود که می تواند با دو نقطه تعریف شود.

یکی از آن ها نقطه عملیات بهینه پمپ، مشترک با مشخصات جریان-ارتفاع فشار لوله، است. برای نقطه دوم، شرایط نصب ویژه ای باید در نظر گرفته شود و نیز محدودیت عملیات خاصی توسط مشخصات نیرو، بازدهی تایید شده حداقل، جنبه مشخصاتی پمپ یا پارامترهای ملاحظات تغییر ایجاد می شود.

مثال ها

برای ایستگاه سیستم گرمایشی با دو پمپ موازی فعال، مشخصات عملیات کنترل شده در تصویر ۲، با نشان گذاری $h_{oc}(q)$ ، نشان داده شده است. یک نقطه عملیاتی در تقاطع سیستم پمپ ها و مشخصات جریان-ارتفاع فشار قرار دارد، $B_N(100)$ درصد. ۱۰۰ درصد). سپس، برای تنظیم نقاط مشخصات عملیات کنترل شده، مشخصات لوله با دستگاه های تنظیم تصحیح می شود تا با شرایط عملیات ایمن مطابق شود. نقطه جریان حداکثر مشخصات عملیات کنترل شده در واقع تقاطع مشخصات

جریان- ارتفاع فشار پمپ ها (یا پمپ) یا مشخصات لوله است. نقطه عملیاتی کمینه، $h_{oc}(q_{oc} = 0, h_{oc} = h_w)$ ، به صورت عملی برای هر مورد با اعمال ذخیره نیرو برای بار اضافی موتور الکتریکی به دست می آید.



تصویر ۲- سهمی عملیات کنترل شده

شرط ویژه رایج تضمین بازدهی تایید شده حداقل در سرعت جریان کمینه است که با کاهش سرعت چرخشی درک می شود. در تصویر ۲، این نقطه B_2 است. این بخش نشان دهنده تقاطع مشخصات جریان- ارتفاع فشار پمپ در سرعت چرخشی حداقل با سهمی مجاورت از میان نقطه عملیاتی بهینه یک پمپ B_2 (۵۰ درصد . ۱۰۰ درصد) در سرعت چرخشی اسمی است که همزمان روی مشخصات عملیات کنترل شده سیستم نیز قرار دارد.

در نظر گرفتن مشخصات عملیات کنترل شده این بخش یک سهمی از میان این دو نقطه است ، تقاطع با محور ارتفاع فشار مختصات $q = 0$ را دارد و ارتفاع فشار به شرح زیر است:

$$H_W = H_N - \left(\frac{H_N - H_{B1M}}{Q_N^2 - Q_{B1M}^2} \right) \cdot Q_N^2 \quad (20)$$

یا برای پارامترهای بدون بُعد:

$$h_W = h_N - \left(\frac{h_N - h_{B1M}}{q_N^2 - q_{B1M}^2} \right) \cdot q_N^2 \quad (21)$$

شرایط محدودکننده دیگر تعیین ارتفاع فشار لازم در جریان صفر، مقدار H_x ، است. این مقدار می تواند به فاکتورهای تاثیرگذار زیر بستگی داشته باشد: رفتار عملیاتی تاسیسات مشتری، رفتار بار مشابه در طول زمان یا بار وابسته به زمان؛ ابعاد سیستم.

با دنبال کردن این محدودیت ها، تعیین یکی از سرعت جریان های عملیاتی حداکثر پذیرفته شده پمپ، Q_{1M} ، از مشخصه های نقطه عملیات حداکثر قابل قبول پمپ $B_{1M}(Q_{1M}, H_{1M})$ است که روی مشخصات کنترل شده عملیات قرار داده شده است. مراحل اضافی برای تعیین موقعیت B_{1M} نیز وجود دارد.

عملیات با جریان حداکثر، $B_{1M}(q_{1M}, h_{1M})$ ، روی مشخصات ارتفاع فشار پمپ با سرعت اسمی، $n = 100$ درصد، قرار دارد و به ملاحظات و مشخصات نیروی ذکر شده بستگی دارد.

اگر ایستگاه پمپ آماده به کار نداشته باشد، در صورت بروز نقص در یک پمپ، لازم است مشخصه های پمپ نگه داشته شود تا مشخصات لوله مورد نیاز حفظ شود زیرا در غیر این صورت پمپ باقیمانده دچار بار اضافی می شود. پس، جریان حداکثر عملیاتی ممکن Q_F است. این مشخصه نقطه عملیات حداکثر قابل قبول پمپ $B_F(Q_F, H_F)$ است که در تقاطع مشخصات جریان-ارتفاع فشار در سرعت چرخشی اسمی و مشخصات جریان-ارتفاع فشار سیستم لوله کشی قرار دارد. این موقعیت کارکرد غیرعادی است اما می تواند در موقعیت صدمه به کار رود.

