



آلات حرارية وهيدروليكية

قسم هندسة التصميم الميكانيكي
السنة الرابعة
الاختصاص: التصميم الميكانيكي



منشورات جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

آلات حرارية وهيدروليكية

الدكتور

عيسى مراد

أستاذ مساعد في قسم هندسة

الميكانيك العام

الدكتور

محمد سعيد السابق

أستاذ مساعد في قسم هندسة

السيارات والآليات الثقيلة

١٤٣٢-١٤٣٣ هـ

٢٠١١-٢٠١٢ م

جامعة دمشق



الفهرس

رقم الصفحة

الموضوع

17 مقدمة.

الباب الأول

الآلات الحرارية

..... الفصل الأول.

23 1-1 مقدمة عامة عن محركات الاحتراق الداخلي المكبسية
ومكونات المحرك الرئيسية.

25 1- تصنيف محركات الاحتراق الداخلي.

27 2- مفاهيم وتعريف أولية.....

31 3- الأجزاء الرئيسية في المحرك ومهامها الأساسية.

1-3 مجموعة الأسطوانة CYLINDER

2-3 علبة المرفق CRANKSHAFT CASE

3-3 جملة المكبس PISTON ASSEMBLY

4-3 ذراع التوصيل CONNECTING ROD

5-3 العمود المرفقي CRANKSHAFT

6-3 آلية توقيت الصمامات TIMING MECHANISM

..... الفصل الثاني.

47 2-1 الدورات الحرارية النظرية والفعلية في محركات الاحتراق
الداخلي والوقود وتفاعلات الاحتراق.

49 أولاً: الدورات الحرارية النظرية في محركات الاحتراق الداخلي.

1-الدورة العامة

1-1 الدورة المزدوجة(المختلطة)

2-1 دورة إعطاء الحرارة تحت حجم ثابت (دورة أوتو)

	1-3 دورة إعطاء الحرارة تحت ضغط ثابت (دورة ديزل)
60	ثانياً:الدورات الحرارية الفعلية في محركات الاحتراق الداخلي.....
	1- مبدأ عمل محركات الاحتراق الداخلي الترددية
71	ثالثاً:الوقود وتفاعلات الاحتراق.
	1- تركيب الوقود FUELS COMPOSITION
	2- المواصفات والخصائص العامة للوقود السائل
	3- التركيب الأولي للوقود وتفاعلات الاحتراق
	3-1 الاحتراق التام للوقود السائل
	3-2 الاحتراق غير التام للوقود السائل
	الفصل الثالث
87	1-3 العوامل المميزة للدورات الحرارية الفعلية لمحركات الاحتراق الداخلي الترددية والموازنة الحرارية للمحرك.
89	1- العوامل البيانية INDICATED FACTORS
91	2- العوامل الفعالة BRAKE FACTORS
93	3- الموازنة الحرارية HEAT BALANCE
	4 - أمثلة عددية
	الفصل الرابع
101	4-1 الملوثات الصادرة عن محركات البنزين ومحركات الديزل العادية والحدود المسموح فيها عالمياً
	1- مكونات الهواء الجوي النقي.
	2- دراسة الملوثات المختلفة الصادرة عن محركات الاحتراق الداخلي والمسببة لتلوث البيئة.
104	

	3- آلية تشكل الملوثات الغازية الصادرة عن محركات الاحتراق الداخلي وأثرها على صحة الإنسان والبيئة.	107
	4- الحدود العالمية للملوثات الغازية الصادرة عن محركات الديزل.	
	5- المعايير الوطنية لملوثات الهواء.	121
	6- بعض الحلول التقنية التي توصل إليها الباحثين بغرض الإقلال من الملوثات الناجمة عن عمل المحركات.	
	7- ظاهرة الاحتباس الحراري GREENHOUSE EFFECT	
	والملوثات المساعدة على حدوث الظاهرة.	129
	الفصل الخامس	
	5 لمحة عن بعض الأنظمة الالكترونية الحديثة المستخدمة على السيارات.	135
	أولاً: التحكم الالكتروني بدارة الوقود في محركات الاحتراق الداخلي.	138
	التحكم الالكتروني بدارة الوقود في محركات الاحتراق الداخلي	
	1- نظام التحكم الإلكتروني بحقن الوقود (L-JETRONIC)	
	2- نظام التحكم الإلكتروني بحقن الوقود (LH-Jetronic) مع القياس لكثافة الهواء عن طريق السلك الساخن	
	3- نظام التحكم الإلكتروني بالطرق	
	ثانياً: التحكم الإلكتروني بحركة الصمامات (نظام VTEC).	148
	1- التحكم بتوقيت ومقدار فتح الصمام	
	2- التحكم بمقدار تداخل الصمامات	
	الفصل السادس	
	6-1 العنفات الحرارية	159
	6-1 مقدمة أساسية لقانون عمل العنف الحرارية.	161
	6-2 بداية التطور الصناعي.	163

	3-6 مفاهيم أساسية وتحديد مبدأ عمل العنف الحرارية.
	4-6 درجة رد الفعل
	5-6 مرحلة رد الفعل الصفري
	6-6 اختيار درجة رد الفعل وتأثيرها على المردود
	7-6 مردود الآلات الحرارية
	مسائل محلولة
	الفصل السابع
177	7-1 العنف البخارية
172	1-7 فوهات البخار.
181	2-7 مردود الفوهة.
182	3-7 معامل إعادة التسخين.
183	4-7 التوازن شبه المستقر.
184	5-7 تصميم المرحلة.
	6-7 تصميم عنفة متعددة المراحل.
185	7-7 المرحلة الدفعية.
186	8-7 عنفة الدفع البخارية.
187	9-7 الضغط المركب (عنفة RATEAU).
	10-7 السرعة المركبة (عنفة كورتيس).
	11-7 العنفات البخارية ذات رد الفعل.
188	12-7 العنف الغازية.
	مسائل محلولة
	الفصل الثامن
191	8-1 الجريان في الريش الدوارة
193	1-8 القوى المؤثرة على ريش الدوار.

	2-8 الاستطاعة الكلية، العمل النوعي والمردود الكلي، الداخلي و
197	الفعال .
200	3-8 نظرية آلية التمدد .
	1-3-8 المعادلات الأساسية لحركة جسم التشغيل.
	أ- معادلة الاستمرار
	ب- معادلة كمية الحركة.
	ج- معادلة مصونية الطاقة.
	2-3-8 حساب سرعة الجريان في الفوهة.
	3-3-8 حساب مقطع الخروج.
	4-3-8 معادلة الجريان عبر القرص الدوار.
207	4-8 نظرية المرحلة المحورية.
	1-4-8 نظرية المرحلة المحورية وحيدة البعد.
	2-4-8 مردود المرحلة .
	الفصل التاسع
217	9-1 تطبيقات الآلات الحرارية العنقية
219	1-9 محطات توليد الطاقة ذات العنفات البخارية.
223	2-9 محطات توليد الطاقة المستخدمة في السفن.
224	3-9 المحطات النووية لتوليد الطاقة.
226	4-9 المحطات الغازية لتوليد الطاقة.
	1- الدورات المفتوحة البسيطة
	2- الدورة المفتوحة الحقيقية
	أ- النظام ثنائي المحور
	ب- الدورة المفتوحة المعقدة - دورة مع استرجاع
	3- الدورات المغلقة

234	5-9 المحطات ذات الدورات المركبة (البخارية- الغازية).
236	مسائل محلولة.
	الباب الثاني
	الآلات الهيدروليكية
	الفصل الأول
245	1-2 العنفات المائية
249	1-1 مقدمة.
249	2-1 الأنواع الرئيسية للعنفات.
	أ- دولاب بيلتون
	- مثلث السرعات
	- الضياعات والمراديد لدولاب بيلتون
	ب- عنفة فرنسيس (عنفة رد الفعل)
	- الضياعات في العنفة
	- مميزات العنفة
	ت- عنفة التدفق المحوري
259	3-1 ميزات الهيدروليك.
263	4-1 تحليل عناصر العنفات المائية.
	- مثلثات السرعة ومصطلحاتها
267	5-1 معادلات الجريان الأساسية.
	- معادلة الاستمرار
	- معادلة الطاقة
	- معادلة قوة الدفع
275	6-1 أنابيب السحب.
275	7-1 التكهف.

مسائل محلولة.

الفصل الثاني

279 2-2 المضخات الهيدروليكية

281 1-2 لمحة تاريخية.

2-2 نقل السوائل.

286 1-2-2 نقل السوائل بالجاذبية

2-2-2 الأحواض الهيدروليكية

3-2-2 النافثات

293 3-2 تصنيف المضخات.

1-3-2 المضخات الحجمية

- الأنواع الرئيسية ومبدأ عملها

2-3-2 المضخات الدورانية

- الأنواع الرئيسية و مبدأ عملها

300 4-2 خواص المضخات الحجمية والدورانية.

1- المضخات الدورانية

2- المضخات الحجمية

الفصل الثالث

303 3-2 نظام الضخ

306 1-3 تصنيف أنظمة الضخ.

309 2-3 بارامترات نظام الضخ والميزان الطاقى.

أ- بارامترات نظام الضخ

ب- تحديد مميزات نظام الضخ

ت- الميزان الطاقى لنظام الضخ

ث- الميزان الحرارى للجريان فى نظام الضخ

314 3-3 بارامترات العمل ومميزات المضخات.

أ- ارتفاع ضاغط المضخة

ب- التدفق

ت- الاستطاعة

ث- المردود

321 4-4 مميزات المضخات.

أ- نوع المميزات

ب- مميزات بعدية خاصة

ت- مميزات لا بعدية خاصة

ث- المميزات اللا بعدية العامة

ج- المميزات العامة بشكل منحنيات المردود

324 5-5 المضخات الحجمية.

- المضخات المكبسية

1- مجال ومبدأ عمل المضخة

2- تدفق المضخة المكبسية

3- ارتفاع الرفع (ضاغط) المضخات المكبسية

4- مردود واستطاعة المضخة المكبسية

5- حساب الأبعاد الرئيسية للمضخات

331 6-3 المضخات الدورانية.

أ- مضخات الطرد المركزي

1- أسس نظرية وحركية الجريان عبر القرص الدوار

2- التغير الطاقى للجريان عبر القرص

3- جريان السائل عبر قرص مضخة الطرد المركزي

4- معامل الانزلاق (Slip Factor)

	5- ضياعات المضخة
	6- تأثير شكل شفرة الدافع على العمل الناتج
	7- المجمع الحلزوني أو المتدرج (الملتف)
	8- الناشرة غير الدوارة VANLESS DIFFUSER
	9- الناشرة الدوارة
	10- التكهف في المضخات
	ب- مضخة الجريان المحوري
	أ- تصميم نظام الضخ
	ب- طرق تحليل مكونات أنظمة الضخ
	ت- تفاعل نظام الضخ
	ث- تحليل عمر الدورة
	ج- تغير سرعة الضخ
347	3-7 عمليات الضخ المتعددة.
349	3-8 ضاغط الامتصاص الموجب للشبكة.
	مسائل محلولة.
	الفصل الرابع
351	2-4 الضواغط والمراوح
353	4-1 تصنيف أجهزة الضغط.
353	4-2 المعادلات الأساسية لآلات الجريان.
359	4-3 المعادلات الترموديناميكية الأساسية لعملية الانضغاط.
	أ- المجاري المتحركة
	ب- المجاري الثابتة
365	4-4 عملية الانضغاط في ضاغط متعدد المراحل.
	أ- الانضغاط بدون تبريد

ب- الانضغاط مع تبريد

ت- التبريد الأولي

ث- التبريد بنفث المياه

ج- التبريد الداخلي

ح- التبريد بين المراحل أو الخارجي

الفصل الخامس

375

5-2 الضواغط والمراوح ذات التدفق القطري

377

1-5 نظرية الضواغط والمراوح ذات التدفق القطري.

.....

1- الميزان الكتلي لشدة الجريان

2- عدد الريش

3- شكل الريش

4- الناشرات

5- المجمعات

388

2-5 نظرية الضواغط والمراوح المحورية.

394

3-5 نظرية الضواغط المكبسية.

أ- مبدأ عمل الضواغط المكبسية

- الضاغط المثالي وحيد المرحلة

-الضاغط الحقيقي وحيد المرحلة

ب- أسس نظرية

ت- الضواغط متعددة المراحل

400

4-5 الضواغط الطاردة المركزية والمراوح.

- ضاغط الطرد المركزي

1- فعالية الريش في أداء العمل

2- مخططات السرعة

3- معامل الانزلاق

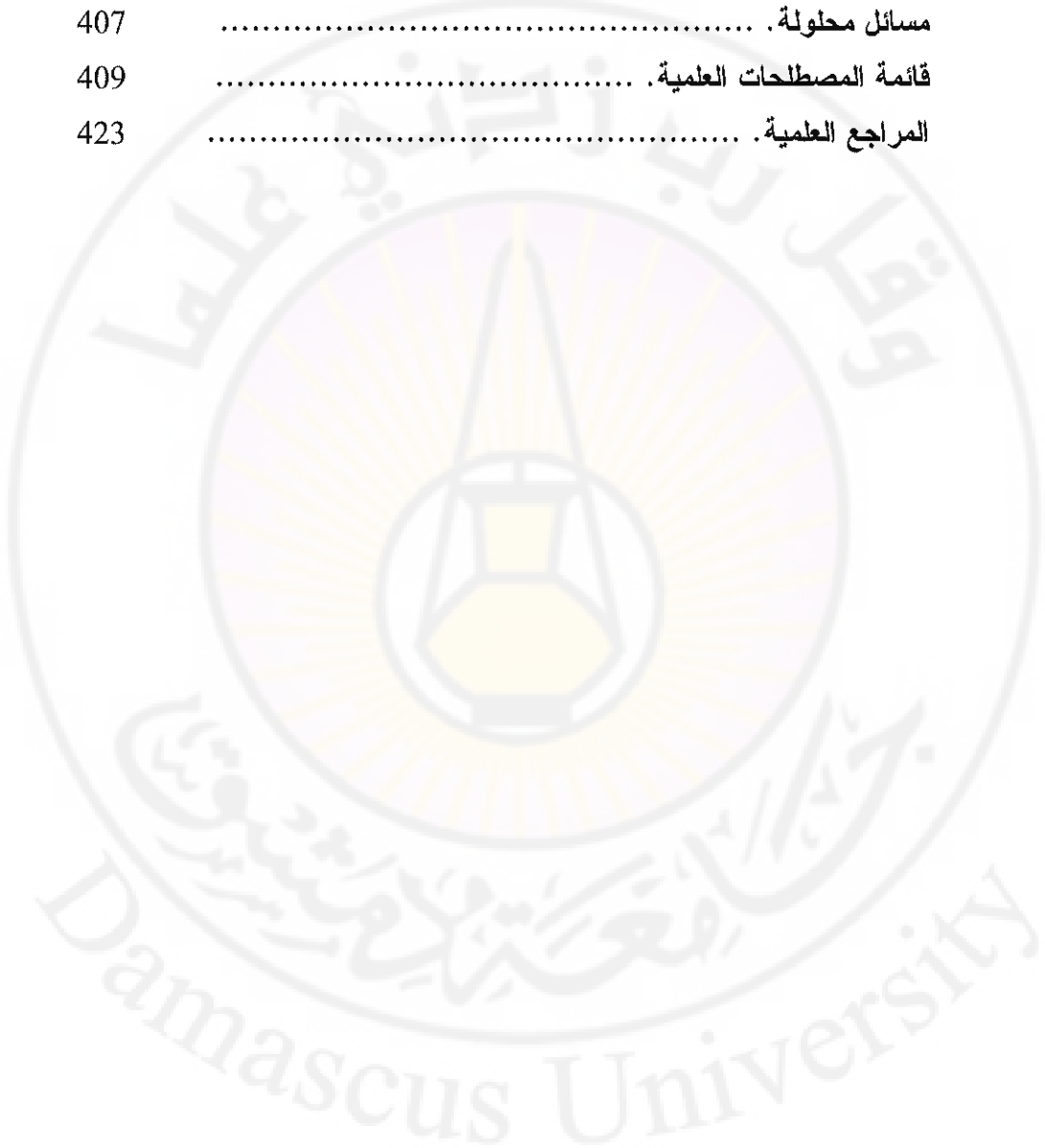
4- أداء العمل

5- الناشرة

407 مسائل محلولة.

409 قائمة المصطلحات العلمية.

423 المراجع العلمية.





تطور الآلات الحرارية

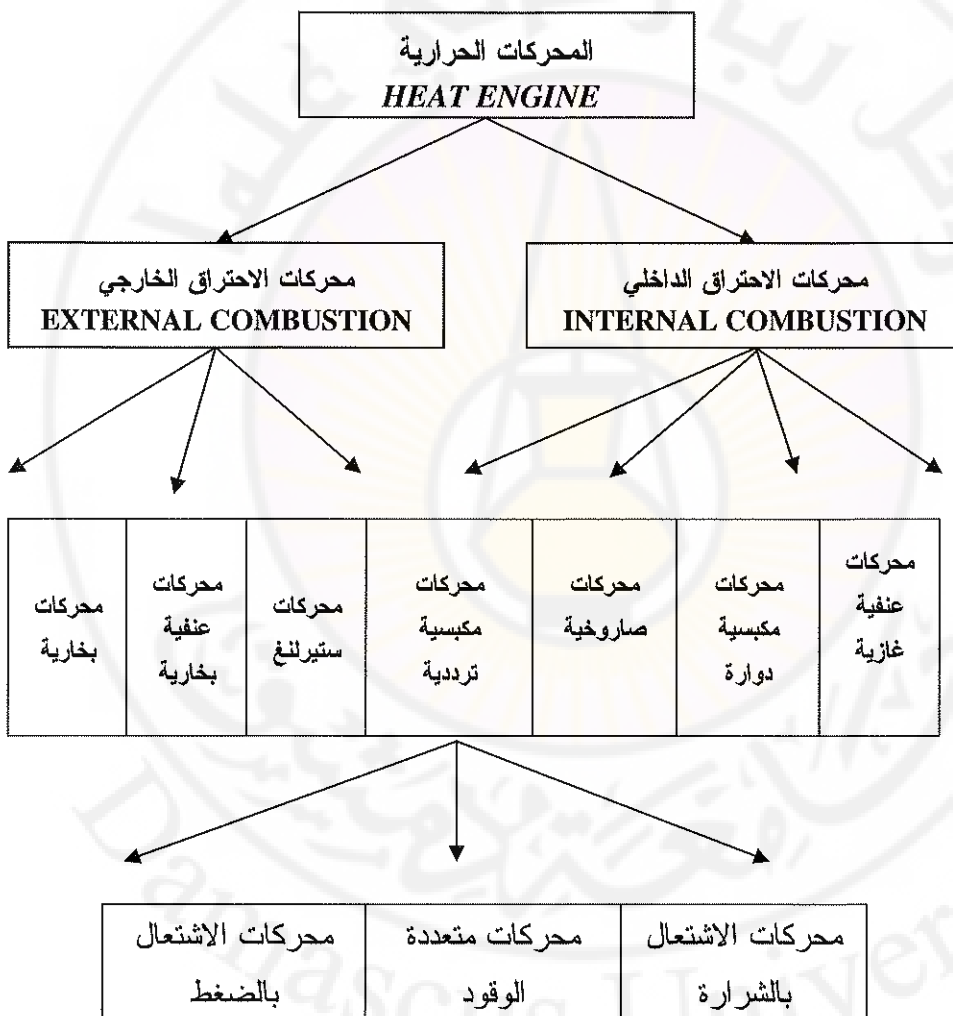
مقدمة

استطاع الإنسان أن يستغل منابع القدرة المتوفرة في الطبيعة وتمكن من وضعها في خدمته، إلى أن تمكن من صنع العديد من الآلات التي بمقدورها تحويل الطاقة الموجودة في الطبيعة إلى طاقة يستفيد منها في أعماله المختلفة، هذا الذي ساهم بطريقة أو أخرى بدفع عجلة التقدم والرقي، إلى أن أصبح وجود هذه الآلات ضرورة ملحة للحفاظ على مستوى الحضارة والمدنية الحالي. أدى اكتشاف كميات كبيرة من الوقود بمختلف أشكاله (الصلب والسائل والغازي) إلى ازدهار عصر إنتاج القدرة، وبالتالي نجد أن المحركات الحرارية HEAT ENGINE قد احتلت مكانة مرموقة في وقتنا الحاضر. من المعلوم أن هذه المحركات تعتمد أساساً على تحويل الطاقة الكيميائية الكامنة في الوقود من خلال عملية الاحتراق إلى طاقة حرارية، ومن ثم تتحول هذه الحرارة إلى طاقة ميكانيكية ضمن الآلة الحرارية.