۴. ایستگاه پمپ با پمپ های عملیات موازی

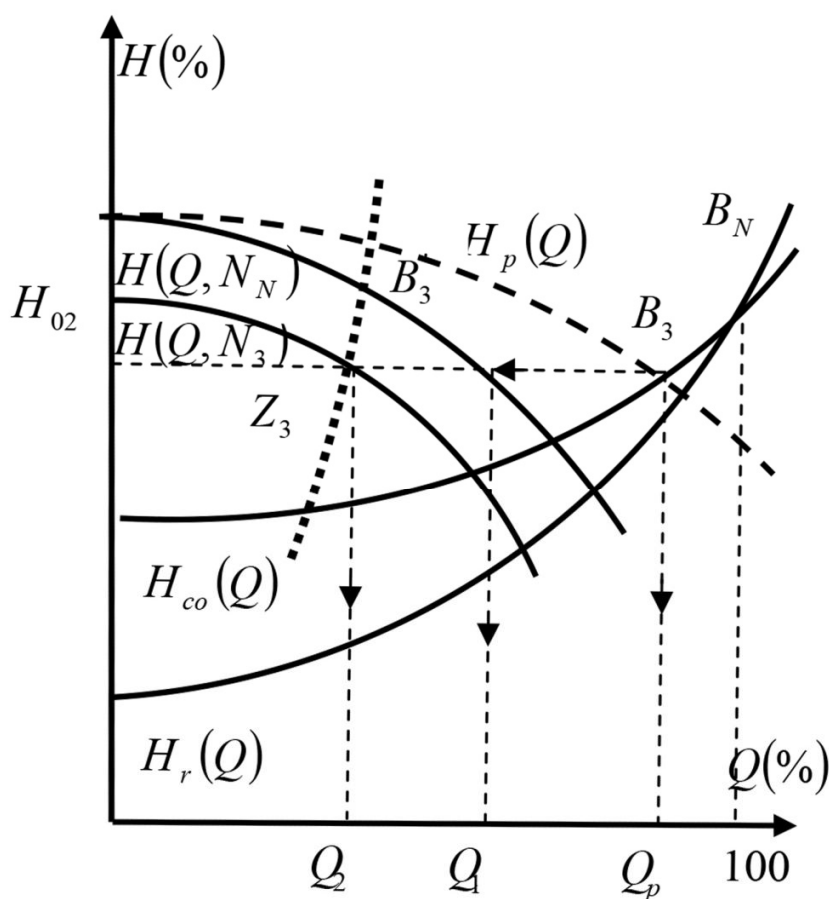
تقسیم جریان به چندین پمپ سرعت متغیر در همه کاربردها به کار رفته است که در آن تقاضا تا حد زیادی نوسان می کند و شروط زیر باید حداقل سازی مصرف نیرو و مطابقت با سرعت جریان حداقل را برآورده سازد. تنظیم دقیق با تنظیم سرعت متغیر به صورت نامحدود یک پمپ گریز از مرکز یا بیشتر به دست می آید. در این فرآیند، پمپ های عملیاتی توسط چندین

مشخصه ویژه محدود می شوند: ذخیره نیرو، برخی بخش های ناپایدار مشخصات جریان- ارتفاع فشار در بازدهی غیرقابل قبول پایین. پس پمپ نمی تواند با نقاط منحنی مشخصه نصب همراه باشد.

مشخصات جریان- ارتفاع فشاری عملیات موازی پمپ ها با خلاصه سازی سرعت جریان های پیشنهادی توسط دو پمپ نوسانی یا بیشتر در ارتفاع فشار مشابه درخواست شده شبکه خط لوله به دست می آید.

با در نظر گرفتن برخی فرضیات عملیاتی ذکر شده مشابه برای ایستگاهی با دو پمپ، شرایط کارکرد، مشابه آنچه در تصویر ۳ آمده است، معادله زیر می باشد:

$$Q_p = Q_1 + Q_2 \quad (۲۲)$$



تصویر ۳- مشخصات عملیات موازی

که در آن:

Q_p - جریان عملیاتی فعالی ایستگاه؛

$Q_{1,2}$ - جریان های عملیاتی فعلی پمپ ۱، ۲.

نمادهای دیگر مشابه نمادهای تصویر ۲ هستند.

بزرگ ترین بخش توسط کار پمپ در سرعت اسمی، N_N در نظر گرفته شده به صورت Q_1 و تفاوت پمپ فعال در سرعت کمتر، n_2 ، در نظر گرفته شده به صورت Q_2 ، پیشنهاد می شود.

$$Q_2 = Q_p - Q_1 \quad (23)$$

مشخصات بهینه عملیات سیستم برای پمپ های فعال در سرعت چرخش اسمی، N_N ، با نقطه عملیات اسمی بهینه، B_N ، مشخص می شود که در آن $Q_p = Q_N$. این یکی از نقاطی است که مشخصات عملیات کنترل شده سیستم را تعریف می کند. نقطه عملیاتی فعلی سیستم روی مشخصات عملیات کنترل شده $B_3(Q_p, H_p)$ با Q_p درخواستی کاربر علامت زده می شود و H_p ارتفاع فشار متناظر روی مشخصات عملیات کنترل شده است.

اولین نقطه کاری پمپ $Z_3'(Q_1, H_p)$ از مشخصات پمپ $H(Q, N_N)$ است. در نتیجه، نقطه کاری پمپ دوم روی مشخصات پمپ $H(Q, N_3)$ با شرایط $N_3 < N_N$ ، خواهد بود. به منظور تخمین سرعت ضروری پمپ دوم، تقاطع سهمی مجاورت از طریق Z_3 و مشخصات پمپ (۱) در نظر گرفته خواهد شد.

$$H(Q) = \left(\frac{H_p}{Q_2^2} \right) \cdot Q^2 \quad (24)$$

نتایج $B'(Q_{B3}, H'_B)$ خواهد بود و با توجه به قانون مجاورت

$$N_3 = \left(\frac{H_p}{H'_{B3}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot N_N \quad (25)$$

در مختصات بدون بُعد، همه معادلات ساختار مشابهی دارند اما نمادگذاری ها براساس تعاریف (۸) تغییر کرده است.