حدث في القرن التاسع عشر تطور سريع للآلات الحرارية حيث تقدم المخترع الفرنسي LENOIR عام 1860 بنموذج تجاري لمحرك احتراق داخلي ترددي ثنائي الأشواط يعمل على الوقود الغازي، إلا أن الجودة الحرارية لهذا المحرك لم تتجاوز 4%. وفي عام 1866 تقدم المخترع الألماني نيكولاس أوغست أوتو بنموذج لمحرك بنزين يعمل على مبدأ محرك لنوار ثنائي الشوط، الذي يعمل حسب الدورات الحرارية المعروفة حالياً. أخيراً شهد العالم تطوراً آخر في صناعة المحركات الحرارية حيث تمكن العالم رودلف ديزل من صنع محرك يعمل بموجب دورة جديدة مبتكرة، حيث نجد أن الجسم المستخدم أثناء الانضغاط في الأسطوانة هو الهواء فقط، وأصبح الضغط في نهاية هذا الشوط عالياً لدرجة أصبحت حرارة الهواء المضغوط أعلى من درجة حرارة الاحتراق اللحظية لهذا الوقود المستخدم، وتمكن ديزل من إشعال الوقود تلقائياً دون الحاجة لمصدر خارجي.

وهنا يجب أن لا ننسى أن هناك محاولات عديدة بغية الاستفادة من مصادر الطاقة الأخرى كالطاقة الشمسية، وقدرة حركة البحار والمحيطات أثناء عمليتي المد والجزر، ومن القدرة الحرارية الكامنة في باطن الأرض...، إلا أن جميع هذه المحاولات قد لاقت نجاحاً محدوداً لأسباب عديدة، ومن الجدير ذكره أن هناك نجاحاً لا بأس فيه في مجال استخدام طاقة الرياح والمياه في مجال توليد الطاقة الكهربائية.

نورد فيما يلي تصنيفاً عاماً للمحركات الحرارية :



وبالمقابل فإن الآلات العنفيه هي أجهزة حيث يحدث نقل الطاقة بين جريان السائل والعنصر الدوار المناسب بفعل حركي، وينتج تغير في الضغط والقوة الدافعة للسائل. يحدث انتقال الطاقة الميكانيكية داخل أو خارج آلة العنف، وعملية التدفق مستقرة عادة. تضم الآلات العنفيه جميع الآلات التي تنتج القدرة، منها العنفات، التي هي من الأنواع التي تنتج ضاغط أو ضغط، كذلك مضخات الطرد المركزي والضاغط. الآلة العنفيه تستخرج الطاقة من تيار السائل أو تعطيه الطاقة بحركة مستمرة. وعند كل انزياح للآلة، يكون الجريان منقطع. الآلة العنفيه المبينة أعلاه تغطي مجال عريض من آلات العنفات الغازية والعنفات البخارية ومضخات الطرد المركزي وضاغط الطرد المركزي وضاغط التدفق المحوري والطواحين الهوائية والعجلات المائية والعنفات المائية. يوجد أنواع مختلفة من الآلات العنفيه. التي يمكن تصنيفها كما يلي:

آلات عنفيه تأخذ العمل من السائل وآلات تعطي العمل للسائل.

الآلات العنفيه التي تحرك السائل عبر الغشاء الدوار في الاتجاه المحوري بدون حركة قطرية لخطوط التيار، تدعى آلات ذات تدفق محوري، وإذا كان التدفق قطرياً، تدعى آلات ذات تدفق قطري أو آلات طرد مركزي. يجب مراقبة النقطتين الأساسيتين الآتيتين: الأولى، العنصر الرئيسي هو الدوار أو حامل الشفرات المتحركة أو ريش المراوح. الثانية، مسار السائل في الدوار الذي يمكن أن يكون محورياً أو قطرياً أو في بعض الحالات كلاهما معاً. يمكن أن تصنف الآلات العنفيه كما يأتي أيضاً:

- عنفات: وهي آلات تنتج القدرة نتيجة التمدد المستمر لجريان السائل إلى الضغط المنخفض أو الضاغط.
- مضخات: وهي آلات تزيد الضغط أو الضاغط للسائل المتدفق.
- مراوح: وهي آلات تعمل فقط لرفع ضغط تدفق الغاز لقيم صغيرة، مع مراعاة أن الغاز غير قابل للانضغاط.

- ضواغط: وهي آلات تعطي الغاز طاقة حركية من خلال ضغطه ومن ثم جعله يتمدد ثانية. يمكن أن يكون الضاغط ذا تدفق محوري، أو ذا طرد مركزي، أو مركباً من النوعين، وفي هذه الحالة ينتج هواء عالي الضغط. الضاغط الديناميكي، يعطي الطاقة الحركية للهواء في الدافع وعندئذ تتحول إلى طاقة ضغط في النافثة.



الباب الأول الآلات الحرارية



The background of the page features a large, faint watermark of the Damascus University logo. The logo is circular, with a central emblem depicting a stylized oil lamp or lantern. Above the emblem, the Arabic text "جامعة دمشق" (University of Damascus) is written in a semi-circle. Below the emblem, the English text "Damascus University" is written in a semi-circle. The entire logo is rendered in a light gray color.

الفصل الأول

مقدمة عامة عن محركات الاحتراق الداخلي

المكبسية ومكونات المحرك الرئيسية



معلومات عامة

محرك الاحتراق الداخلي عبارة عن محرك حراري مكبسي يتم داخل أسطواناته احتراق الوقود وتحويل للطاقة الكيميائية الكامنة في الوقود إلى طاقة حرارية لتتحول هذه الأخيرة إلى عمل ميكانيكي. ويطلق اسم محركات الاحتراق الداخلي المكبسية الترددية على تلك المحركات التي تحتوي داخل أسطواناتها على مكابس تتحرك حركة ترددية، بالمقابل نجد هناك محركات تملك مكبساً دواراً ندعوها بالمحركات ذات المكابس الدوارة (محرك فانكل) .

1- تصنيف محركات الاحتراق الداخلي:

تطورت المحركات الحرارية منذ نشأتها حتى وقتنا الحاضر بشكل كبير، ولدراسة هذه المحركات لابد أن نقوم بتصنيفها وفق المؤشرات التالية :

1-1 حسب نوع الوقود المستخدم على المحرك :

- محركات تعمل على وقود سائل خفيف (بنزين-كبروسين).
- محركات تعمل على وقود سائل ثقيل (ديزل-فيول).
- محركات تعمل على وقود غازي.

2-1 حسب عدد الأشواط المتممة للدورة الحرارية OPERATING CYCLE :

- محركات رباعية الشوط FOUR STROK ENGINES حيث تتمّ الدورة الحرارية للمحرك خلال أربعة أشواط للمكبس، أي خلال دورتين كاملتين من دورات العمود المرفقي.
- محركات ثنائية الشوط TWO STROK ENGINES حيث تتمّ الدورة الحرارية للمحرك خلال شوطين للمكبس، أي خلال دورة واحدة من دورات العمود المرفقي.

3-1 حسب طريقة تشكيل الخليط:

- محركات ذات تشكيل خليط داخلي : يتم شحن الأسطوانة في هذه المحركات بالهواء فقط ،ليتم بعدها إدخال الوقود إلى داخل الأسطوانة في لحظة معينة، كما هو الحال في محركات الديزل .
- محركات ذات تشكيل خليط خارجي : حيث نقوم بمزج الهواء مع الوقود في جهاز معين خارج أسطوانات المحرك، ليتم بعدها إدخال المزيج إلى داخل الأسطوانات خلال شوط السحب، وهذا ما يحدث في محركات البنزين والمحركات الغازية .

4-1 حسب طريقة احتراق الوقود:

- محركات احتراق بالضغط COMPRESSION IGNITION ENGINES (محركات الديزل) حيث يتم اشتعال الوقود بشكل ذاتي بدون أي وسيط خارجي، فقط نتيجة اختلاط الوقود مع الهواء ذي درجة الحرارة والضغط العاليين داخل الأسطوانة.
- محركات اشتعال بالشرارة SPARK IGNITION ENGINES (محركات البنزين والغاز): وهنا يتم الاستعانة بشرارة كهربائية تقدمها شمعة الإشعال SPARK PLUG كمصدر خارجي.

5-1 حسب نسبة الانضغاط COMPRESSION RATIO :

- محركات ذات نسبة انضغاط مرتفعة وهي المحركات ذات تحضير الشحنة الداخلي .
- محركات ذات نسبة انضغاط منخفضة وهي المحركات ذات تحضير الشحنة الخارجي.

6-1 حسب طريقة تبريد المحرك METHOD OF ENGINE COOLING :

- محركات ذات تبريد مائي WATER-COOLED ENGINES .
- محركات ذات تبريد هوائي AIR-COOLED ENGINES .

7-1 حسب ضغط الشحنة الداخلة إلى الأسطوانة :

- محركات عادية يكون فيها الضغط داخل الأسطوانة أقل بقليل من الضغط الجوي.

- محركات مشحونة يكون فيها ضغط الشحنة أعلى من الضغط الجوي.

8-1 حسب عدد وطريقة توضع الأسطوانات وترتيبها:

NUMBER&ARRANGEMENT OF CYLINDERS

- محركات مكبسية ترددية تتحرك مكابسها داخل الأسطوانات حركة خطية ترددية وتتوضع أسطواناتها بصورة عمودية أو أفقية أو متقابلة أو على شكل حرف V ويمكن أن يتوضع مكبسان متقابلان داخل الأسطوانة الواحدة، الشكل (1-1).

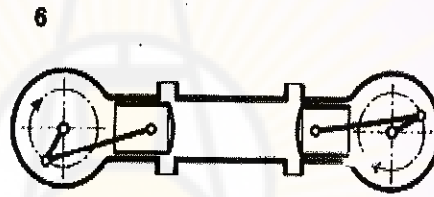
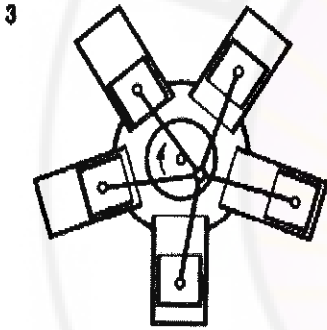
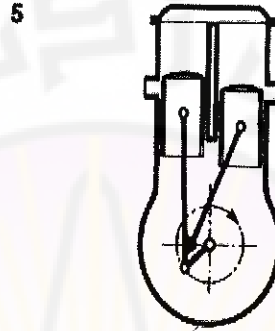
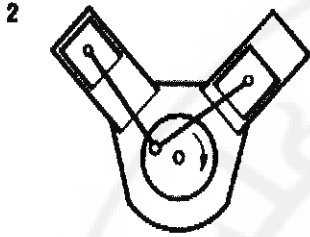
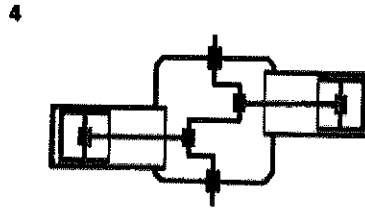
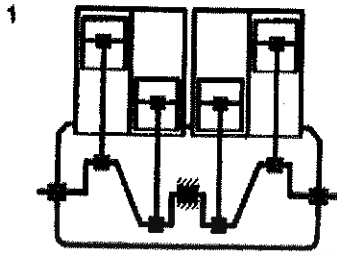
- محركات ذات مكابس دوارة: ويتوضع مكبس على شكل مثلثي داخل غلاف يشكل الأسطوانة، يتحرك المكبس حركة دورانية ضمن الغلاف ويشكل الفراغ بين أوجه المكبس الثلاثة وسطوح الأسطوانة الداخلية غرف الاحتراق والتي تتغير باستمرار. يتم دخول الشحنة وخروج غازات الاحتراق في هذا النوع من المحركات عن طريق فتحات خاصة موجودة في غلاف المحرك، الشكل (1-2).

9-1 حسب مجال الاستخدام APPLICATION :

- محركات ثابتة: وتستخدم في محطات توليد الطاقة ومحطات الضخ.
- محركات المركبات والآليات: وتستخدم على جميع أنواع المركبات والبواخر والآليات والقاطرات

2- مفاهيم وتعريف أولية:

يبين الشكل (1-3) مخطط مبسط لمحرك احتراق داخلي بغرض توضيح مكوناته الأساسية ودراسة بعض المفاهيم الأساسية:



الشكل (1-1): طرق توضع أسطوانات المحرك

1- تسمى مجموعة العمليات المتوالية باستمرار (السحب-الضغط-الاحتراق والتمدد-الطرد) والتي تجري داخل أسطوانة المحرك، والتي يتم بموجبها تحول الطاقة الحرارية الكامنة في الوقود إلى طاقة ميكانيكية، بالدورة الحرارية للمحرك.

2- يتحرك المكبس بين نقطتين حديتين هما:

3- النقطة الميتة العليا TOP DEAD CENTER: وهي النقطة التي تقابل وضعية المكبس وهو أقرب ما يمكن من رأس الأسطوانة.

4- النقطة الميتة السفلى BOTTOM DEAD CENTER: وهي النقطة التي تقابل وضعية المكبس وهو أقرب ما يمكن من العمود المرفقي.

لن يتجاوز المكبس هاتين النقطتين الحديتين وتكون سرعته معدومة عندهما لأنه يغير اتجاه حركته.

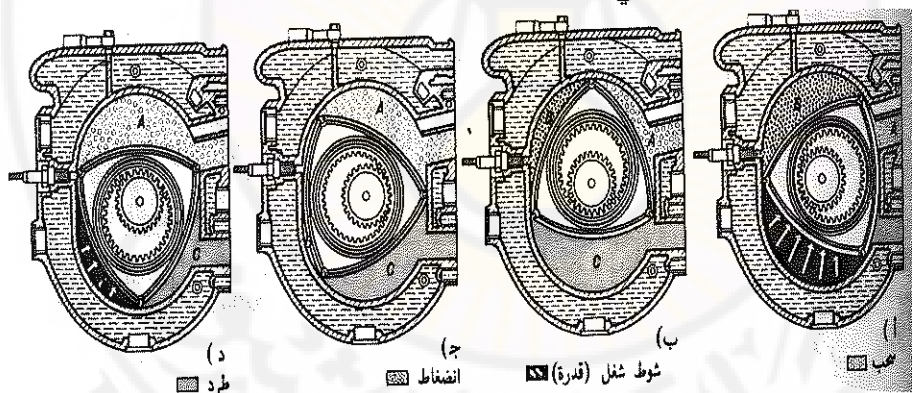
5- طول الشوط S (STROK): وهو المسافة التي يقطعها المكبس بين TDC و BDC وتطابق هذه المسافة نصف دورة من دورات العمود المرفقي، وتساوي طول قطر المرفق :

$$S=2.R$$

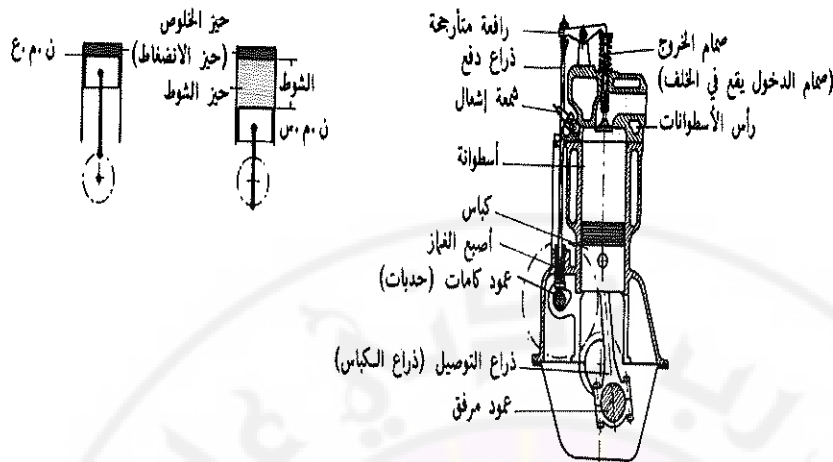
6- الحجم الفعال (العامل) V_h : هو الحجم المتشكل داخل الأسطوانة خلال حركة المكبس بين TDC و BDC، والمساوي:

$$V_h=(\pi.D^2/4).S$$

D- قطر الأسطوانة الداخلي.



الشكل (1-2): أشواط محرك فانكل



الشكل (1-3): مكونات المحرك الأساسية

7- حجم الخلوص (حجم حجرة الاحتراق) V_C : هو الحجم المتشكل بين رأس المكبس عندما يكون في النقطة الميتة العليا TDC وبين رأس الأسطوانة.