نقاط عملیاتی ذکر شده به صورت زیر به مختصات دسترسی می یابد:

سرعت چرخشی ضروری روی پمپ های محرک سرعت متغیر به این صورت است:

$$n_3 = \left(\frac{h_{B3}}{h'_{B3}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot 100. \quad (26)$$

استفاده از الگوریتم تنظیم خودکار نقاط عملیاتی پمپ مجموعه موازی است که جریان مورد نیاز سیستم را دنبال می کند.

۵. تخمین نیروی مورد نیاز برای تنظیم عملیات موازی دو پمپ

۱.۵. تخمین نیروی مورد نیاز سرعت محرک متغیر عملیات موازی

این بخش مجموعه ای با یک پمپ محرک سرعت ثابت و یک پمپ محرک سرعت متغیر در نظر گرفته می شود. با دانستن سرعت جریان هر دو پمپ، نیروی مورد نیاز را می توان از طریق مشخصات نیرو-جریان (۶) برای پمپ سرعت اسمی محاسبه کرد و به علاوه آن را به قوانین مجاورت (۱۸) و (۱۹) برای پمپ سرعت متغیر، به صورت زیر، اعمال کرد.

مصرف نیروی پمپ محرک سرعت ثابت P_{1F} برای سرعت جریان درخواستی Q_1 و سرعت چرخشی اسمی N_N به صورت زیر محاسبه می شود:

$$P_{1F}(Q_1, N_N) = d_1 \cdot Q_1^2 + d_2 \cdot Q_1 + d_3 \quad (25)$$

مصرف نیروی پمپ محرک سرعت متغیر P_{2V} برای سرعت جریان درخواستی Q_{B3} و سرعت چرخش لحظه ای N_3 به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\begin{aligned} P_{2V} &= P'_2 \cdot \left(\frac{N_3}{N_N} \right)^3 = \\ &= \left(d_2 \cdot (Q'_{B3})^2 + d_1 \cdot Q'_{B3} + d_0 \right) \cdot \left(\frac{N_3}{N_N} \right)^3 \end{aligned} \quad (26)$$

پس، مصرف نیروی کل دو مونتاژ پمپ به این شرح است:

$$P = P_{1F} + P_{2V} \quad (27)$$

با در نظر گرفتن پارامترهای بدون بُعد، نیروی مورد نیاز کل به این شکل می شود:

$$p_t = d'_1 \cdot q_1^2 + d'_2 \cdot q_1 + d'_3 + \left(d'_1 (q'_{B3})^2 + d'_2 \cdot q'_{B3} + d'_3 \right) \cdot \left(\frac{n_3}{100} \right) \quad (28)$$

برای مصرف نیروی واقعی بازدهی تجهیزات نیز باید در نظر گرفته شود.

۲.۵. سرعت محرک ثابت عملیات موازی و تنظیم پره در نیروی مورد نیاز

برای مجموعه ای با هر دو پمپ که دارای موتورهای محرک سرعت ثابت می باشد، جریان ضروری Q_2 را می توان با تغییر مشخصات لوله با استفاده از پره به دست آورد. این نامطلوب ترین روند برای تنظیم عملیات است.

یکی از پمپ ها در نقطه عملیات اسمی (بازدهی حداکثر) کار می کند و دیگری در سرعت جریان لحظه ای درخواستی فعال است اما نقطه عملیاتی با تعدیل جریان توسط پره به دست می آید.

نیروی مورد نیاز P_1^V با معادله (۲۵) محاسبه می شود و نقطه عملیاتی پمپ دوم روی مشخصات ارتفاع فشار ابتدایی، برای سرعت اسمی، قرار می گیرد. پس،

$$P_2^V = d_2 \cdot (Q'_{B3})^2 + d_1 \cdot Q'_{B3} + d \quad (29)$$

نیروی مورد نیاز کل به این شرح است

$$P^V(Q_1, N_N) = d_1 \cdot (Q_1^2 + Q_{B3}^2) + d_2 \cdot (Q_1 + Q'_{B3}) + 2 \cdot d_3 \quad (30)$$

و

$$p^V(q_1, 100) = d'_1 \cdot (q_1^2 + q_{B3}^2) + d'_2 \cdot (q_1 + q'_{B3}) + 2 \cdot d'_3 \quad (31)$$

معادله (۳۱) نیروی مورد نیاز بدون بُعد را محاسبه می کند.

۶. روش ارزشیابی بازدهی انرژی برای سیستم ها و تجهیزات پمپ

روش عبارت است از مقایسه مصرف انرژی تنظیم جریان عملیات جاری با کم منفعت ترین راه حل تنظیم که استفاده از پره می باشد. دو موقعیت در طراحی ایستگاه پمپ مقایسه شده است: یک پمپ سرعت متغیر، فعال به موازات یک پمپ سرعت ثابت یا بیشتر؛ همه پمپ های عملیاتی موتورهای محرک چرخشی ثابت دارند و تنظیم سرعت جریان با تعدیل جریان توسط پره به دست می آید. به همین روش می توان موقعیت بیشتر از یک پمپ سرعت متغیر عملیات موازی را تحلیل کرد.

معمولا پمپ ها مشابه هستند و این نمونه ای است که تحلیل گردیده است اما می توانند متفاوت نیز باشند.