8- الحجم الكامل للأسطوانة V_a : وهو حجم الأسطوانة عندما يكون المكبس في TDC :

$$V_a = V_h + V_C, \text{cm}^3 (\text{c.c})$$

بفرض i عدد أسطوانات المحرك، فإن حجم المحرك وهو مجموع الحجوم الفعالة لأسطواناته كاملة هو :

$$V_L = V_h \cdot i = (\pi \cdot D^2 / 4) \cdot S \cdot i$$

9- نسبة الانضغاط ϵ COMPRESSION RATIO: وهي نسبة الحجم الكلي للأسطوانة إلى حجم حجرة الاحتراق :

$$\epsilon = V_a / V_C = (V_h + V_C) / V_C = 1 + V_h / V_C$$

وتتراوح هذه النسبة بحدود:

$$\epsilon = 6 \dots 12 \text{ بالنسبة لمحركات البنزين}$$

$$\epsilon = 14 \dots 22 \text{ بالنسبة لمحركات الديزل}$$

وتؤثر هذه النسبة بشكل مباشر على استطاعة المحرك واقتصاديته.

3- الأجزاء الرئيسية في المحرك ومهامها الأساسية :

يتكون المحرك من مجموعة من الأجزاء الثابتة وأخرى متحركة سندرسها على الشكل التالي:

3-1 مجموعة الأسطوانة CYLINDER:

تشكل الأسطوانة الجدار الداخلي الجانبي لغرفة الاحتراق، وتعمل على توجيه المكبس حيث تشكل مع غطاء كتلة الأسطوانات الحجم الذي يؤمن الشوط العامل. تتعرض الأسطوانة إلى تأثير غازات الاحتراق ذات درجات الحرارة العالية التي تفوق 2000°C ، وكذلك تتعرض إلى ضغط الغازات العالي الناجم عن عملية الاحتراق، ولا ننسى الاحتكاك الحادث بين سطح الأسطوانة الداخلي وسطح المكبس والحلقات المكبسية، وأخيراً حيث على الأسطوانة نقل كمية كبيرة من الحرارة التي تصلها من الغازات المحترقة إلى سائل التبريد، وبالتالي فإن الشروط الواجب توفرها في معدن الأسطوانة:

أ- مقاومة اجهادات الضغط العالية وفي كل الظروف وعند درجات الحرارة العالية.

ب- خواص انزلاق جيدة مع مقاومة عالية للاهتراء والصدأ.

ت- ناقلية حرارية عالية.

ث- قدرة تلاصق جيدة مع وسيط التزييت.

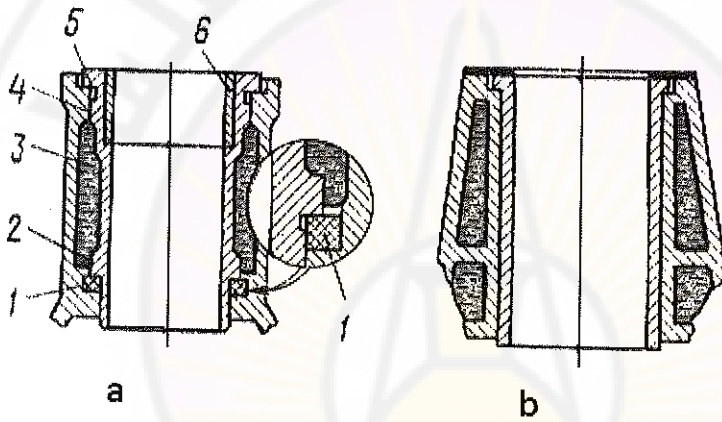
ج- إمكانية إنتاج رخيصة وخفة الوزن.

لهذا تصنع الأسطوانات من حديد الصب المقاوم للاهتراء والصدأ، وحديثاً تستخدم أنواع حديد الصب المضاف إليه نسب ضئيلة من الفوسفور والكروم والنيكل.

مع أن سرعة المكبس وقوته الجانبية المؤثرة عمودياً على سطح الأسطوانة تبلغ قيمتها العظمى عند حوالي منتصف المسافة بين TDC وBDC إلا أن القيمة العظمى للاهتراء تظهر في المناطق العلوية من الأسطوانة لأسباب مختلفة، لهذا من الضروري أن تبرّد الأسطوانة لتجنب حدوث أي تمدد حراري غير متجانس، ويكون التبريد بالهواء أو

بالماء، حيث في الحالة الأولى نقوم بتسليط تيار من الهواء على الزعانف المحيطة بالأسطوانة من الخارج، كما هو الحال في محركات الطائرات ومحركات الدرجات العادية، أما في الحالة الثانية فتحاط الأسطوانة بتجاويف خاصة لمرور الماء تدعى بالقمصان المائية WATER JACKET، أما القسم العلوي من الأسطوانة الذي يتحرك ضمنه المكبس فيدعى بطانة الأسطوانة CYLINDER LINER، حيث نميز بين نوعين من القمصان، الشكل (4-1):

- أ- القمصان الرطبة WET LINER .
- ب- القمصان الجافة DRY LINER .



الشكل (4-1): أنواع قمصان الأسطوانات (a) الرطبة، (b) الجافة.

يتعرض السطح الخارجي للأسطوانة في القمصان الرطبة مباشرة لسائل التبريد، ويتم منع التسرب بين القمصان وكتلة الأسطوانات من الأسفل بواسطة حلقات مطاطية، ومن الأعلى بكبسها على بطانة رأس الأسطوانات. أما في القمصان الجافة فإن السطح الخارجي للأسطوانة لن يلامس سائل التبريد، وتحتاج إلى ضغط كاف لتأمين تركيبها.

* رأس الأسطوانة CYLINDER HEAD:

تغطي الأسطوانة من الأعلى بغطاء كتلة الأسطوانات ليشكل الجدار العلوي لحجرة الاحتراق، ويصمم الغطاء ليحتوي على غرفة الاحتراق وعلى فتحات الاتصال مع

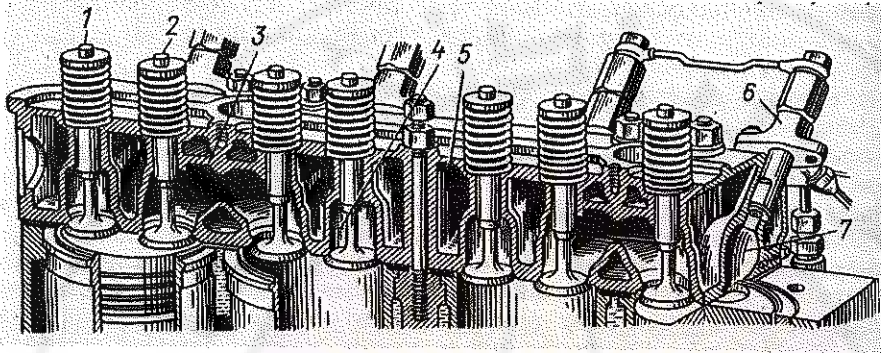
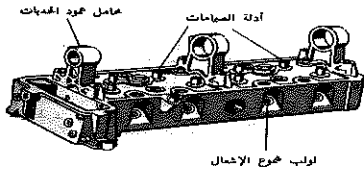
مجمعات السحب والعدم وشمعة الإشعال أو حاقن الوقود حسب نوع المحرك. كما توجد الصمامات وأدلتها في رأس الأسطوانة كما يركز على رأس الأسطوانة كل من الرافعة المتأرجحة وعمود الكامات، الشكل (5-1).

يتعرض رأس الأسطوانة إلى ضغط عال ناتج من الغازات المحترقة، وإلى إجهادات حرارية وقوى ميكانيكية ناتجة من براغي التثبيت مع هيكل المحرك، لهذا يجب أن يتمتع تصميم رأس الأسطوانة بالمواصفات التالية:

- أ- القساوة العالية منعاً من تشوّهه من جراء قوى الشد الناتجة من تثبيته.
- ب- مقاومة للحرارة والصدأ.
- ت- توزيع وتثبيت جيد لآلية توقيت الصمامات وشمعات الإشعال والحواف.
- ث- خفيف الوزن وسهل التصميم.

تستخدم عادة خلائط الألمنيوم ذات الناقلية العالية للحرارة في تصنيع رأس الأسطوانة لمحركات الإشعال بالشرارة، أما في محركات الديزل فيستخدم حديد الصلب بسبب وجود الضغوط العالية الناتجة من احتراق الوقود في هذه المحركات ذات نسب الانضغاط العالية.

يحتوي رأس الأسطوانة على تجاويف تؤمن سهولة جريان سائل التبريد، وكذلك هناك صفيحة إحكام توضع بين رأس الأسطوانة وجسم المحرك لمنع تسرب غازات الاحتراق أو تسرب سائل التبريد أو زيت التزييت واختلاطه مع الماء، ويجب أن لا تتأثر هذه الصفيحة بدرجات الحرارة العالية، وأن تتمتع بمقاومة عالية للإجهادات الناجمة عن الضغوط العالية في الأسطوانة، وتصنع عادة من النحاس أو خلائط الألمنيوم، أو طبقتين من الأسبستوس مضغوطتين على صفيحة معدنية مثقبة أو شبكة معدنية.



الشكل (1-5): غطاء كتلة الأسطوانات

2-3- علبة المرفق CRANKSHAFT CASE :

تحتوي علبة المرفق على عمود المرفق وتغطي الأسطوانات من الأسفل، أي تقوم بحفظ أجزاء المحرك من الأسفل وتمنع وصول الغبار والأوساخ، وتستخدم كذلك لتخزين الزيت اللازم لتزييت أجزاء المحرك المختلفة. تتركب علبة المرفق (الحوض) على جسم المحرك من الأسفل بواسطة براغي، ويوجد أسفل الحوض فتحة مع سدادة خاصة لتفريغ الزيت عند الحاجة، وهناك صفائح إحكام خاصة تفصل بين الحوض وجسم المحرك.

يستخدم حديد الصب ذي القساوة الكافية في تصنيع علبة المرفق، وقد تستخدم خلائط الألمنيوم عند الحاجة لإنقاص وزن المحرك، إلا أن من عيوب هذه الخلائط قلة قساوتها مقارنة مع الحديد الصب مما قد يؤدي إلى حدوث تشوه في سطوح الإحكام وفقدان الإحكام.

3-3- جملة المكبس PISRON ASSEMBLY :

تتكون جملة المكبس من :المكبس PISTON،والحلقات المكبسية PISTON RINGS،ومحور المكبس PISRON PIN .

*المكبس PISTON :

يقوم المكبس بالمهام التالية:

أ- ينقل قوى ضغط غازات الاحتراق وينقلها إلى ذراع التوصيل.

ب-نقل الحرارة إلى جدران الأسطوانة وإلى زيت التزييت.

ت-يعمل كمانع تسرب متحرك بين حيز غرفة الاحتراق وعلبة المرفق.

ث-يتحكم في حركة الغازات في أسطوانات المحركات الثنائية الأشواط.

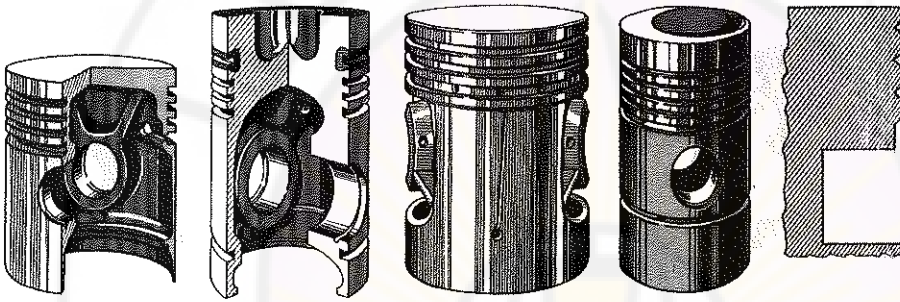
يتعرض المكبس بسبب تماسه الدائم مع غازات الاحتراق ذات درجات الحرارة العالية لإجهادات حرارية وكذلك إلى الضغوط العالية،إضافة إلى تعرضه للاحتكاك،وكل ذلك سيؤدي إلى زيادة الإجهاد الحراري لمادة المكبس،وبالمقابل يترتب على المكبس أن يقوم بنقل الحرارة إلى سائل التبريد عن طريق أساور الإحكام .

من هنا نجد أن على مادة تصنيع المكبس أن تقاوم الاجهادات الحرارية والميكانيكية، وأن تقاوم الاحتكاك وأن تكون ذات موصلية حرارية جيدة،لهذا تصنع المكابس من خلائط الألمنيوم وأحياناً قليلة من حديد الصب أو من الفولاذ.

يكون رأس المكبس أو التاج CROWN في المحركات الرباعية الشوط إما مستوياً(مسطحاً)أو محدباً بدرجة خفيفة أو مقعراً وذلك حسب الطريقة المتبعة في تشكيل المزيج وتذيرر الوقود ومزجه مع الهواء ،الشكل (1-6) .

يتطلب العمل الطبيعي للمكبس داخل الأسطوانة وجود خلوص معين بين المكبس وقميص الأسطوانة،ومراعاة انخفاض هذا الخلوص مع ازدياد درجة الحرارة بغرض

تجنب اختلال طبقة التزييت ،وللمحافظة على الخلوص اللازم للتركيب وفي أقل الحدود وأن يكون للمكبس خلوص واحد في كافة ظروف التشغيل تصنع المكابس بشكل بيضوي المقطع بحيث يكون قطره الواقع في مستوي تآرجح ذراع التوصيل(مستوي تأثير القوة الجانبية للمكبس)أكبر من قيمته في المستوي العمودي على مستوي التآرجح ،وتصب شرائح من الفولاذ لإعاقة التمدد الحراري،وأخرى للمحافظة على الشكل الصحيح للمكبس،وأخيراً تخرط حوز دقيقة وهذا يؤدي إلى ضغط المعدن من النتوءات إلى التجاويف عند التسخين الشديد .



الشكل (1-6): أشكال مختلفة للمكابس

* أساور أو حلقات الإحكام PISTON RINGS :

تعمل حلقات الإحكام على:

- أ- منع تسرب غازات الاحتراق إلى علبة المرفق.
 - ب- تنظيم طبقة زيت تزييت الأسطوانة ومنعه من الوصول إلى غرفة الاحتراق.
 - ت- نقل الحرارة من رأس المكبس إلى جدار الأسطوانة .
- تقسم أساور الإحكام إلى نوعين:
- 7- حلقات إحكام الانضغاط وتكون هناك حلقتان أو ثلاث على سطح المكبس .

8- حلقات منظمة لطبقة الزيت وتركيب حلقة واحدة على سطح المكبس .

تعمل حلقات الإحكام COMPRESSION RINGS على تأمين الإحكام ومنع تسرب الغازات الموجودة في حجرة الاحتراق، وتتعرض هذه الحلقات وخاصة سطح الأولى منها للضغط ودرجة الحرارة الموجودة في الأسطوانة.

عند تحديد عدد حلقات الإحكام نأخذ بالحسبان كمية الحرارة الواجب تصريفها إلى سطح الأسطوانة، وكذلك ضمان الإحكام الجيد بين حجرة الاحتراق وعلبة المرفق. من الضروري أن تتمتع هذه الحلقات بمرونة جيدة ونعومة عالية للسطوح وأن تكون ذات ناقلية حرارية جيدة، مع تمتعها بالقساوة العالية وخفة الوزن، لهذا غالباً ما تصنع من حديد البهرليت مع خلطات مختلفة كالكروم والنيكل والمنغنيز، ويطلق سطحها بطبقة من الكروم لتخفيف اهترائها.

غالباً ما تركيب هذه الحلقات بحيث تكون الزاوية بين فتحة اتصال كل حلقتين متتاليتين 180^0 وذلك للحصول على أكبر إعاقة لتسرب الغازات.

أما عن الحلقة الخاصة بجرف الزيت من سطح الأسطوانة فتتركب في القسم السفلي من المكبس أي تحت الحلقات الضاغطة.

*محور (إصبع) المكبس PISTON PIN :

ينقل إصبع المكبس القوة المؤثرة على المكبس إلى ذراع التوصيل مما يعرضه إلى قوى ديناميكية كبيرة متغيرة القيمة والاتجاه، وبشكل أساسي نقول إنه يتعرض لإجهاد الانحناء.

يصمم إصبع المكبس ليكون على شكل قضيب ذي سطح أملس ومجوف من الداخل لتخفيف وزنه، ويثبت الإصبع من الطرفين بواسطة حلقات تمنع حركته المحورية. يصنع محور المكبس من الفولاذ وتعالج سطوحه حرارياً لزيادة صلابته وقساوته.

3-4- ذراع التوصيل CONNECTING ROD :

يعمل ذراع التوصيل على:

أ- وصل المكبس مع العمود المرفقي.

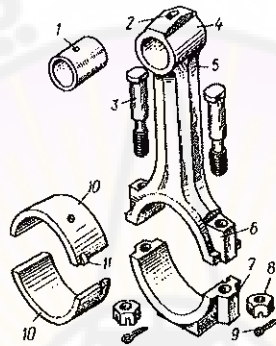
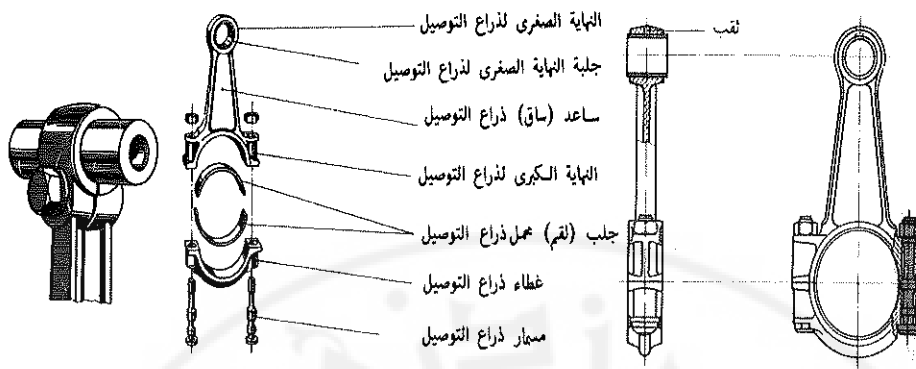
ب- نقل القوة من المكبس إلى العمود المرفقي.

ت- توليد عزم الفتل على العمود المرفقي.

ث- تحويل الحركة الترددية للمكبس إلى حركة دورانية.

يتعرض ذراع التوصيل إلى إجهادات ضغط ناشئة عن القوة الكبيرة المؤثرة على المكبس بسبب طول الذراع، وهناك إجهادات شد واحتكاك في محامل الذراع، وبالتالي فإنه على ذراع التوصيل أن يقاوم هذه الإجهادات وأن يكون خفيف الوزن وأن يحقق خواص انزلاق جيدة للمحامل. يصنع الذراع عادة من الفولاذ الجيد أو من سبائك الفولاذ مع الكروم والنيكل.

يتكون ذراع التوصيل من جسم الذراع ROD ومن النهاية الصغرى مع جلبتها (النهاية المكبسية)، وأخيراً من النهاية الكبرى للذراع مع الغطاء والتي تصنع من قطعتين وبأبعاد أقل من قطر الأسطوانة ليسهل إخراجها مع الذراع من الأعلى عبر الأسطوانة، وهناك طبعاً مسامير الربط اللولبية، الشكل (7-1).



الشكل (1-7): مكونات ذراع التوصيل

يركب إصبع المكبس داخل النهاية الصغرى للذراع وتحتوي هذه النهاية على ثقب خاص يؤمن وصول الزيت إلى محور المكبس، ويجب أن يكون الخلو بين النهاية الصغرى والسطح الداخلي للمكبس بحدود 1-3mm لكي نسمح للمكبس أن يأخذ وضعه الصحيح داخل الأسطوانة، وحتى لا يؤدي التمدد الحراري أو تفاوت أبعاد التشغيل إلى ملامسة المكبس لسطح الأسطوانة في وضع مائل.

أما النهاية الكبرى للذراع فتترابط مع المسند المتحرك في العمود المرفقي، وتصنع من نصفين، حيث يسمى الجزء السفلي للنهاية بالغطاء، ويثبت القسمان بمسامير ملولبة تتحمل الإجهادات الحرارية. تحتوي النهاية الكبرى على قشرة برونزية مكونة من

قطعتين مشابھتين تماماً لنصفي النهاية الكبرى التي تحتوي على أخدود من الداخل يؤمن وصول الزيت بينها وبين مرفق العمود المرفقي .

أما مقطع ساعد الذراع فيكون على شكل I ويمتاز هذا المقطع بمقاومة عالية للانحناء.

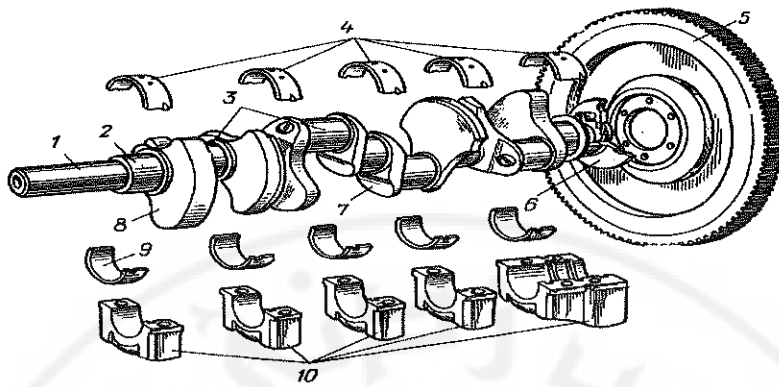
3-5- العمود المرفقي CRANKSHAFT :

يعمل العمود المرفقي على تلقي القوى من ذراع التوصيل خلال الشوط العامل ويحولها إلى عزم دوراني يتم نقله إلى القابض، وتأمين حركة المكابس في بقية الأشواط، وكذلك يؤمن تشغيل بعض الأجهزة الملحقة في المحرك وتثبت عليه الحدافة.

يتعرض العمود المرفقي إلى إجهادات انحناء تتعلق بمقدار قطره والبعد بين محامله، وكذلك لإجهادات التواء تتعلق بمقدار طوله وقطره، وإلى احتكاك حادث في مواقع المحامل، لهذا يصنع العمود المرفقي من الفولاذ المضاف إليه النيكل والكروم وتعالج سطوحه (وخاصة سطوح المرافق والمساند) حرارياً وتقسى لتؤمن القساوة والمتانة اللازمتين.

يتكون العمود المرفقي من مساند ثابتة CRANK BEARING يرتكز عليها العمود وأخرى متحركة تتركب عليها النهايات الكبرى لأذراع التوصيل، وغالباً ما تكون المساند المتحركة مجوفة لتخفيف قوى العطالة الناتجة من الكتل الدوارة، وبغرض تزييت المحامل فإنه يتقّب العمود المرفقي من الداخل ليكون مجرى للزيت المدفوع بواسطة مضخة الزيت والمتجه إلى المحامل المختلفة، الشكل (8-1) .

أخيراً تتصل الحدافة مع العمود المرفقي حيث تعمل على تخزين الطاقة من الشوط الفعال لتقدمها خلال بقية الأشواط وبذلك يتحقق هدوء واتزان في دوران المحرك، ويثبت فيها أيضاً الترس الخاص ببدء التشغيل، ويحدد عليها علامات ضبط الصمامات وضبط الإشعال ويركب داخلها القابض، وتصنع عادة من الفولاذ أو من حديد الزهر الرمادي.



الشكل (1-8): مكونات العمود المرفقي

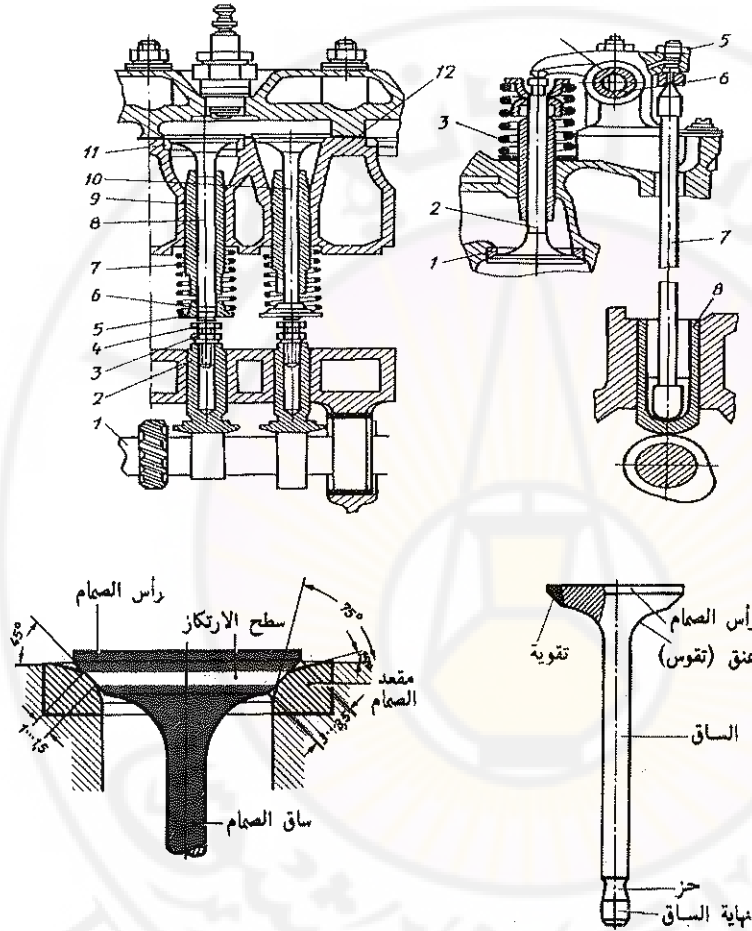
3-6 آلية توقيت الصمامات TIMING MECHANISM :

إن الوظيفة الرئيسية لآلية توقيت الصمامات هي السماح لمزيج الوقود والهواء (محركات البنزين) أو الهواء فقط (محركات الديزل) بالدخول إلى أسطوانة المحرك وكذلك السماح لغازات الاحتراق بالخروج منها في التوقيت الصحيح، مع ملاحظة أن فتح وإغلاق الصمامات لا يتم تماماً عند النقاط الميتة، ويحدد مسار حركة الصمامات بواسطة عمود الكامات CAMSHAFT الواقع فوق رأس الأسطوانة في المحركات الحديثة ويتم تشغيل هذه الصمامات بواسطة رافعة متأرجحة، الشكل (1-9) .

تزود كل أسطوانة من أسطوانات المحركات الرباعية الشوط الحديثة بأربعة صمامات. صمامان يسمحان بدخول الشحنة ويدعيان بصمامي السحب INDUCTION VALVES، وصمامان آخران لطرد نواتج الاحتراق EXHAUST VALVES .

يتكون الصمام من رأس الصمام وساعد الصمام، ويعمل الازدواج المخروطي الذي يشكله رأس الصمام على ضبط تمرکز الصمام ويحقق إحكاماً جيداً ضد تسرب الغازات، وتبلغ عادة زاوية مقعد الصمام 45^0 ، أما ساعد الصمام فيساعد على توجيه الصمام ونقل الحرارة إلى دليل الصمام .

بغرض إدخال أكبر كمية ممكنة من المزيج إلى داخل الأسطوانة، ونظراً لكون سرعة دخول المزيج أقل من سرعة خروج غازات العادم فإن مقطع صمام الدخول يكون أكبر من نظيره في صمام العادم.



الشكل (9-1): آلية توقيت الصمامات

تتعرض الصمامات إلى حمولات ديناميكية كبيرة أثناء عملها (عند رجوعها إلى مقراتها)، وكذلك تتعرض إلى حمولات حرارية عالية إذ تصل درجة حرارة التشغيل

لصمام الدخول إلى 350°C ، أما لصمام العادم فتصل إلى 700°C مما قد يعرض الصمام للتآكل بالصدأ، كما يمكن أن يُجهَد ساق الصمام نتيجة احتكاكه مع دليله، لهذا كله تُخضع مواد الصمامات لاختبارات وتحت شروط قاسية (خاصة صمامات العادم) ليتمكنها مقاومة الاجهادات الحرارية والتآكل بالصدأ وتهيئة ناقلية حرارية عالية إلى جانب خواص تزييت عالية، ويتم تحقيق هذه الشروط باستخدام سبائك معدنية خاصة مثل سبائك الفولاذ المضاف إليه الكروم والنيكل والسيلكون.

نظراً لتعرض صمامات العادم في محركات الديزل لإجهادات حرارية عالية فإنها تصنع عادة جوفاء ويملاً 75% من الفراغ بأملاح الصوديوم القابل للانصهار ليقوم هذا السائل المنصهر بنقل الحرارة من رأس الصمام إلى الذراع نتيجة حركة الصمام الترددية، مما يؤدي إلى حصول تجانس حراري في الصمام بكامله.

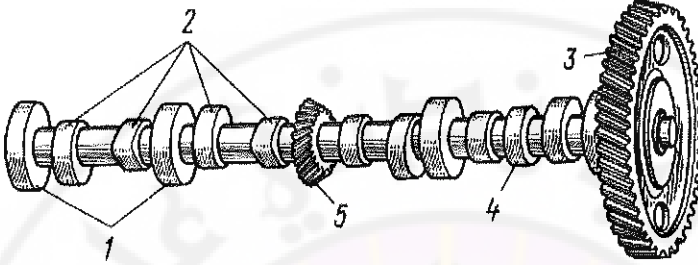
أما أدلة الصمامات فتعمل على توجيه حركة الصمامات كما تعمل على نقل الحرارة من الصمامات إلى رأس الأسطوانة، حيث يمكن أن تُشكّل هذه الأدلة في رأس الأسطوانات مباشرة، أو قد تُركب بحيث يمكن استبدالها، واهتراء هذه الأدلة (زيادة الخلو مع ساعد الصمام) يؤدي إلى زيادة استهلاك الزيت.

أخيراً تقوم نوابض الصمامات بإغلاقها بسرعة ويستعمل لهذه الغاية نابض وحيد أو اثنان متداخلان حيث يعمل النابض الثاني على منع سقوط الصمام العلوي داخل الأسطوانة والإضرار بالمحرك في حال حدوث كسر للنابض الأول.

3-7 عمود الكامات CAMSHAFT :

يعمل عمود الكامات على فتح الصمامات بالارتفاع والتوقيت الصحيحين، وكذلك ضبط عملية غلق هذه الصمامات، حيث يحدد شكل الحدبة مسار عمليات فتح وإغلاق صمامات الدخول والعادم. يحتوي عمود الكامات على مساند ارتكاز خاصة، وعلى مجموعة من الحدبات تتوزع على طول العمود المرفقي وحسب ترتيب عمل أسطوانات المحرك وحسب زوايا فتح وإغلاق الصمامات، وقد يزود عمود

الكامات بمسند خاص لإدارة مضخة الزيت، ووحدة خاصة أخرى لتشغيل مضخة الوقود (الميكانيكية)، الشكل (1-10).



الشكل (1-10): مكونات عمود الكامات

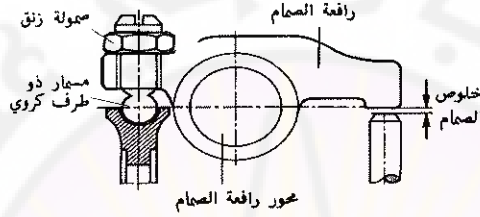
يتوضع عمود الكامات بصورة أفقية وبشكل مواز للعمود المرفقي ويركب أحياناً على رأس الأسطوانة ويدار بواسطة سلسلة خاصة أو سير، ويجب أن تبقى هذه السلسلة مشدودة بشكل صحيح. يصنع عمود الكامات من الفولاذ الجيد والمقسى.

تعمل الروافع القلابية على نقل الحركة من عمود الكامات إلى الصمامات وتصنع من الفولاذ وتصلد أسطح تلامسها مع الصمام، وتركب هذه الروافع بحيث تكون مرتكزة في إحدى نهايتها.

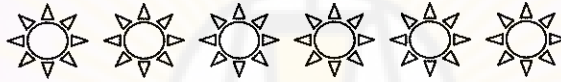
أخيراً نقول إنه ونتيجة لارتفاع درجة حرارة الصمام فإنه سيتمدد وبالتالي وللحصول على إغلاق محكم وصحيح حتى في الحالة الساخنة، فإنه يترك عادة خلوص بين ساق الصمام والرافعة القلابية (المتأرجحة) يعتمد هذا الخلوص على تصميم الصمام وطريقة تبريده، ويتراوح بحدود 0.1-0.4mm ويزيد خلوص صمام العادم عن خلوص صمام الدخول. في حال كون الخلوص صغيراً فإن الصمام لن يغلق تماماً في الحالة الساخنة مما قد يؤدي إلى تسرب هواء غير نقي من خلال صمام العادم ويقل الانضغاط وتتنخفض استطاعة المحرك، وقد يتمكن اللهب من الوصول إلى المفحم من خلال صمام الدخول واحتراق المفحم. بالمقابل فإن الخلوص الكبير للصمام سيؤدي إلى عدم فتحه

بطول الفترة اللازمة وبالانتساع الكافي، مما قد يضعف شحن الأسطوانات ويقلل من قدرة المحرك مع زيادة ضجيج عمل الصمامات، ويمكن القول: إن الخلوص القليل أكثر خطراً من الخلوص الكبير .

يتم ضبط خلوص الصمامات في الحالة الباردة وبحيث يكون المكبس عند T.D.C وفي نهاية شوط الانضغاط، الشكل (1-11).



الشكل (1-11): آلية ضبط الصمام





الفصل الثاني

الدورات الحرارية النظرية والفعلية في محركات
الاحتراق الداخلي والوقود وتفاعلات الاحتراق



أولاً: الدورات الحرارية النظرية في محركات الاحتراق الداخلي

تقوم الآلة الحرارية بتحويل الطاقة الحرارية المختزنة في الوقود إلى عمل ميكانيكي مفيد، وتبعاً لقانون الترموديناميك المتعلق بصعوبة تحويل كامل القدرة الحرارية إلى عمل مفيد في الآلة الحرارية النظرية بسبب ضياع جزء من هذه الطاقة في المنبع البارد، كذلك الأمر في المحرك الحقيقي حيث تكون كمية الحرارة المتحولة إلى عمل مفيد أقل من الحرارة المتحولة في الآلة النظرية بسبب وجود ضياعات إضافية بين قطع المحرك المختلفة، وهذا كله يؤول إلى ضرورة دراسة الدورات النظرية التي تعمل بموجبها المحركات ومقارنتها مع الدورات الحرارية الفعلية، وتحديد نسبة الضياع الحادث في الطاقة الحرارية الكامنة للوقود عند تحولها إلى طاقة ميكانيكية، والبحث عن السبل التي من شأنها تحسين الاستفادة من هذه الحرارة المبذولة.

نفترض عند دراسة الدورات الترموديناميكية عدم وجود أي ضياعات حرارية عدا تلك الضياعات الحادثة في المنبع البارد، بمعنى أنه عند دراسة هذه الدورات تُعتمد الفرضيات التالية:

أ- توجد في أسطوانة المحرك كمية محددة من الشحنة (خليط من الهواء والوقود) ولا تتغير هذه الكمية مع تغير أشواط الدورة، أي أننا لا نأخذ بالاعتبار القدرة المصروفة خلال شوطي السحب والطرْد، والضياعات المترافقة نتيجة شحن الأسطوانة بشحنة جديدة وطرْد الغازات المحترقة منها.

ب- يبقى التركيب الكيميائي للشحنة (المزيج العامل) ثابتاً خلال مراحل الدورة كلها ويستثنى من ذلك طبعاً عملية الاحتراق التي يستعاض عنها بعملية إعطاء حرارة وهمية. هذا يؤول إلى إغفال الضياعات الحرارية الفعلية الحادثة أثناء احتراق الوقود في المحرك (أي أن عملية نقل الحرارة إلى الشحنة تتم من خارج المحرك وفي مرحلة معينة من مراحل الدورة).

ت- تتم عمليتي الانضغاط والتمدد بشكل أديباتي ADIABATIC بدون حدوث أي تبادل حراري مع الوسط الخارجي، مما يعني إهمال الضياعات الحرارية الحادثة خلال شوطي الانضغاط والتمدد عبر جدران الأسطوانة.

ث- تبقى الحرارة النوعية للجسم العامل ثابتة ولا تتأثر بتغير درجات الحرارة خلال مراحل الدورة.

أولاً: الدورات الحرارية النظرية في محركات الاحتراق الداخلي

1- الدورة العامة :

تساعدنا الفرضيات السابقة في تسهيل دراسة الدورة الترموديناميكية والتي سيتبين لنا لاحقاً أن مردودها الحراري أعلى بكثير مقارنة مع الدورة الحقيقية، ولكن تتبع أهمية دراسة الأولى والنتائج التي سنحصل عليها أنها تفسر تأثير العوامل الترموديناميكية على كيفية تحول الطاقة الحرارية إلى عمل ميكانيكي مفيد. أخيراً نقول: تختلف الدورات التي تعمل بموجبها محركات الاحتراق الداخلي بالطريقة التي يتم فيها إعطاء الحرارة إلى الجسم العامل ونبذها في الم منبع البارد، ولكن وقبل دراسة وتحليل هذه الدورات وكنموذج على الدورات الحقيقية سندرس الدورة العامة GENERALISED CYCLE المبينة على الشكل (2-1) والتي تتألف من عمليتين متتاليتين يتم فيهما إعطاء الحرارة تحت حجم ثابت 'CZ' أولاً، ومن ثم تحت ضغط ثابت 'ZZ'، وكذلك يتم فيها نبذ الحرارة تحت حجم ثابت 'bf'، وتحت ضغط ثابت 'fa'، وأخيراً هناك عمليتان أديباتيتان هما الانضغاط 'ac' والتمدد 'zb'.