صرفه جویی را می توان با در نظر گرفتن نیروی لازم و مصرف شده برای همه پمپ های فعال همزمان تخمین زد.

برای اجرای روش دو پمپ مشابه فعال به صورت موازی در نظر گرفته شده است. یکی از پمپ ها در نقطه عملیات اسمی و سرعت چرخش اسمی باقی می ماند. تنظیم سرعت جریان با تعدیل جریان برای سایرین با نگه داشتن سرعت چرخشی اسمی و تعدیل جریان یا با تغییر سرعت چرخشی و نگه داشتن پره در بازشدگی کامل و تعدیل حداقل جریان درک می شود. در تصویر ۴، پمپ جریان درخواستی متغیر با فراهم آوری دو روند تشریح شده برای تنظیم پمپ عملیاتی ارائه شده است.

نمادگذاری های تصویر به صورت زیر هستند:

$H(Q, N_N)$ - مشخصات جریان - ارتفاع فشار پمپ در نقطه عملیات اسمی؛

$H(Q, N_n)$ - مشخصات ارتفاع فشار - جریان پمپ در نقطه عملیاتی لحظه ای؛

$H_f(Q, x_0)$ - مشخصات ارتفاع فشار - جریان سیستم لوله کشی در باز شدن کامل و تعدیل حداقل پره؛

$H_f(Q, x_i)$ - مشخصات ارتفاع فشار - جریان سیستم لوله کشی در باز شدن لحظه ای و تعدیل پره؛

$WP_1(Q_i, H_{WP1})$ - نقطه عملیاتی ابتدایی یک پمپ؛

$WP_2(Q_r, H_{WP2})$ - نقطه عملیاتی پمپ در سرعت جریان مورد نیاز Q_r ، به دست آمده با تعدیل جریان توسط پره؛

$WP_3(Q_r, H_{WP3})$ - نقطه عملیاتی پمپ در سرعت جریان مورد نیاز Q_r ، به دست آمده با سرعت چرخشی متغیر؛

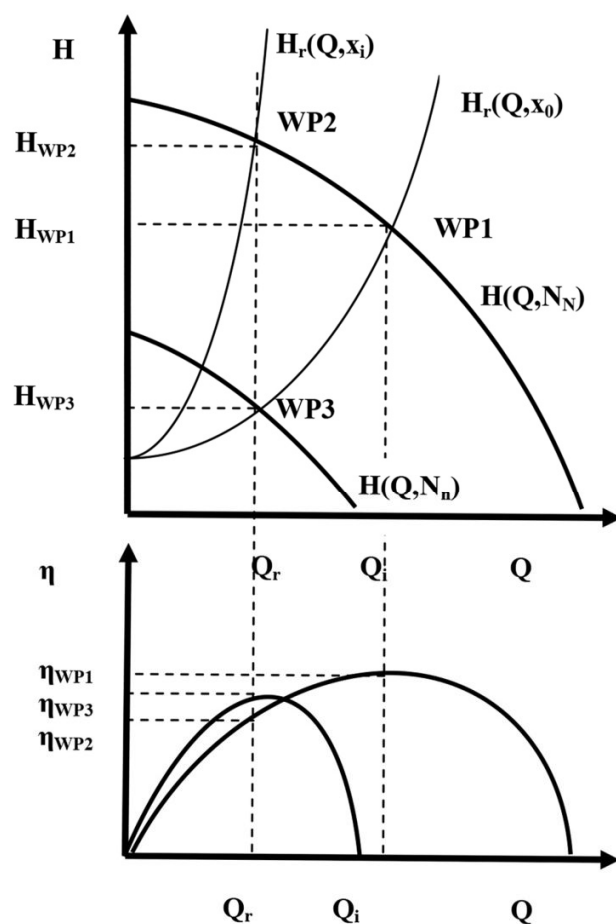
η_{WP1} - بازدهی پمپ در نقطه عملیاتی ابتدایی؛

η_{WP2} - بازدهی پمپ در سرعت جریان عملیات درخواستی، به دست آمده با تعدیل جریان؛

η_{WP3} - بازدهی پمپ در سرعت جریان عملیاتی درخواستی، به دست آمده با تغییر سرعت گردش.

سرعت جریان دیگر ثابت در نظر گرفته می شود.

برای کل سیستم، روند تنظیم هرچه باشد، نیروی پمپ عملیاتی جریان ثابت با پمپ جریان متغیر جمع می شود.



تصویر ۴- تنظیم عملیات سرعت پره و متغیر

نیروی الکتریکی مصرف شده، P_{eli} ، تهیه شده توسط شبکه الکتریکی، مصرف نیروی مفید و بازدهی عملیات لحظه ای موتور

الکتریکی، η_{Emi} ، را در نظر می گیرد که در آن i شاخص نقطه عملیاتی ویژه است.