قبل الشروع في تقييم اقتصادية الدورة الترموديناميكية من خلال المردود الحراري THERMAL EFFICIENCY، وكذلك البحث في متوسط الضغط الفعال لهذه الدورات لابد من التعرف على المفاهيم الأساسية الآتية:

أ- نسبة الانضغاط COMPRESSION RATIO: وهي نسبة الحجم في

بداية ونهاية عملية الانضغاط:

$$\varepsilon = V_a / V_c$$

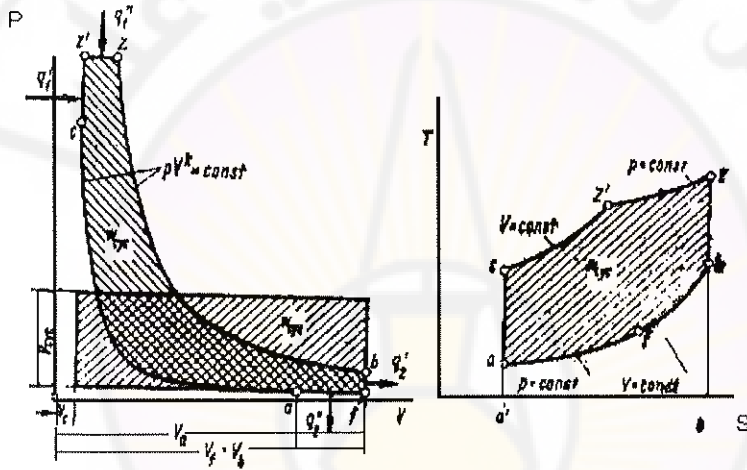
ب- نسبة ازدياد الضغط تحت حجم ثابت PRESSURE RATIO: وهي نسبة ضغط الدورة الأعظمي إلى الضغط في نهاية شوط الانضغاط (نسبة ضغطي بداية ونهاية عملية الاحتراق):

$$\lambda = P_z/P_c = P_z/P_c$$

ت- نسبة التمدد الأولي تحت ضغط ثابت (نسبة الانقطاع) CUT-OFF RATIO:

وهي نسبة الحجمين في النقطتين z و c:

$$\rho = V_z/V_{z'} = V_z/V_c$$



الشكل (2-1): الدورة العامة للمحركات الترددية

ث- نسبة التمدد الأساسية MAIN EXPANSION RATIO:

وهي نسبة الحجمين في النقطتين z و b:

$$\delta = V_b/V_z$$

ج- نسبة تغير الحجم تحت ضغط ثابت: وهي نسبة الحجمين في النقطتين f و

a:

$$\rho' = V_f/V_a = V_b/V_a$$

مما سبق يمكن أن نعبر عن كمية الحرارة المعطاة للدورة ولكل 1Kg من الشحنة على الشكل:

$$q_1 = q_1' + q_1''$$

$$/2-1/ \quad q_1 = C_v (T_z' - T_c) + C_p (T_z - T_z'); \text{ KJ/Kg}$$

أما كمية الحرارة (كقيمة مطلقة) المعطاة خارج الدورة ولكل 1Kg من الشحنة:

$$|q_2| = q_2' + q_2''$$

$$/2-2/ \quad |q_2| = C_v (T_b - T_f) + C_p (T_f - T_a); \text{ KJ/Kg}$$

وبالتالي نعرف الجودة-الكفاءة- الحرارية للدورة THERMAL EFFICIENCY بنسبة كمية الحرارة المتحولة إلى عمل ميكانيكي مفيد إلى كمية الحرارة الكلية المعطاة للدورة:

$$/2-3/ \quad \eta_t = (q_1 - |q_2|) / q_1 = 1 - [(T_b - T_f) + k(T_f - T_a)] / [(T_z' - T_c) + k(T_z - T_z')]$$

$C_v; \text{ KJ/Kg}$: السعة الحرارية للشحنة تحت حجم ثابت.

$C_p; \text{ KJ/Kg}$: السعة الحرارية للشحنة تحت ضغط ثابت.

$K = C_p / C_v$: أس الإجراء الأديباتي للهواء ADIABATIC INDEX.

بغرض التوصل إلى العلاقة الرياضية المحددة للجودة الحرارية لهذه الدورة لابد من دراسة الإجراءات المختلفة لهذه الدورة والتعبير عن درجات الحرارة الواردة في العلاقة /2-3/ بواسطة درجة الحرارة عند بداية عملية الانضغاط T_a :

* الإجراء الأديباتي ac وحيث $T.V^{K-1} = ct$

$$T_c = T_a (V_a / V_c)^{K-1} = T_a . \epsilon^{K-1}$$

* الإجراء الإيزوخوري cz' وحيث $P/T = ct$

$$P_c / T_c = P_z' / T_z' \quad \text{or} \quad T_z = T_c . P_z / P_c = T_a . \epsilon^{K-1} . \lambda$$

* الإجراء الأيزوباري zz' وحيث $V/T = ct$

$$V_z / T_z = V_z' / T_z' \quad \text{or} \quad T_z = T_z' . V_z / V_z' = T_a . \epsilon^{K-1} . \lambda . \rho$$

* الإجراء الأديباتي zb وحيث $T.V^{K-1} = ct$

$$T_b = T_z (V_z / V_b)^{K-1} = T_a . \epsilon^{K-1} . \lambda . \rho (1/\delta)^{K-1}$$

وحيث أن:

$$\varepsilon/\delta=(V_a/V_c).(V_z/V_b)=\rho/\rho'$$

$$T_b=T_a.\lambda.\rho(\varepsilon/\delta)^{k-1}$$

$$\text{Or: } T_b=T_a.\lambda.\rho(\rho/\rho')^{k-1}$$

* الإجراء الأيزوباري fa وحيث $V/T=ct$:

$$T_f=T_a.V_f/V_a=T_a.\rho'$$

نلاحظ من العلاقات السابقة أننا استطعنا تعريف درجات الحرارة عند نقاط الدورة المختلفة بدلالة T_a درجة الحرارة عند بداية شوط الانضغاط، ومنه بالتعويض في العلاقة /3/ نجد:

$$\eta_t=1-\{ \rho' [\lambda(\rho/\rho')^k-1]+k(\rho'-1) \} / \{ \varepsilon^{k-1} . [\lambda-1+k\lambda(\rho-1)] \}$$

* - مفهوم متوسط الضغط للدورة العامة P_{cyc} :

عند المقارنة بين محركات مختلفة الحجم يتم عادة تقدير العمل الناتج عن الدورة منسوباً إلى حجم الشحنة الداخلة إلى الأسطوانة ، أي:

$$W_{cyc}/(V_{max}-V_{min})$$

V_{max} - الحجم الأعظمي الذي تشغله الشحنة عند نهاية شوط التمدد.

V_{min} - الحجم الأصغري الذي تشغله الشحنة عند نهاية شوط الانضغاط.

وتسمى هذه النسبة بمتوسط الضغط للدورة الحرارية ، والذي هو عبارة عن ضغط اعتباطي ثابت إذا أثر على المكبس باستمرار لإنتاج عملاً مساوياً لعمل الدارة عند انتقال المكبس بين النقطتين الحديتين لمساره .

مما سبق نكتب:

$$P_{cyc}=W_{cyc}/(V_{max}-V_{min})=(\eta_t.q_1)/(V_f-V_c)$$

وحيث أن :

$$q_1=C_v. T_a.\varepsilon^{k-1}[\lambda-1+k\lambda(\rho-1)];j/Kg$$

$$V_f-V_c=V_c[(V_f/V_c)-1]=V_c[(V_f/V_a).(V_a/V_c)-1] \\ =V_a/\varepsilon(\varepsilon\rho'-1)$$

ونعلم أن:

$$C_v=R/(K-1)$$

$$P_a = (R \cdot T_a) / V_a \quad \text{or} \quad T_a / V_a = P_a / R$$

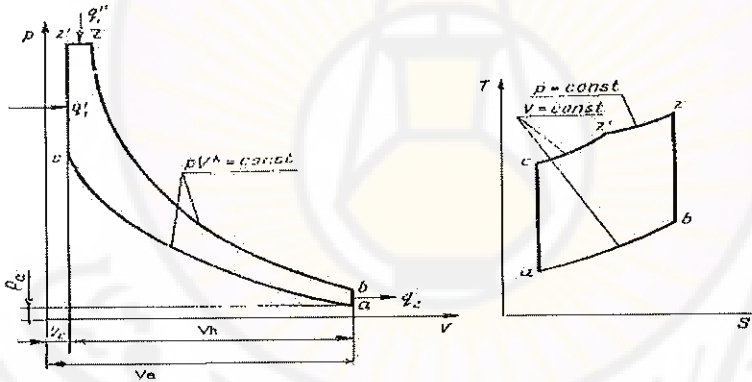
ومنه نجد الصيغة النهائية المعبرة عن قيمة متوسط الضغط للدورة العامة على الشكل

$$/2-5/ \quad P_{cyc} = (P_a \cdot \epsilon^k \cdot \eta_v) \cdot [\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)] / [(K - 1) \cdot (\epsilon\rho' - 1)], N/m^2$$

سنقوم الآن بدراسة بقية الدورات الترموديناميكية النظرية والتي هي عبارة عن حالات خاصة من الدورة العامة والتي تعمل بموجبها المحركات الحقيقية ذات التغذية الطبيعية، وسنلاحظ أن هناك اختلافاً في طبيعة إعطاء الحرارة لهذه الدورات إلا أن الحرارة المعطاة خارج المحرك ستكون تحت حجم ثابت في جميع الأحوال .

1-1 الدورة المزدوجة (المختلطة): DUEL-COMBUSTION CYCLE

ما يميز هذه الدورة أن إعطاء الحرارة يتم في البداية تحت حجم ثابت q'_1 ، ثم تحت ضغط ثابت q''_1 ، وبذلك تكون كمية الحرارة المعطاة للدورة كما هو مبين على الشكل (2-2):



الشكل (2-2): الدورة المزدوجة

$$q_1 = q'_1 + q''_1$$

أما نبذ الحرارة فيتم تحت حجم ثابت كما هو الحال لباقي الدورات الخاصة، بمعنى أنه لا يوجد أي تغير في الحجم تحت ضغط ثابت :

$$V_b = V_a = V_f \rightarrow \rho' = 1$$

بالرجوع إلى العلاقتين /2-4/ و /2-5/ المعبرتين عن كل من المردود الحراري ومتوسط الضغط للدورة العامة والتعويض بالعلاقات السابقة المعبرة عن خصائص هذه الدورة نحصل على علاقة المردود الحراري ومتوسط الضغط للدورة المزدوجة على الشكل:

$$\begin{aligned} \eta_t &= 1 - \{ [\lambda \rho^k - 1] \} / \{ \varepsilon^{k-1} \cdot [\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)] \} \\ P_{cyc} &= (P_a \cdot \varepsilon^k \cdot \eta_t) \cdot [\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)] / [(K - 1) \cdot (\varepsilon - 1)], N/m^2 \end{aligned}$$

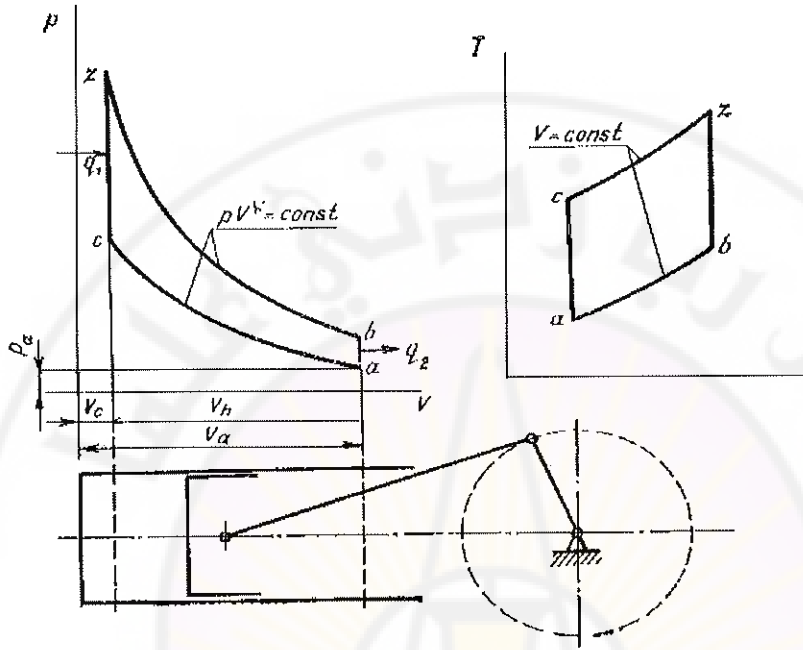
- من الواضح من العلاقة /2-6/ أن المردود الحراري للدورة المختلطة يزداد (زيادة الاستفادة من الحرارة المقدمة للدورة) مع زيادة قيمة نسبة ازدياد الضغط تحت حجم ثابت λ ، أي بتخصيص جزء من الحرارة ليعطى للدورة تحت حجم ثابت، ويبلغ المردود قيمته العظمى عندما تكون $\rho = 1$ ، بكلمة أخرى يزداد المردود الحراري للدورة مع زيادة λ وبقاء ρ ثابتة، وذلك بسبب الزيادة في كمية الحرارة الإجمالية المعطاة للدورة. كما أن تأثير العاملين ε و k على المردود الحراري للدورة المزدوجة هو نفسه الذي سيلاحظ في الدورتين اللاحقتين (أوتو و ديزل)، أي أن المردود يزداد مع زيادة هذين العاملين.

2- فيما يتعلق بمتوسط الضغط للدورة، العلاقة /2-7/ وبثبات قيمة ρ وتغير قيمة λ فقط فإن الزيادة في قيمة ε ستؤدي إلى زيادة متوسط الضغط للدورة، أما إذا كانت ρ متغيرة وبقيت ε ثابتة فإن تأثير زيادة قيمة ρ ستقودنا إلى زيادة في قيمة متوسط الضغط للدورة.

تعتبر الدورة المزدوجة نموذجاً للدورة الحقيقية في المحركات ذات الاشتعال بالضغط.

2-1 دورة إعطاء الحرارة تحت حجم ثابت (دورة أوتو):

THE CONSTANT VOLUM(OTTO) CYCLE



الشكل (2-3) : دورة أوتو

يتم إعطاء الحرارة في هذه الدورة تحت حجم ثابت فقط، وبالتالي وبالمقارنة مع الدورة العامة نجد أنه لا يوجد أي تمدد أولي للشحنة تحت ضغط ثابت:

$$V_z = V_z = V_c \rightarrow p = 1$$

وكذلك فإنه لا يوجد أي تغير في الحجم تحت ضغط ثابت :

$$V_b = V_a = V_f \rightarrow p' = 1$$

بالرجوع أيضا إلى العلاقتين /2-4/ و /2-5/ المعبرتين عن كل من المردود الحراري ومتوسط الضغط للدورة العامة والتعويض بالعلاقات السابقة المعبرة عن خصائص هذه الدورة نحصل على علاقة المردود الحراري ومتوسط الضغط لدورة أوتو على الشكل:

$$\eta_t = 1 - \epsilon^{k-1} \quad \text{و} \quad P_{cyc} = (P_a \cdot \epsilon^k \cdot \eta_t) \cdot [\lambda - 1] / [(K - 1) \cdot (\epsilon - 1)], \text{N/m}^2$$

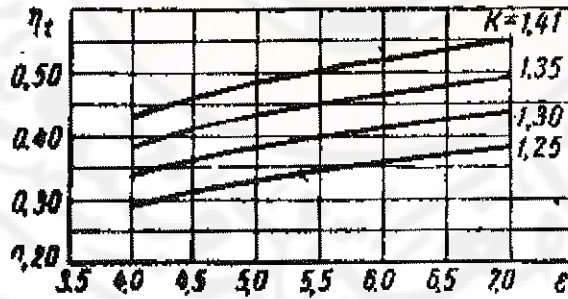
مناقشة:

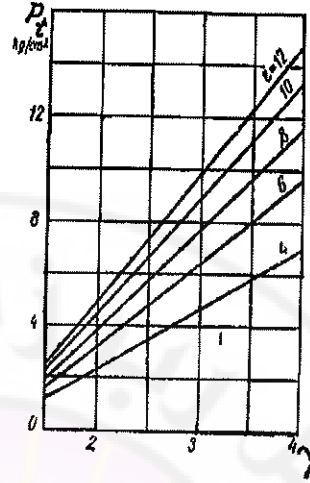
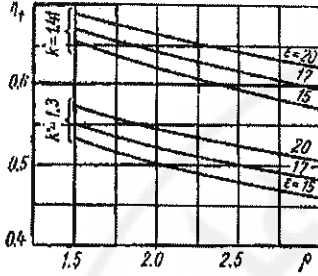
1- تدل العلاقة $\epsilon/2-8$ إلى أن مردود دورة أوتو يتعلق بمعاملين أساسيين فقط هما ϵ ، وهي أحد أهم عوامل تصميم المحرك الأساسية، وكذلك بمعامل الأديبات k المتعلق بطبيعة الجسم العامل في الأسطوانة، الشكل (4-2)، وعملياً يمكن التحكم بقيمة نسبة الانضغاط ϵ مع ضرورة ملاحظة أنه في محركات الاشتعال بالشرارة (البنزين والغاز) من غير الممكن رفع نسبة الانضغاط عن حد معين تجنباً لحدوث ظاهرة سلبية في المحرك تدعى بظاهرة الصفع.

2- يتناسب متوسط الضغط للدورة مع قيمة الضغط في بداية شوط الانضغاط P_a الذي يؤثر بشكل ملموس على مقدار عمل الدورة وبالتالي على استطاعة المحرك. كما أن زيادة نسبة الانضغاط ϵ تؤدي أيضاً إلى زيادة متوسط الضغط لدورة أوتو، إلا أن هذه الزيادة تكون أبطأ من زيادة المردود الحراري.

تشير العلاقة أيضاً إلى تأثير نسبة ازدياد الضغط تحت حجم ثابت λ على قيمة متوسط الضغط للدورة، حيث تزداد قيمة متوسط الضغط مع زيادة λ .

تعتبر دورة أوتو أنموذج للدورات الفعلية التي تتم في المحركات ذات الاشتعال بالشرارة، كما يمكن استخدام هذه الدورة لتحليل وحساب الدورة الحقيقية في محركات الاشتعال بالانضغاط ذات السرعة العالية جداً.





الشكل (2-4): تأثير ε و k و λ و ρ على مردود ومتوسط الضغط لدورة أوتو ولدورة ديزل

3-1 دورة إعطاء الحرارة تحت ضغط ثابت (دورة ديزل):

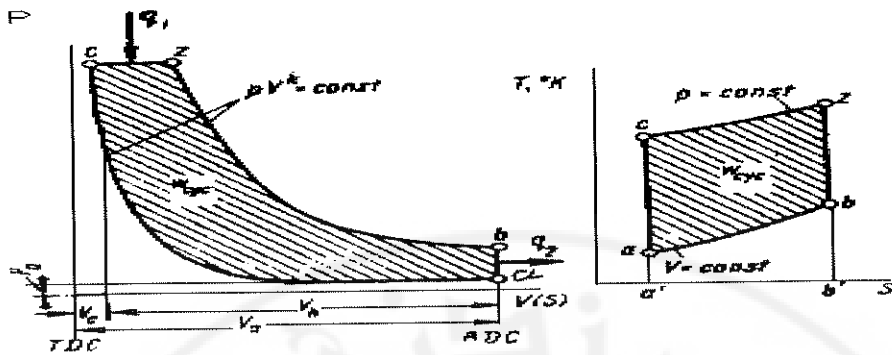
THE CONSTANT PRESSURE (DIESEL) CYCLE

تختلف هذه الدورة عن الدورة المزدوجة بأن الضغط يبقى ثابتاً خلال فترة إعطاء الحرارة، وبالرجوع إلى الدورة العامة نلاحظ أنه في دورة إعطاء الحرارة تحت ضغط ثابت لا يوجد أي زيادة في الضغط تحت حجم ثابت، الشكل (2-5):

$$P_z = P_z = P_c \rightarrow \lambda = 1$$

وكذلك فإنه لا يوجد أي تغير في الحجم تحت ضغط ثابت :

$$V_b = V_a = V_f \rightarrow \rho' = 1$$



الشكل (2-5): دورة ديزل

بالرجوع أيضاً إلى العلاقتين /2-4/ و /2-5/ المعبرتين عن كل من المردود الحراري ومتوسط الضغط للدورة العامة والتعويض بالعلاقات السابقة المعبرة عن خصائص هذه الدورة نحصل على علاقة المردود الحراري ومتوسط الضغط لدورة ديزل على الشكل:

$$\begin{aligned} /2-10/ \quad \eta_t &= 1 - (\rho^k - 1) / \{ \varepsilon^{k-1} \cdot [k(\rho - 1)] \} \\ /2-11/ \quad P_{cyc} &= (P_a \cdot \varepsilon^k \cdot \eta_t) \cdot k(\rho - 1) / [(K - 1) \cdot (\varepsilon - 1)], \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

مناقشة:

1- تعتمد قيمة المردود الحراري لدورة ديزل على نسبة التمدد الأولي تحت ضغط ثابت (نسبة الانقطاع) ρ ، الشكل (2-4)، بالإضافة إلى كل من نسبة الانضغاط ε وعامل الأديبات k ، حيث يكون تأثير كل من ε و k مشابه تماماً لما هو عليه الحال في دورة أوتو، ولكن زيادة نسبة الانقطاع ρ تؤدي إلى انخفاض قيمة المردود الحراري لدورة ديزل، مع ملاحظة أن قيمة ρ تتعلق بكمية الحرارة المعطاة مباشرة وبالتالي فإنها تتعلق أيضاً بمقدار عمل الدورة، ومن هنا نستنتج أن زيادة عمل الدورة يؤدي إلى انخفاض في المردود الحراري، وتبلغ قيمة هذا المردود حداً الأعظمي عندما تبلغ كمية الحرارة المعطاة تحت ضغط ثابت حداً الأدنى.

2- يتناسب متوسط الضغط لدورة ديزل طرداً مع الضغط في بداية شوط الانضغاط P_a كما هو الحال لأي دورة أخرى، كما أن زيادة قيمة هذا الضغط الوسطي عن طريق تأثير نسبة الانضغاط ϵ تكون أبطأ من الزيادة الملحظة في المردود الحراري، هذا مع ضرورة بقاء كمية الحرارة المعطاة ثابتة أثناء الدورة.

3- من الملاحظ أن زيادة قيمة نسبة الانقطاع p سيزيد من قيمة متوسط الضغط للدورة، ولكن ذلك سيؤول لانخفاض في قيمة المردود الحراري.

تعمل بموجب هذه الدورة محركات الاشتعال بالانضغاط التي من الممكن أن يتم التحكم في عملية الاحتراق بحيث تجري تحت ضغط ثابت تقريباً.

ثانياً: الدورات الحرارية الفعلية في محركات الاحتراق الداخلي :

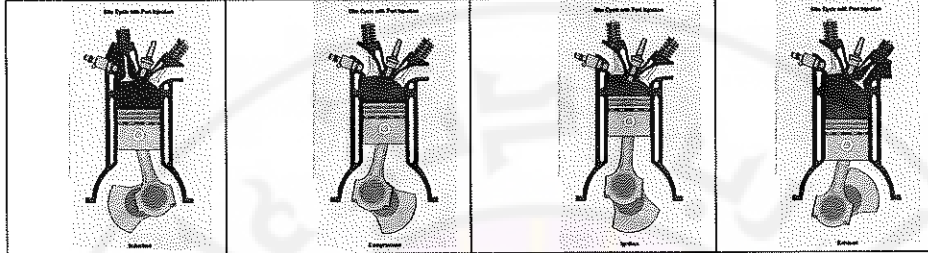
يتم احتراق الشحنة في محركات الاحتراق الداخلي داخل الأسطوانة وبترافق هذا الاحتراق مع بعض الضياعات في الطاقة الحرارية للوقود، ونعلم أن هذا الضياع لا يأخذه قانون الترموديناميك بعين الاعتبار، حين يفرض أن الحرارة المفقودة كلها تترد خارج المحرك عند نهاية الدورة، وكذلك وبعد إتمام عملية الاحتراق في المحركات الفعلية وتحول جزء من الطاقة الحرارية للوقود إلى عمل ميكانيكي لا بد من طرد نواتج الاحتراق وتحضير شحنة جديدة قابلة للاحتراق خلال فترة زمنية محددة مما يؤدي إلى صرف القدرة لتحقيق ذلك.

يرافق عمليات الضغط والتمدد داخل أسطوانة المحرك الفعلي تبادل حراري مع الوسط الخارجي من خلال جدران الأسطوانة ووسيط التبريد من جراء الحرارة العالية الناتجة من احتراق الوقود.

إن ومما سبق يمكننا القول إن هناك اختلافاً بين الدورة الحرارية الفعلية لهذه المحركات مقارنة مع الدورة النظرية، أي أن الجودة الحرارية للدورة الفعلية ستكون أقل من الجودة الحرارية للدورة النظرية.

1- مبدأ عمل محركات الاحتراق الداخلي الترددية:

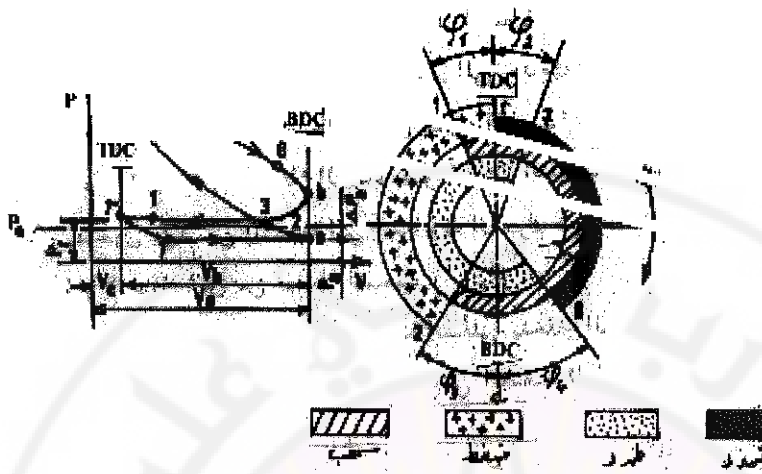
تتحقق الدورة الحرارية في محركات الاحتراق الداخلي الترددية رباعية الأشواط خلال دورتين للعمود المرفقي أو أربعة أشواط للمكبس وسنتناول فيما يلي شرحاً موجزاً لهذه الأشواط الشكل (2-6):



الشكل (2-6): الأشواط الأربعة

1-1 شوط السحب INDUCTION STROKE :

تبدأ عملية التبادل الغازي في محركات الاحتراق الداخلي رباعية الشوط بطرد نواتج الاحتراق من الأسطوانة عن طريق صمام الطرد EXHAUST VALVE ويبدأ شوط السحب مع لحظة فتح صمام الدخول بواسطة آلية توقيت الصمامات (عند النقطة 1) والمكبس قرب النقطة الميتة العليا TDC، ويلاحظ أنه خلال هذه الفترة مازال هناك في غرفة الاحتراق جزء من نواتج احتراق الدورة السابقة (الغازات المتبقية) وبضغط أعلى بقليل من الضغط الجوي، ويبقى الصمام مفتوحاً خلال تحرك المكبس من TDC باتجاه BDC، ويلاحظ أنه وخلال تحرك المكبس باتجاه TDC أولاً ومن ثم يعكس اتجاهه متحركاً نحو الأسفل، فإن سرعة المكبس سوف تزداد وسينخفض ضغط الغازات داخل الأسطوانة ليبلغ $0.01-0.03 \text{ MN/m}^2$ عن الضغط داخل مجمع السحب وذلك من جراء تشكل تخلخل جزئي داخل الأسطوانة، وبتأثير فرق الضغط الحاصل ستمتلئ الأسطوانة بشحنة جديدة قابلة للاحتراق مكونة من مزيج الهواء وأبخرة الوقود.



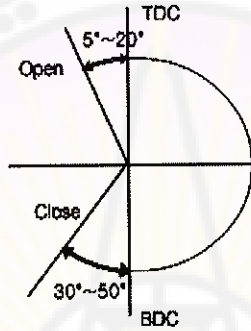
الشكل (2-7): الرسم البياني لشوطي السحب والطرء والرسم الدائري لتوقيت الصمامات

بغرض سحب أكبر كمية ممكنة من الشحنة إلى داخل الأسطوانة فإن عملية السحب تستمر أكثر من نصف دورة من دورات العمود المرفقي، أي يبقى صمام الدخول مفتوحاً حتى بعد وصول المكبس إلى BDC (النقطة 2) وبذلك سيتم تحسين عملية ملء الأسطوانة بشحنة جديدة، ويمثل الخط (1-r-a-2) شوط السحب. يكون الضغط داخل الأسطوانة خلال هذا الشوط بحدود 0.7-0.9 ضغط جوي وتصل درجة حرارة المزيج إلى 350°K من جراء ملاصقة المزيج لبقايا الغازات المحترقة. نظرياً تكون كمية الشحنة الداخلة إلى الأسطوانة أكبر ما يمكن في حال توفر الشروط الآتية:

- أ- تحرك المكبس ببطء شديد
- ب- عدم وجود أي غازات متبقية من عملية الاحتراق للدورة السابقة.

ت- أن تكون مقاطع فتحات صمام الدخول أكبر ما يمكن.

ث- تساوي درجات حرارة سطوح التبادل الحراري (مجرى السحب والأسطوانة).
لو تحققت هذه الشروط مجتمعة لشغلت الشحنة حجم الأسطوانة كاملاً مع بلوغ المكبس BDC بظروف المحيط من درجة حرارة وضغط (T_0, P_0)، ولكن ذلك غير ممكن لتباين درجة حرارة سطوح التبادل الحراري والشحنة الجديدة، ووجود ضياع هيدروليكي ناتج عن مرور الشحنة من خلال مصفاة الهواء ومجرى السحب وجهاز التغذية وصمام التحكم بالوقود قبل وصولها إلى داخل الأسطوانة.



الشكل (2-8): شوط السحب

2-1 شوط الانضغاط COMPRESSION STROKE :

وجدنا أن عملية الانضغاط في الدورة النظرية تبدأ بتحريك المكبس من BDC باتجاه TDC، وتجري بدون حدوث تبادل حراري مع الوسط المحيط، أما في المحركات الفعلية فتعتمد هذه العملية على توقيت الصمامات وتكون العملية معقدة مع حدوث تبادل حراري مع المحيط، ويكون هذا التبادل الحراري متغير القيمة والاتجاه، مع وجود ظاهرة تبخر الوقود في حالة محركات البنزين .

إن ومن لحظة إغلاق صمام الدخول (النقطة 2) وبداية ضغط الشحنة من جراء تحريك المكبس باتجاه TDC فإن درجة حرارة الشحنة ترتفع استعداداً لاشتعالها ويتساوى الضغط داخل الأسطوانة مع ضغط المحيط الجوي عند النقطة (3).

تعتمد قيمة الضغط P_c في نهاية الشوط على نسبة الانضغاط ε وكمية الشحنة المتسربة من الأسطوانة إلى علبة المرفق، وعلى درجة التبادل الحراري مع الوسط المحيط، وأخيراً على الضغط الأولي للشحنة P_a .

بما أن عملية الاحتراق تستغرق فترة زمنية محددة، وبما أنه يفضل أن تتم عملية الاحتراق قرب النقطة الميتة العليا، فإن الشحنة عادة تشتعل قبل وصول المكبس إلى TDC (النقطة 4) بواسطة شرارة كهربائية تولدها شمعة الإشعال فتولد جبهة لهب تبدأ بالتحرك من شمعة الإشعال لتغطي كامل حجرة الاحتراق وتنتشر هذه الجبهة بسرعة تصل إلى 40-50m/s وترتفع بالتالي درجة الحرارة والضغط داخل حجرة الاحتراق.

يمثل شوط الانضغاط بالخط (2-3-4) وتسمى لحظة إعطاء الشرارة الكهربائية قبل وصول المكبس إلى TDC عند نهاية شوط الانضغاط بزاوية تسبق الاشتعال $IGNITION ADVANCE(\phi_{ign})$. تتراوح قيمة هذه الزاوية لمحركات البنزين عند السرعة والحمل الاسمي بين 20-25° c.a (درجة دوران العمود المرفقي)، حيث تكون هذه الزاوية مناسبة لعملية الاحتراق وتكون استطاعة واقتصادية المحرك أفضل ما يمكن، لأنه ومع زيادة هذه الزاوية فإن عملية الاحتراق ستبدأ مبكرة ويزداد الضغط ليبلغ قيمته العظمى قبل وصول المكبس إلى TDC وسينخفض العمل البياني مع تدهور استطاعة المحرك واقتصاديته، وبالمقابل عندما تكون هذه الزاوية (ϕ_{ign}) صغيرة جداً ستشتعل الشحنة بعد بلوغ المكبس TDC ليتم الاحتراق خلال شوط التمدد وبظروف ازدياد الحجم، ونتيجة للاحتراق المتأخر للشحنة ستتخفض اقتصادية واستطاعة المحرك وترتفع درجة حرارة نواتج الاحتراق خلال التمدد والطردي مما يؤدي إلى ارتفاع درجة سخونة أجزاء المحرك.

يتم اختيار أفضل القيم لزوايا تسبق الاشتعال تجريبياً على مقعد اختبري خاص. ويتم الاشتعال عادة عند زوايا تسبق بحدود 0-40° قبل وصول المكبس إلى TDC، ويتم تحديد (ϕ_{ign}) المناسبة تلقائياً بواسطة منظم يعمل بالقوة الطاردة المركزية. مثال عددي:

تكون سرعة انتشار جبهة اللهب بحدود 20-25m/sec عند الحمل الكامل، وقد تنخفض إلى 10m/sec في حالة الحمل الجزئي المنخفض، أي تعتمد سرعة الانتشار على مكونات الشحنة وحركتها الدوامية. لفهم العلاقة بين زاوية تسييق الاشتعال وسرعة دوران المحرك (أي تحديد التوقيت الزاوي لحدوث الشرارة) ندرس الحالتين التاليتين لمحرك يعمل عند:

1- سرعة دوران $n_1 = 1200 \text{ rpm}$ وتنتشر جبهة اللهب بسرعة 10m/sec .

2- سرعة دوران $n_1 = 4800 \text{ rpm}$ ، وعند الحمل الكامل وتنتشر جبهة اللهب بسرعة 20m/sec .

وذلك بفرض أن المسافة بين شمعة الاشتعال والمكبس 2cm للحالتين .

* الزمن الذي تستغرقه جبهة اللهب لقطع المسافة بين شمعة الإشعال والمكبس هو:

$$2\text{cm}/1000\text{cm/sec}=1/500 \text{ sec}$$

$$2\text{cm}/2000\text{cm/sec}=1/1000 \text{ sec}$$

* عدد دورات عمود مرفق المحرك في الثانية الواحدة للحالتين هو:

$$1200/60=20\text{rps}=(20*360^0)=7200^0\text{c.a}$$

$$4800/60=80\text{rps}=(80*360^0)=28800^0\text{c.a}$$

أي تعادل 7200 درجة (أو 28800 درجة للحالة الثانية) من درجات دوران العمود المرفقي، وبالتالي فإن زاوية دوران عمود المرفق في زمن قدره 1/500 sec و 1/1000 هي:

$$7200/500=14.4^0$$

$$28800/1000=28.8^0$$

هذا يعني أنه يجب حدوث الشرارة الكهربائية عند زاوية قدرها 14.4^0 قبل TDC.

نستنتج مما سبق أنه ومع زيادة سرعة دوران المحرك يجب تقديم الاشتعال والعكس بالعكس.

1-3 شوط الاحتراق والتمدد

COMBUSTION AND EXPANSION STROKE:

يبدأ هذا الشوط اعتباراً من لحظة اشتعال الشحنة عند النقطة (4) ويرتفع ضغط الشحنة بسرعة مع اقتراب المكبس من TDC ويستمر بالارتفاع حتى بعد أن يعكس المكبس

اتجاهه متحركاً بعيداً عن TDC. نتيجة للارتفاع الكبير في درجة الحرارة وضغط الشحنة وتمدد الغازات المحترقة فإن المكبس سيندفع بقوة باتجاه BDC وبذلك يتم تحول الطاقة الحرارية الناتجة من احتراق مزيج الوقود والهواء إلى عمل ميكانيكي عن طريق المكبس وذراع التوصيل والعمود المرفقي، ولهذا يسمى هذا الشوط بالشوط العامل أو شوط القوة (الشوط العامل) POWER STROKE ويمثل بالخط (4-5-z-6) .
يترافق شوط القدرة في المحركات الفعلية مع عدد من الظواهر التي تؤدي إلى اختلاف منحنى التمدد عن منحنى التمدد الأديباتي، من هذه الظواهر نذكر:

أ- انتقال الحرارة من الشحنة المحترقة إلى سطوح الأسطوانة وغطائها ومنها إلى الوسط المحيط عن طريق وسيط التبريد.