بازدهی تنظیم پره

برای سرعت جریان درخواستی، Q_r ، نیروی مفید در نقطه تقاطع خط عمودی از میان Q_r و مشخصات ارتفاع فشار- جریان سیستم لوله کشی در بازشدگی کامل و تعدیل حداقل پره، $H_r(Q, x_0)$ ، بیان شده به صورت P_{WP3} ، برآورده می شود. نیروی مصرف شده واقعی از پمپ در نقطه کاری WP_2 برابر P_{WP2} ، نقطه تقاطع خط عمودی از میان Q_r و مشخصات جریان- ارتفاع فشار پمپ در نقطه عملیات اسمی، $H(Q, N_N)$ ، است.

$$P_{WP2} = \rho \cdot g \cdot Q_r \cdot H_{WP2} \quad (31)$$

$$P_{WP3} = \rho \cdot g \cdot Q_r \cdot H_{WP3} \quad (32)$$

نیروی مصرفی در نقطه کاری ذکر شده با در نظر گرفتن بازدهی های ویژه محاسبه می شود.

$$P_{C2}^{Vane} = \frac{P_{WP2}}{\eta_{WP2}} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_r \cdot H_{WP2}}{\eta_{WP2}} \quad (33)$$

$$P_{C3}^{Vane} = \frac{P_{WP3}}{\eta_{WP2}} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_r \cdot H_{WP3}}{\eta_{WP2}} \quad (34)$$

بازدهی تنظیم پره (η_v) به این صورت است

$$\eta_v = \frac{P_{C3}^{Vane}}{P_{C2}^{Vane}} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_r \cdot H_{WP3} \cdot \eta_{WP2}}{\eta_{WP2} \cdot \rho \cdot g \cdot Q_r \cdot H_{WP2}} = \quad (35)$$

$$= \frac{H_{WP3}}{H_{WP2}}$$

که در آن می توان بازدهی را به این صورت بیان کرد

$$\eta_h^{Vane} = \frac{H_{WP3}}{H_{WP2}} \quad (36)$$

که به عنوان بازدهی هیدرولیک روند تنظیم پره تعریف می شود. پس روند بازدهی تنظیم پره به صورت بازدهی هیدرولیک تعریف می شود.

بازدهی تنظیم موتور سرعت متغیر

نیروی مفید و مصرفی برای نقطه WP₃ محاسبه شده و نیروی مصرف شده الکتریکی به صورت زیر محاسبه می شود:

$$P_{C3}^{Speed} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_r \cdot H_{WP3}}{\eta_{WP3}} \quad (37)$$

باید ذکر کرد بازده موتور الکتریکی براساس نقاط کاری ویژه، با نیروی درخواستی تغییر می کند.

بازدهی تنظیم سرعت متغیر در مقایسه با تنظیم پره

آن ها نیروی مصرفی تنظیم جریان پاره (P_{C2}^{Vane}) و نیروی مورد نیاز تنظیم کننده جریان با دستگاه سرعت متغیر

(P_{C3}^{Speed}) را با تعریف ذخیره نیروی ویژه، (ΔP_{SV}) و بازدهی ویژه (η_{SV})، مقایسه می کنند.

$$\begin{aligned} \Delta P_{SV} &= P_{C2}^{Vane} - P_{C3}^{Speed} = \\ &= \rho \cdot g \cdot Q_r \cdot \left(\frac{H_{WP2}}{\eta_{WP2}} - \frac{H_{WP3}}{\eta_{WP3}} \right) \end{aligned} \quad (38)$$

$$\eta_{SV} = \frac{P_{C3}^{Speed}}{P_{C2}^{Vane}} \cdot \frac{\rho \cdot g \cdot Q_r \cdot H_{WP3} \cdot \eta_{WP2}}{\rho \cdot g \cdot Q_r \cdot H_{WP2} \cdot \eta_{WP3}} = \eta_h^{Vane} \cdot \frac{\eta_{WP3}}{\eta_{WP2}} \quad (39)$$

ذخیره انرژی با در نظر گرفتن مدت عملیات پمپ (t) محاسبه می شود

$$\begin{aligned} \Delta E &= t \cdot \Delta P_{SV} = t \cdot (P_{C2}^{Vane} - P_{C3}^{Speed}) = \\ &= t \cdot \rho \cdot g \cdot Q_r \cdot \left(\frac{H_{WP2}}{\eta_{WP2}} - \frac{H_{WP3}}{\eta_{WP3}} \right) \end{aligned} \quad (40)$$

ذخیره کل باید سیستم الکتریکی کلی را در نظر بگیرد.

$$\begin{aligned} \Delta E_{total} &= t \cdot \Delta P_{SV}^{Total} = t \cdot \left(\frac{P_{C2}^{Vane}}{\eta_{EM2}} - \frac{P_{C3}^{Speed}}{\eta_{EM3}} \right) = \\ &= t \cdot \rho \cdot g \cdot Q_r \cdot \left(\frac{H_{WP2}}{\eta_{EM2} \cdot \eta_{WP2}} - \frac{H_{WP3}}{\eta_{EM3} \cdot \eta_{WP3}} \right) \end{aligned} \quad (41)$$

قیمت الکتریسیته در محاسبه بازدهی در نظر گرفته نشده است زیرا نتایج کلی می تواند با تغییر قیمت آشفته گردد. در

عمل، نتیجه نهایی با در نظر گرفتن اثرات مالی لحظه ای ارائه می شود.

۷. تاثیرات ویژه روی مدل سازی عملیات خودکار

تاثیر طراحی سیستم

نقطه عملیاتی پمپ گریز از مرکز یا گروهی از پمپ ها همیشه نقطه تقاطع بین منحنی مشخصات سیستم و منحنی مشخصات پمپ است. بنابراین همه روش های کنترل منحنی پمپ یا تاسیسات را تغییر می دهد.