ب- استمرار عملية الاحتراق خلال المراحل الأولى لشوط القدرة.

ت- تسرب جزء من نواتج الاحتراق إلى علبة المرفق عن طريق أساور الإحكام.

ث- التفكك الحراري لجزيئات بعض نواتج الاحتراق (H_2O, CO_2) .

تستمر درجة حرارة الغازات في بداية شوط القدرة بالارتفاع نتيجة لاستمرار عملية الاحتراق حتى تبلغ قيمتها العظمى (T_z) بعد بلوغ الضغط قيمته العظمى (P_z) وتبدأ بعدها بالانخفاض بعد ازدياد حجم الغازات وسطوح التبريد مع ابتعاد المكبس عن TDC واقتراب عملية الاحتراق من نهايتها.

تبلغ قيمة الضغط خلال الشوط 50 ضغط جوي، وقد تصل درجة الحرارة إلى $1500k^0$ لينتهي الشوط لحظة فتح صمام العادم قرب BDC .

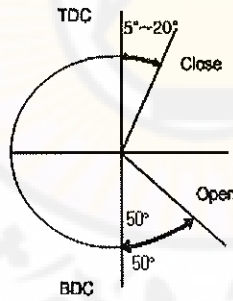
1-4 شوط الطرد (العادم) EXHAUST STROKE :

يبدأ الشوط بفتح صمام الطرد عند النقطة (6) وذلك قبل بلوغ المكبس BDC، وبما أن الضغط داخل الأسطوانة أكبر من ضغط الوسط المحيط فإنه ونتيجة لفرق الضغط داخل الأسطوانة والوسط المحيط فإن الغازات تندفع إلى الخارج وبسرعة حرجة تصل إلى $600-700m/s$ حتى بلوغ الضغط القيمة الحرجة، أي بكلمة أخرى فإننا نقول إن طرد نواتج الاحتراق يبدأ قبل وصول المكبس إلى BDC ويستمر حتى بعد أن يعكس

المكبس اتجاهه متحركاً من BDC إلى TDC حيث وخلال هذه المرحلة الثانية لعملية طرد نواتج الاحتراق يكون ضغط الغازات أعلى بقليل من ضغط الوسط المحيط. يغلق صمام الطرد بعد وصول المكبس إلى TDC وبعد أن يغير اتجاهه (النقطة 7)، والهدف من تأخير إغلاق صمام الطرد هو الاستفادة من عطالة نواتج الاحتراق للتخلص من أكبر كمية ممكنة من نواتج الاحتراق، وكذلك زيادة كمية الشحنة المسحوبة بالاستفادة من التخلخل الناتج عن استمرار تدفق النواتج إلى الخارج بسرعة عالية، ومن الضروري ملاحظة أنه وفي المراحل الأخيرة من هذا الشوط يكون صمام الدخول قد تم فتحه عند النقطة (1)، ويمثل الشوط بالمنحنى (6-b-1-r-7) .

من الضروري الإشارة هنا إلى أنه ومع وصول المكبس إلى BDC (بداية الشوط) يتم طرد حوالي 60-70% من نواتج الاحتراق ويكتمل طرد النواتج مع تحرك المكبس من BDC باتجاه TDC وتكون سرعة الغازات خلال هذه الفترة 200-250 m/s .

ترافق عملية طرد النواتج صوت حاد ناتج عن السرعة الكبيرة لجريان الغازات إلى خارج الأسطوانة، ولهذا لابد من تزويد مجرى غازات العادم بجهاز كاتم لتخفيض سرعة خروجها وبدون هذا الصوت الحاد.



الشكل (9-2): شوط العادم

من المهم جداً تحديد توقيت فتح صمام الطرد، فإذا تم فتح الصمام مبكراً فإن نسبة الضياع في عمل التمدد ستكون كبيرة، أما إذا تم الفتح متأخراً فإن نسبة الضياع في

عمل التمدد تتخفض ولكن سيزداد عمل المكبس المصروف على عملية الكسح، لهذا يتم اختيار لحظة فتح الصمام للمحرك تجريبياً وبدقة لأنه ومن خلال هذا التوقيت يتم تحديد العمل اللازم صرفه لكسح الأسطوانة من بقايا نواتج الاحتراق خلال تحرك المكبس من BDC إلى TDC ودرجة تحقيق هذا الكسح.

الآن ولنظام تحضير الشحنة الداخلي (محركات الديزل) فإن تحضير الشحنة القابلة للاحتراق يتم داخل أسطوانة المحرك. خلال شوط السحب يتم سحب الهواء الصافي فقط ومع اقتراب عملية ضغط الهواء من نهايتها يتم حقن وقود الديزل على شكل رذاذ دقيق بواسطة الحاقن INJECTOR وتحت ضغط عال قد يصل إلى 100 MN/m^2 مما يؤدي إلى انتشاره داخل أسطوانة المحرك وتبخره بمجرد تلامسه مع الهواء الساخن والمضغوط واختلاطه مع هذا الهواء وتشكل الشحنة القابلة للاحتراق، كما مبين على الشكل (2-10).

إذن يتم حقن الوقود قبل وصول المكبس إلى TDC بزاوية معينة تدعى زاوية تسبيق الحقن ϕ_{inj} حيث تكون درجة الحرارة أعلى من درجة حرارة الاشتعال الذاتي للوقود، أي أن الشحنة المتشكلة بهذه الطريقة ستشتعل نتيجة بلوغ درجة الحرارة والضغط حدود الاشتعال الذاتي.

لتجنب حدوث ظاهرة الاشتعال المبكر للشحنة يتم حقن الوقود في نهاية عملية الانضغاط وقد يستمر الحقن إلى ما بعد بدء الاشتعال وحتى المراحل الأولى من شوط التمدد.



الشكل (10-2): مراحل تحضير الشحنة واحتراقها في محركات الديزل

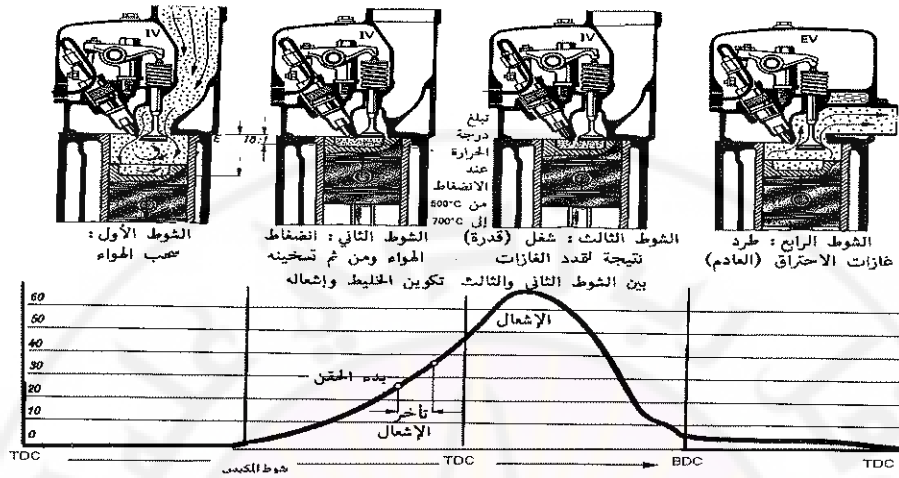
بعد انتهاء عملية الاحتراق تتمدد الغازات ثم تطرد نواتج الاحتراق خلال شوط العادم بعد أن تم الاستفادة من طاقتها الحرارية وتحويلها إلى عمل ميكانيكي مفيد. يبين الجدول (1-2) مقارنة فنية بين محركات البنزين ومحركات الديزل وفق بعض المؤشرات الأساسية :

مؤشر المقارنة	محرك بنزين	محرك ديزل
استهلاك الوقود	100%	70%
درجة حرارة الاشتعال الذاتي	450-550°C	350-380°C
متطلبات الوقود	مقاوم للاشتعال	قابل للاشتعال
نقطة الوميض	-25°C	أكثر من 55°C
نسبة الانضغاط	1:6-1:12	1:14-1:22
القيمة الحرارية	منخفضة	مرتفعة
درجة الحرارة النهائية للانضغاط	400-600°C	700-900°C
الحد الأقصى لضغط الاحتراق P_{max}	30-60 bar	65-90 bar
درجة الحرارة القصوى للاحتراق	2000-2500°C	2000-2500°C
درجة حرارة غازات العادم عند الحمل الكامل	700-1000°C	500-600°C
عزم الدوران عند الأحمال المنخفضة	منخفض	عالي

الجدول (2-1) مقارنة فنية بين مؤشرات محركات البنزين ومحركات الديزل

قد يصل الضغط في نهاية شوط الانضغاط لهذه المحركات إلى 50 ضغط جوي، ويعود السبب في كون قيم الضغط هنا أعلى مما هو عليه في محركات الاحتراق الداخلي البنزين إلى زيادة نسبة الانضغاط ϵ لتصبح حوالي ضعفي النسبة الموجودة لمحركات البنزين، الشكل (2-11). أخيراً نقول إن الصفح لا يظهر في محركات الديزل لأن

تحضير الشحنة يتم بعد ضغط الهواء، بينما نرى أن الشحنة في محركات البنزين يتم تحضيرها قبل ضغطها.



الشكل (2-11)

ثالثاً: الوقود وتفاعلات الاحتراق:

مقدمة:

تتحول الطاقة الحرارية المنتشرة أثناء التفاعل الكيميائي إلى طاقة ميكانيكية في محركات الاحتراق الداخلي، وحيث أن هذه التفاعلات الكيميائية الحادثة بين الوقود وأوكسجين الهواء تتم خلال فترة زمنية قصيرة جداً (أجزاء من الألف من الثانية)، فإن الضروري أن يتمتع الوقود المستخدم على المحرك بمجموعة من الخصائص نذكر منها:

- أ- تأمين إقلاع سريع وجيد للمحرك في مختلف درجات الحرارة المحيطة.
- ب- أن تتم عملية الاحتراق بشكل جيد دون ترك أي آثار لترسبات فحمية على سطوح حجرة الاحتراق أو أي مواد مؤذية أو مخلفات ضارة.
- ت- خلو الوقود من المواد المؤدية إلى زيادة الاحتكاك والتآكل بين جدران الأسطوانة والمكبس والمناطق المتحاكة الأخرى وعدم السماح بتشكيل الصدا.

ث- عدم زيادة الضغط ودرجة الحرارة خلال عملية الاحتراق عن الحدود المسموح بها يستخدم على محركات الاحتراق الداخلي مختلف أنواع الوقود السائلة والغازية والصلبة.

من أنواع الوقود الغازي GASEOUS FUELS يستخدم الغاز الطبيعي وغاز فحم الكوك وغاز الفرن العالي وغاز المخلفات.

أما الوقود السائل فهو الذي يستحصل غالباً من النفط الخام، ومن أهم أنواع هذه المجموعة البنزين (PETROL (GASOLINE، ووقود الديزل (DIESEL OIL (FUEL، وهناك زيت الغاز (GAS OIL والكيروسين (PARAPHINE (KEROSEN .

مع ملاحظة أنه يمكن تقسيم أنواع الوقود السائل إلى صنفين رئيسيين هما: السوائل السهلة التبخر والتي يمكن معاملتها معاملة الوقود الغازي ومن أهم عناصرها البنزين والكحول، والنوع الثاني: تلك السوائل التي تحقق ضمن المحرك ومن أهمها وقود الديزل.

أخيراً هناك الوقود الصلب الذي يمثله الفحم الحجري وفحم الكوك مع ملاحظة أن من أهم المشاكل التي اعترضت هذا النوع من الوقود طريقة تحطيم وتفتيت الوقود الصلب، بالإضافة إلى زيادة تآكل بطانة الأسطوانة وحلقات المكبس عند استخدامه. يمكن القول إن الوقود الغازي قلل من الصعوبات والعقبات المتعلقة بعملية خلطه مع الهواء وتوزيعه بشكل متجانس على مختلف أسطوانات المحرك، إلا أن استخدامه يتطلب وجود خزانات كبيرة للغاز ذي الضغط المنخفض مع ملاحظة أن هناك انتشاراً واسعاً في استخدام غاز النفط المميع LIQUIDIFIED PETROLEUM GAS (LPG) في الأماكن القريبة من مصادر الثروة النفطية حيث يستفاد من هذه الغازات في السيارات الشاحنة والجرارات والباصات وفي ورشات التتقيب، وبالمقابل هناك استخدام أكثر للوقود السائل وبشكل يفوق الأنواع الأخرى من المحروقات ويعود ذلك إلى القيمة الحرارية العالية لوحدة الحجم من هذا الوقود وسهولة وأمان نقله وتوزيعه وتخزينه.

1- تركيب الوقود :FUELS COMPOSITION

حيث أن العنصرين الأساسيين القابلين للاحتراق في جميع أنواع الوقود هما الكربون والهيدروجين لهذا تعرّف هذه المحروقات بالهيدروكربونات أو الفحوم الهيدروجينية HYDROCARBONS ولها الصيغة الكيميائية C_nH_m ، ويكون النفط عبارة عن خليط من أنواع مختلفة من هذه الفحوم مع نسبة ضئيلة من الكبريت والشوائب الأخرى، ويمكن تصنيف الفحوم الهيدروجينية إلى أربعة مجموعات هي، الشكل (2-12) :

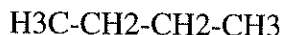
أ- البارافينات (PARAFINS) (C_nH_{2n+2})

وهي من الهيدروكربونات المشبعة التي تحتوي جزيئاتها سلسلة مفتوحة (مستقيمة) من ذرات الكربون المشبعة بذرات الهيدروجين ويمكن أن تكون سلسلة ذرات الكربون متصلة مثل الميثان CH_4 والبروتان C_4H_{10} والأوكتان C_8H_{18} ، أو يمكن أن تكون سلسلة ذرات الكربون متشعبة (متفرعة) مثل الأيزوبوتان C_4H_{10} والأيزوأوكتان C_8H_{18} ، مع ملاحظة أن تغير البنية الذرية يؤدي إلى تغير الخواص الفيزيائية ومواصفات التفاعل الكيميائي.

من الضروري أن نشير إلى أنه من المفضل وجود ذرات الكربون بسلسلة متشعبة في وقود البنزين لزيادة مقاومته ضد ظاهرة الصفع ، ويفضل وجود جزيئات هيدروكربونية بسلسلة مفتوحة (مستقيمة) من ذرات الكربون في وقود الديزل لتحسين ظاهرة الاحتراق الذاتي لهذا الوقود.

البوتان: (C₄H₁₀)

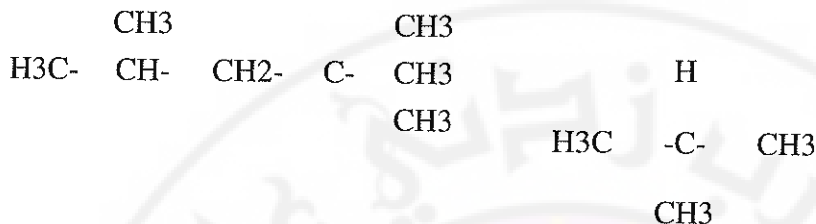
الميثان: (CH₄)



الأوكتان: (C₈H₁₈)

الأيثروأوكتان: (C₈H₁₈)

الأيثروبوتان: (C₄H₁₀)



الشكل (2-12): البارافينات

ب- الألوفينات OLEFINS (C_nH_{2n}):

وهي من الفحوم الهيدروجينية ذات البنية الذرية المستقيمة أو السلسلة المفتوحة من ذرات الكربون ولكن ينقصها زوجاً من ذرات الهيدروجين في كل جزيء، وتتميز بوجود الرابط المزدوج مثل الأيثيلين C₂H₄ والهيكسيلين C₆H₁₂.

الهيكسيلين: (C₆H₁₂)

الايثيلين: (C₂H₄)



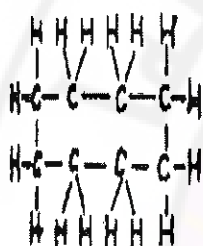
الشكل (2-13): الألوفينات

ت- النفثانات NAPHTANES (C_nH_{2n}): تتميز هذه الفحوم الهيدروجينية بكونها تحمل الصيغة الكيميائية نفسها للألوفينات، إلا أن جزيئاتها تحتوي على سلسلة مغلقة من ذرات الكربون، مثل السيكلوبنتان C₅H₁₀ والسيكلوهكسان C₆H₁₂ والسيكلوأوكتان C₈H₁₆، الشكل (2-14).

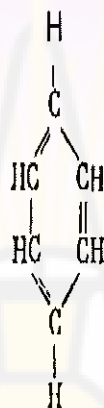
ث- العطريات AROMATICS (C_nH_{2n-6}): وهي من الفحوم الهيدروجينية التي تدخل في جزيئاتها نواة البنزول المشكل من ست ذرات من الكربون المتصلة مع بعضها البعض بثلاث وصلات أحادية وثلاث وصلات ثنائية، مثل البنزول C₆H₆ والتولوين C₇H₈، الشكل (2-14). تشكل البارافينات والنفثانات حوالي 80-90%

من معظم مشتقات النفط الخام، بينما لا تتعدى نسبة العطريات 3-4%، وكذلك يفضل وجود البارافينات بسلسلة متصلة (مستقيمة) من ذرات الكربون في وقود الديزل لتحسين ظاهرة الاحتراق الذاتي لهذا الوقود، في حين يفضل وجود البارافينات بسلسلة متشعبة من ذرات الكربون وكذلك النفثانات والعطريات في وقود البنزين لمقاومتها الجيدة ضد ظاهرة الصفع (الاشتعال الذاتي).