منحنی مشخصات تاسیسات شروط فشار نصب براساس سرعت جریان را ذکر می کند. این بخش همیشه حاوی مولفه های دینامیکی است که به دلیل مقاومت های جریان- مثلا در تاسیسات گردشی (گرمایشی، سرمایشی و غیره)- به صورت درجه دوم با سرعت جریان تغییر می کند. هرچند، ممکن است مرکب از مولفه های استاتیک اضافی، مثل تفاوت ها در ارتفاع فشار ژئودزی یا تفاوت فشار ایجاد شده توسط سایر فاکتورها- مثلا در سیستم های حمل و نقل (ارتقای فشار)- باشد. در تاسیسات گردشی، منحنی های مشخصات هیچ مولفه استاتیکی ندارند و بنابراین در مبدا ($H = 0$) شروع می شوند. در عمل، به منظور پیشگیری از تاسیسات مشتری دارای کمبود تحویل، نمودار فشار لازم بالای منحنی مشخصات سیستم قرار می گیرد. مسیر دقیق آن به سیستم مورد مربوطه بستگی دارد. منحنی عملیات کنترل شده، که نقطه عملیاتی باید در طول آن حرکت کند، در نتیجه باید روی خط فشار لازم یا بالای آن قرار گیرد.

اثرات در نتیجه بارگیری سیستم در طول زمان

سرعت جریان Q سیستم پمپ گریز از مرکز در مواد بسیار افراطی، می تواند بین مقدار حداکثر و صفر نوسان کند. اگر سرعت جریان درخواستی را براساس اندازه در طول سال سفارش دهیم، منحنی طول مدت بارگیری سالانه سفارشی را به دست می آوریم. مسیر دقیق آن به سیستم مربوطه بستگی دارد و می تواند از سالی به سال دیگر تغییر کند.

هرچه دوره عملیاتی طولانی تر و مساحت بین منحنی ها کوچکتر باشد، پتانسیل ذخایر محتمل بیشتر است.

برای مثال، پمپ برای سرعت جریان ۱۰۰ درصد مشخص شده است. این خروجی به ندرت در سال مورد نیاز است. بیشتر اوقات، سرعت جریان پایین تری مورد نیاز است برای ذخیره نیروی محرک پمپ، سیستم پمپ به صورت خودکار سرعت پمپ را با تقاضای لحظه ای سیستم مطابق میکند.

تصویر ۵ دو جایگزین طول مدت بارگیری را ارائه می کند تا ذخایر انرژی که طول مدت عملیات واقعی سیستم را در نظر می گیرد محاسبه گردد.

تاثیر پمپ یا گروه پمپ ها

پمپ می تواند گستره ذخایر انرژی محتمل درک شده توسط کنترل پمپ به روش های مختلف را تحت تاثیر قرار دهد: با مسیر منحنی مشخصات خود، با اندازه موتورهای مختلف مورد نیاز و با طراحی پمپ.

راه حل پمپ برای انواع مختلف اتلاف های داخلی و نیز برای شیب منحنی های مشخصات مهم است.

نمودار نیروی ورودی پمپ به شیب ارتفاع فشار و نمودار بازدهی بستگی دارد.

در کل، هرچه مشخصات پمپ شیب دار تر باشد، منحنی مشخصات پمپ متمایل تر می شود.

اندازه موتور واحد پمپ تاثیر دارد زیرا تجربه می گوید نسبت سرمایه گذاری به اندازه موتور وقتی نیرو افزایش می یابد، افت می کند.

در سیستم های چند پمپی، محاسبات اقتصادی براساس روش مشابه شرح داده شده در زیرانجام می شود.

مصرف نیروی موتور از شبکه اصلی برق

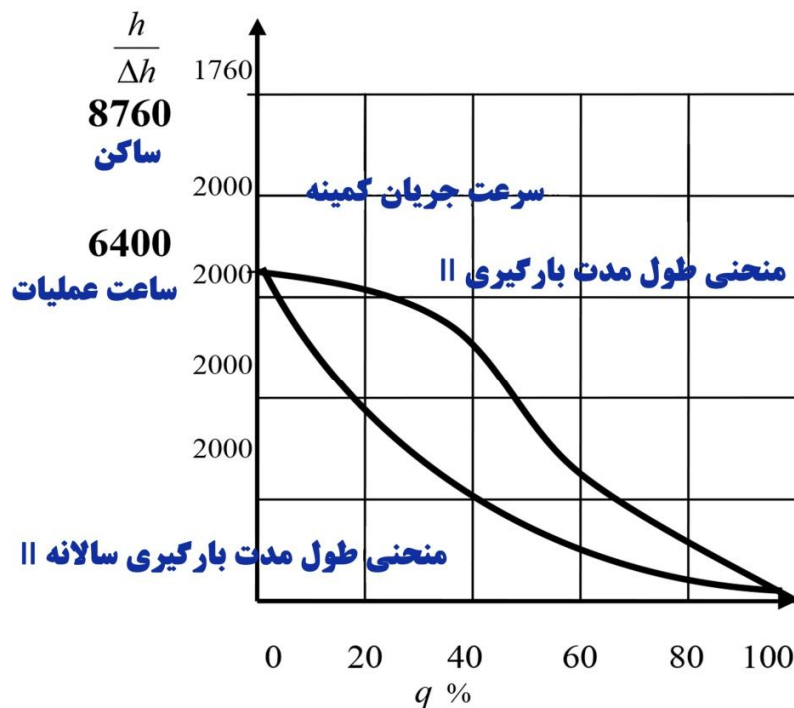
در کل، رفتار پمپ با در نظر گرفتن نیروی ورودی (ورودی محور) پمپ ارزشیابی می شود. هرچند، محاسبه خاص تر و صحیح تر باید نیروی الکتریکی جذب شده از شبکه اصلی برق را در نظر بگیرد.

مصرف نیرو (P_{eg}) در عملیات سرعت ثابت به نسبت نیروی محور پمپ (P_{wg}) با اتلاف های موتور افزایش می یابد.

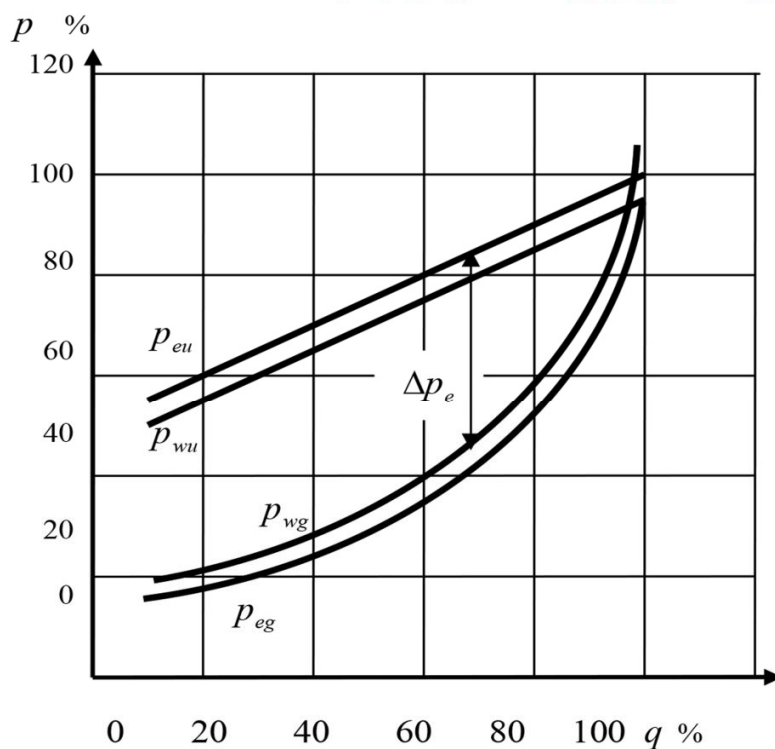
مصرف نیرو در عملیات سرعت متغیر با نیروی موتور به علاوه اتلاف های معکوس کننده فرکانس به علاوه اتلاف های موتور (که ممکن است براساس نوع معکوس کننده فرکانس اندکی افزایش یابد) تعیین می گردد.

اتلاف های اضافی در نتیجه عملیات سرعت متغیر قابل چشم پوشی هستند زیرا ذخیره نیرو به محض افت جریان زیر ۹۵ درصد در مقایسه با عملیات سرعت ثابت، به دست می آید.

برای کاربردهای عملی، لازم نیست مصرف نیرو با جزئیات تعیین شود. کاملاً کافی است محاسبات براساس نیروی ورودی پمپ (نیروی محور) باشد. به این دلیل که، مشابه تصویر ۵، اتلاف نیروی الکتریکی قطعی در عملیات سرعت متغیر و سرعت ثابت تقریباً مشابه است.



تصویر ۵- طول مدت بارگیری سالانه در دو موقعیت



تصویر ۶- نمونه نیروی الکتریکی ذخیره شده

روش های عملیات خودکار سیستم های پمپ از نمایش تحلیلی نیروی ارتفاع فشار- جریان، نیرو- جریان و بازدهی- جریان، نمودارهای بارگیری- جریان در مختصات ابعادی استفاده می کنند که مشابه موارد بدون بُعد پیش تر ذکر شده هستند.

۸. نتیجه تخفیف گازهای گلخانه ای با استفاده از دستگاه های محرک سرعت متغیر

مهم ترین اثر اکولوژیکی ذخیره انرژی کاهش انتشار گازهای گلخانه ای است که دربردارنده یکی از چالش های واقعی به دنبال قانون گذاری ها و تعهدات اخیر است.

با در نظر گرفتن انتشار CO_2 از سوزاندن رایج سوخت، کاهش انتشار گاز را می توان با استفاده از معادله ذخیره انرژی (۴۱) محاسبه کرد.

اثر مرتبط با کالری یک کیلوگرم سوخت رایج بین مولفه های کربن و هیدروژن تقسیم می شود با در نظر گرفتن: x - مقدار بخش کربنی، $(1-x)$ - مقدار بخش هیدروژنی.

براساس هنجارهای بین المللی، یک کیلووات انرژی الکتریکی با سوزاندن $350-360$ گرم سوخت رایج تهیه می شود.

همچنین، مشخص شده است که سوزاندن یک کیلوگرم سوخت رایج حدود 7000 کیلوکالری انرژی تهیه می کند.

پس، با در نظر گرفتن ظرفیت کالری کربن و هیدروژن و جرم مولکولی

$$Q = 8,100 \frac{kcal}{kgC} \cdot x + 28,000 \frac{kcal}{kgH_2} \cdot (1-x) = 7,000 \frac{kcal}{kg} \quad (42)$$

که در آن، برای یک کیلوگرم سوخت رایج

$$x = 0,8 \frac{kgC}{kg} \quad (43)$$

با سوزاندن یک کیلوگرم سوخت رایج، $12/44 x kg CO_2$ تولید می کند و تخفیف CO_2 متناظر به ذخایر انرژی به این صورت است

$$\Delta C(CO_2 / year) = 0.36 \times \frac{44}{12} \times \Delta E_{total} \times 0.8 \quad (44)$$

این روند برای هر روش ذخیره انرژی، از جمله گرداننده سرعت متغیر پمپ ها و سایر دستگاه های هیدرولیک قابل استفاده است.

۹. نتیجه گیری

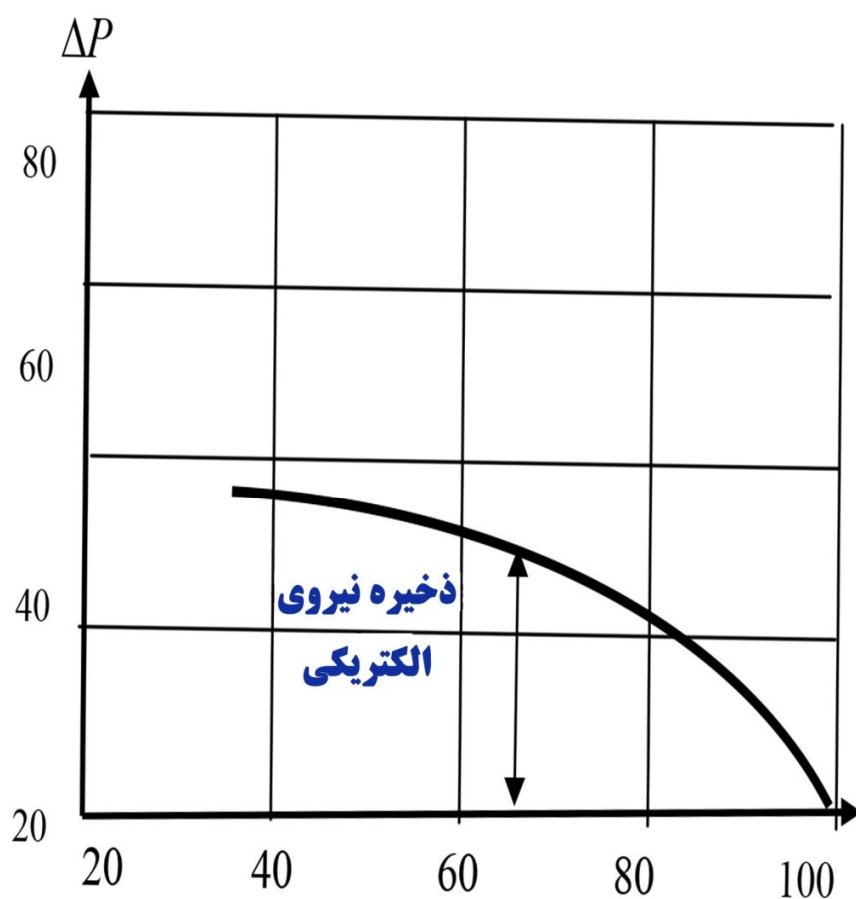
روش ارزشیابی ذخیره انرژی پیشنهادی کاربردهای عملی از جمله موارد زیر را دارد:

- ارزشیابی تخفیف انتشار گازهای گلخانه ای راه حل های پمپ کردن موثر؛

- براساس حداکثرسازی انرژی است، روند نشان دهنده شرایط بهینه برای عملیات خودکار همه انواع سیستم های پمپ است.

ذخایر انرژی که از تنظیم موتور سرعت متغیر استفاده می کنند را می توان با در نظر گرفتن دوره زمان عملیات در طول یک سال، تعداد پمپ ها و نیرو و بازدهی تخمین زد. در سطح ملی، مطالعات قابل اعتماد موقعیت حاضر درباره بازدهی تاسیسات پمپ وجود ندارد. حتی در سطح اروپایی، کشورهای توسعه یافته تازه شروع به این نوع ابتکارها کرده اند. اما، ذخیره انرژی محدود شده حدود ۱۰ درصد می تواند منجر به ذخیره انرژی کلی در سطح ملی در حدود ۲ درصد شود که به معنای اثر بزرگی است.

با در نظر گرفتن رابطه (۳۸) درباره ذخیره انرژی کل، می توان آن را با مختصات بدون بُعد ارائه داد $(\Delta p, q)$. در تصویر ۷، نمودار نمایشی برای سیستم پمپ عملیات موازی متشکل از دو پمپ مشابه، با تنظیم عملیات به صورت شرح داده شده در ۶، ارائه شده است. ذخایر برای عملیات بهینه در سرعت جریان ابتدایی صفر هستند و وقتی سرعت جریان درخواستی افزایش می یابد، رشد می کنند.



تصویر ۷- نمودار توصیفی ذخیره انرژی الکتریکی

مهم ترین اثر اکولوژیکی کاربرد بازدهی انرژی تخفیف گازهای گلخانه ای، کاهش مصرف انرژی با محصول نتیجه شده است. سوزاندن سوخت های فسیلی انتشار گاز CO_2 در حدود 0.53 کیلوگرم در هر 1 کیلووات انرژی الکتریکی تولید شده را سبب می شود. با توجه به کاهش اساسی در مصرف نیرو، بنابراین سیستم جدید کمک مثبتی به حفاظت محیط زیست می کند.



آدرس کارخانه : مشهد - کیلومتر ۵ بزرگراه آسیایی - کدپستی ۰۲۸ تلفن: ۰۵۱-۳۶۵۱۶۶۱۶