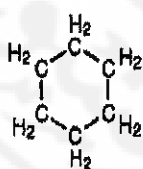
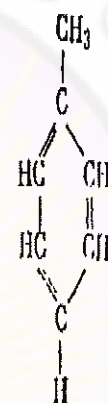
سيلكوأكتان C_8H_{16}



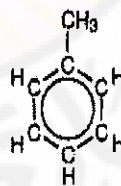
البنزين C_6H_6



التولين $C_6H_5(CH_3)$



Celcohexane
 C_6H_{12}



Toluene
 C_7H_8

الشكل (2-14): النفثانات و العطريات

2- المواصفات والخصائص العامة للوقود السائل:

من الخصائص العامة للوقود السائل نذكر:

1-2 الكثافة (كتلة وحدة الحجم Kg/m^3) :DENSITY

تؤثر هذه الخاصية في كمية وقود البنزين أو الديزل الداخلة إلى أسطوانة المحرك، حيث مع زيادة كثافة الوقود وتثبيت العوامل الأخرى تزداد كتلة الوقود المارة إلى الأسطوانة، وتتنخفض كثافة الوقود مع زيادة درجة حرارته.

2-2 اللزوجة :VISCOSITY

تعتمد اللزوجة على الترابط الداخلي لجزيئات السائل، حيث كلما انخفضت اللزوجة أصبح من الأسهل تذير السائل إلى جزيئات دقيقة مما يؤثر إيجاباً في عملية تحضير الشحنة القابلة للاحتراق.

تؤثر درجة حرارة الجو بشكل كبير في لزوجة الوقود السائل، وبالنسبة لوقود الديزل فإن لزوجة الوقود تؤثر في عملية تذير وتجانس الحبيبات وتوزيعها واحتراقها داخل غرفة الاحتراق، حيث تتحسن عملية التذير وتشكل الشحنة والاحتراق مع انخفاض اللزوجة وبالعكس فإن ازدياد اللزوجة يؤدي إلى تدهور عملية التذير والتبخر وازدياد استهلاك الوقود وعدم اكتمال عملية الاحتراق.

2-3 التوتر السطحي :SURFACE TENSION

يعتمد التوتر السطحي للسائل على قوى التجاذب الناشئة بين جزيئات السطح الخارجي، وتؤثر هذه الخاصية في نوعية تذير الوقود حيث تتحسن عملية التذير بانخفاض التوتر السطحي، ويلاحظ انخفاض التوتر السطحي مع زيادة درجة الحرارة.

2-4 قابلية التطاير :VOLATILITY

يقصد بهذه الخاصية سرعة تحول الوقود السائل إلى بخار وقود، وتؤثر في هذه الخاصية كل من درجة الحرارة والضغط ومساحة سطوح التبخر .
تؤثر قابلية التطاير بشكل كبير في سهولة إقلاع المحرك وعملية تحضير الشحنة واحتراقها وتوزيع الشحنة على أسطوانات المحرك المختلفة.

من النقاط المميزة لكل نوع من الوقود هي درجة الحرارة التي تتطاير عندها النسب الحجمية 10% و 50% و 90% ودرجة حرارة نهاية عملية التطاير. يوضح الجدول (2-2) القيم الوسطية للكثافة واللزوجة والتوتر السطحي:

نوع السائل	الكثافة $\rho, \text{Kg/m}^3$	اللزوجة الكينماتيكية ν, cst	التوتر السطحي σ KN/M
البنزين	690-750	0.6-0.9	20-22
الديزل	820-860	2.2-8.0	30-31
الماء عند درجة حرارة 293^0K	998	1.0	72.5

الجدول (2-2): القيم الوسطية للكثافة واللزوجة والتوتر السطحي

2-5 القيمة الحرارية : CALORIFIC VALUE

وهي كمية الحرارة الناتجة من احتراق وحدة الوزن أو الحجم للوقود. يميز القيمة الحرارية العليا للوقود (H_u) وهي كمية الحرارة الناتجة من الاحتراق التام لوحدة الوزن أو الحجم من الوقود والتي نحصل عليها بعد انخفاض حرارة نواتج الاحتراق إلى ما كانت عليه عند بداية العملية مقدرة بـ Kj/Kg ، وحيث نعلم أن درجة حرارة نواتج الاحتراق خلال شوط العادم تكون أعلى من درجة حرارة المحيط الخارجي وبالتالي أعلى من درجة حرارة تكاثف بخار الماء المتشكل مع نواتج الاحتراق ولهذا نستعمل في الحسابات العملية للمحركات القيمة الحرارية الدنيا للوقود (H_l) المحددة بالنسبة للوقود السائل بالعلاقة:

$$H_l = H_u - H_{\text{vap}}(9H + W); \text{Kj/Kg}$$

H_{vap} : حرارة التبخر الكامنة لـ 1Kg من الماء والمساوية إلى 2512Kj/Kg .

9H: كمية البخار المتشكل من جراء احتراق 1Kg من الوقود.

H: نسبة الهيدروجين الوزنية في 1Kg من الوقود.

W: كمية الماء الموجودة في 1Kg من الوقود.

2-6 ظاهرة الطرق DETONATION في محركات البنزين والرقم الأوكتاني

OCTANE NUMBER:

عندما تتم عملية احتراق الوقود في محركات البنزين بشكل طبيعي NORMAL COMBUSTION فإن الشحنة تبدأ بالاشتعال عند أقطاب شمعة الاحتراق وتنتشر جبهة اللهب المتشكلة تدريجياً لتغطي كامل غرفة الاحتراق.

في شوط الانضغاط تتعرض الشحنة للضغط قبل إعطاء الشرارة مما يؤدي إلى ازدياد درجة حرارتها وضغطها، وإلى ظهور مركبات نشطة من الأوكسجين والوقود يؤدي تفاعلها مع بعضها إلى تشكل مركبات البيروكسيد النشطة والتي سيزداد تركيزها في الشحنة بعد الاشتعال، حيث يؤدي انتشار موجة اللهب الطبيعي إلى ضغط الشحنة غير المحترقة بشكل كبير وبمجرد وصول تركيز هذه العناصر النشطة في هذه المناطق (المناطق النائية عن شمعة الإشعال) إلى حد معين، تشتعل هذه الشحنة بسرعة كبيرة ويترافق هذا الاشتعال بارتفاع حاد وسريع لدرجة الحرارة والضغط مما يؤدي إلى انتشار موجات الصفع والتي تبلغ سرعتها 1500-2300m/sec (سرعة الاحتراق الطبيعية 40m/sec).

إذن ومما سبق نقول إن الارتفاع المفاجئ في الضغط الذي يرافق عملية الاحتراق والمصاحب بأصوات ضجيج معدني يشبه ضربات المطرقة والناجم من انتشار موجات الصفع في جميع الاتجاهات واصطدامها بجدران الأسطوانة وارتدادها هو الذي يطلق عليه اسم الطرق. تعتمد هذه الظاهرة على العديد من العوامل منها التركيب الكيميائي والبنية الذرية للوقود السائل.

تقاس مقاومة وقود البنزين ضد الصفع من خلال رقم الأوكتان O.N والذي يحدد بتوفر شروط أساسية أربعة هي:

- أ-وجود محرك اختباري خاص يمكن أن نغير نسبة الانضغاط فيه ε .
- ب-تحديد شروط خاصة ومواصفات معينة عند التشغيل.
- ت-توفر جهاز خاص لقياس الطرق.
- ث-إيجاد خليطة من نوعين من الوقود تعطي نفس مواصفات الوقود المراد اختباره.

لتحديد رقم الأوكتان لوقود ما نختار لهذه الغاية وقود عياري مكوّن من :

* الأيزوأوكتان ISO-OCTANE الذي يقاوم الصفع بشكل كبير ويعطى $ON=100$

* الهبتان العادي N-HEPTANE القابل للصفع بسهولة ويعطى $ON=0$

الآن وبعد تحضير خلائط مختلفة من هذين الوقودين بحيث تساير خواص الطرق لأي بنزين نقوم باختبار هذه الخلائط وستظهر عملية الطرق عند نسب انضغاط معينة تبعاً للنسب الحجمية لكل من الوقودين المعياريين في الخليط .

ومنه لتحديد ON لوقود تجاري نقوم باختبار هذا الوقود على المحرك الاختباري ونقوم بتغيير نسبة الانضغاط حتى لحظة ظهور بواذر الصفع ونقارن هذه النتيجة مع نتائج اختبار الخلائط المعيارية ونحدد الخليط الذي له خاصية اشتعال الوقود التجاري نفسه ومنه نعرف رقم أوكتان وقود تجاري بالنسبة المئوية الحجمية للأيزوأوكتان في خليط مكوّن من الإيزوأوكتان والهبتان العادي عندما تكون قابلية الصفع للخليط العياري والوقود التجاري متطابقة .

لزيادة رقم أوكتان البنزين يضاف عادة سائل إيثيلي وهيدروكربونات عطرية ،حيث يتكون السائل الإيثيلي من رابع إيثيل الرصاص ومن الديبروميثان،ولكن في الوقت الحاضر وبسبب الضرر الذي تحدثه مركبات الرصاص وبسبب ظهور القوانين المتعلقة بحماية البيئة فقد أسفر البحث العلمي إلى التوصل للعديد من الطرق التكنولوجية التي تكفل رفع رقم الأوكتان دون الحاجة لاستخدام مركبات الرصاص السامة.

من هذه الطرق تغيير تركيب الفحم الهيدروجينية المكونة للبنزين وإنتاج مادتي ثلاثي ميثيل بيوتيل إيثير (MTBE) METHYL TERTIRY BUTYL ETHER التي لها

رقم أوكتان مرتفع وثلاثي إيثيل بيوتيل إيتير (ETBE) ETHYL TERTIRY BUTYL
ETHER والمواد الكحولية مثل الميثانول والإيثانول بنسب معينة، وقد وافقت وكالة
حماية البيئة الأمريكية عام 1979 على إضافته لوقود البنزين بنسبة 5-7% بعد أن
أجريت العديد من التجارب العملية على السيارات.
نستخلص مما سبق أن من أسباب حدوث الطرق:
*زيادة نسبة الانضغاط.

*زيادة ضغط ودرجة حرارة الشحنة عند بداية أو نهاية شوط الانضغاط.

*استخدام بنزين برقم أوكتان منخفض.

*العمل على معامل فائض الهواء $\alpha=0.85-0.95$.

*شكل غرفة الاحتراق، ونوع المعدن المستخدم لمجموعة المكبس-الأسطوانة
والصمامات.

*موقع شمعة الإشعال.

*ازدياد مقاييس وعدد أسطوانات المحرك.

*ازدياد زاوية تسبيق الاشتعال.

أما مساوئ ظاهرة الطرق:

*ازدياد الحمل الميكانيكي الناتج عن موجات الصفع مما قد يؤدي إلى تخریب
أجزاء المحرك (المكبس والأسطوانة والصمامات..).

*ازدياد درجة حرارة أجزاء المحرك الأساسية وإجهادها حرارياً.

*ازدياد درجة حرارة الشحنة ونواتج الاحتراق وتفكك نواتج الاحتراق حرارياً
وتتشكل الكربون الحر وتلوث غازات العادم باللون الأسود وتلوث البيئة.

*انخفاض استطاعة المحرك واقتصاديته بسبب الضياع الحراري وعدم اكتمال
الاحتراق.

7-2 قابلية الاشتعال الذاتي AUTOIGNITION والرقم السيتاني

CETANE NUMBER:

تعبّر هذه الخاصية عن اشتعال وقود الديزل ذاتياً، حيث نعلم أنه يتم حقن وقود الديزل في حجرة الاحتراق قبل نهاية شوط الانضغاط بقليل عندما تكون درجة حرارة الهواء المضغوط عالية بما يكفي لحدوث الاشتعال الذاتي للوقود، وبالتالي فإن الميزة الأساسية لوقود الديزل هي سهولة الاشتعال الذاتي عند ملاسته للهواء المضغوط الساخن. تقدر هذه الخاصية (سهولة الاشتعال) بأقصر فترة زمنية ممكنة اعتباراً من بداية حقن وقود الديزل وحتى بداية اشتعاله، وتسمى هذه الفترة بفترة تأخر الاشتعال IGNITION LAG (DELAY) وهي من أهم خواص عملية الاحتراق في محركات الديزل .

تقدر سهولة الاشتعال الذاتي لوقود الديزل برقم السيتان CETANE NUMBER حيث كلما ازداد هذا الرقم قصرت فترة تأخر الاشتعال . يحدّد C.N في محرك اختبري خاص بمقارنة الوقود التجاري المعين مع خليط عياري مكون من:

* وقود السيتان $C_{16}H_{34}$ السريع الاشتعال ويعطى $CN=100$

* الألفاميثيل نفتالين α -METHYL NAPHTHALENE ($C_{11}H_{10}$) الصعب

الاشتعال ويعطى $CN=0$ ، وبالتالي نعرف رقم السيتان لوقود تجاري بالنسبة المئوية الحجمية لوقود السيتان في خليط عياري مكون من السيتان والألفاميثيل بحيث تكون قيم فترة تأخر الاشتعال للخليط العياري والوقود التجاري متساوية، فإذا كانت نسبة السيتان 45% يقال أن رقم السيتان للوقود التجاري 45. يتراوح رقم السيتان لأنواع وقود الديزل بالحدود $CN=40...55$.

هناك علاقة خطية بين العدد الأوكتاني والعدد السيتاني، وقد وجدت علاقات كثيرة نذكر منها الصيغتين التاليتين:

$$\begin{aligned} O.N &= 120 - 2 * C.N \\ O.N &= 150 - 2.9 * C.N \end{aligned}$$

3- التركيب الأولي للوقود وتفاعلات الاحتراق:

يتألف الوقود السائل من الكربون C والهيدروجين H_2 وكميات قليلة من الأوكسجين O_2 وأحياناً هناك كميات قليلة من الكبريت S.

التركيب الكمي لـ 1Kg من الوقود السائل هو :

$$C + H + O_f = 1 \text{ Kg}$$

حيث C, H, O_f : النسب الوزنية لكل من الكربون والهيدروجين والأوكسجين في 1Kg من الوقود، وهذا وإن عملية الاحتراق COMBUSTION PROCESS هي عبارة عن تفاعل كيميائي تتحد فيه عناصر معينة من الوقود مع الأوكسجين كما وتعمل الحرارة المنتشرة على رفع درجة حرارة الغازات الناتجة من التفاعل. إن العناصر الأساسية القابلة للاحتراق والموجودة في الوقود هي الفحم والهيدروجين، ونحصل على الأوكسجين اللازم لعملية الاحتراق من الهواء الذي يحتوي على (20.99% حجماً أو 23.2% وزناً) منه، بينما يتألف القسم الباقي من مزيج من الغازات الخاملة (تشكل حوالي 0.98% حجماً) في حين يشكل الآزوت القسم الأساسي والمتبقي. إذن ومما سبق نقول: إن احتراق الوقود في محركات الاحتراق الداخلي يتم نتيجة لتفاعلات كيميائية معقدة وتسلسلية (تفاعلات أولية، تليها تفاعلات لاحقة تنتهي بتفاعلات نهائية تعطي نواتج الاحتراق النهائية).

من الضروري لتحديد الأثر الحراري لعملية الاحتراق معرفة النتائج النهائية لتفاعلات العناصر الأولية الداخلة في تركيب الوقود مع أوكسجين الهواء، وتحديد النتائج النهائية لتفاعلات هذه العناصر وأخيراً ولتحديد كمية الهواء اللازمة لعملية الاحتراق سندرس حالتنا الاحتراق التام وغير التام للوقود السائل.

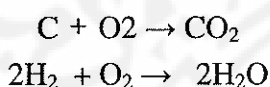
والجدول (2-3) يبين التركيب الأولي لأنواع الوقود السائل:

وقود الديزل	وقود البنزين	خواص الوقود
النسب الوزنية للعناصر:		
0.870	0.855	C
0.126	0.145	H
0.004	—	O _f
180-200	110-120	الوزن الجزيئي الوسطي Kg/Kmol
42500	44000	القيمة الحرارية الدنيا للوقود Kj/Kg
قابلية التطاير (C°)		
185-200	35-45	بداية التبخر
200-225	55-70	تبخر 10% من الوقود
240-280	100-125	تبخر 50% من الوقود
320-350	160-195	تبخر 90% من الوقود
330-360	185-205	تبخر 100% من الوقود

الجدول (2-3) : التركيب الأولي لأنواع الوقود السائل

3-1 الاحتراق التام للوقود السائل :

يحدث الاحتراق التام للوقود بتوفر الأوكسجين اللازم لعملية الاحتراق التام وعندها تكون نواتج الاحتراق مكونة نظرياً من ثاني أوكسيد الكربون CO₂ وبخار الماء H₂O:



يمكن حساب كمية الهواء اللازم لحرق 1Kg من الوقود بشكل تام بتحديد كمية الهواء اللازم لحرق 1Kg من العناصر على حده، ومن ثم تؤخذ الجداءات الناتجة من ضرب

كميات الهواء لكل عنصر بالنسب الوزنية التابعة لها في المزيج العام وتجمع مع بعضها بعضاً فنجد كمية الهواء اللازم نظرياً لحرق 1Kg من الوقود بشكل تام وبوحدات وزنية وبوحدات حجمية :

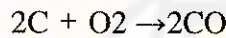
$$l_{th} = 1/0.23(8/3 C + 8H - O_f); \text{Kg air/Kg fuel}$$

$$L_{th} = 1/0.21(C/12 + H/4 - O_f/32); \text{Kg air/Kg fuel}$$

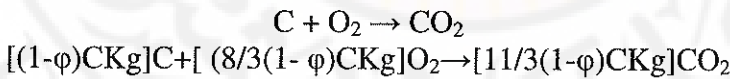
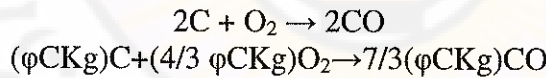
O_f كمية الأوكسجين الموجودة في الوقود.

2-3 الاحتراق غير التام للوقود السائل :

عندما تعمل المحركات بأقصى استطاعة لها لابد من إغناء الشحنة بالوقود مما يعني أن عملية الاحتراق تتم في ظروف تفتقر فيها الشحنة إلى الأوكسجين، ونتيجة لذلك تحتوي نواتج الاحتراق مركباً جديداً هو أول أكسيد الكربون CO والهيدروجين الحر H_2 :



إذا رمزنا لنسبة الكربون التي تتحول إلى غاز CO بـ ϕ فإن كمية الكربون الموجود في 1Kg من الوقود (الحاوي على CKg كربون) الذي يتحول إلى CO هي $\phi C, \text{Kg}$ والذي يتحول إلى CO_2 هي $(1-\phi)C, \text{Kg}$:



الآن ولتحديد كمية الهواء الفعلية المشتركة في احتراق 1Kg من الوقود 1 نتعرف على مفهوم معامل فائض الهواء (α) EXCESS AIR COEFFICIENT، وهو عبارة عن كمية الهواء الفعلية الداخلة إلى الأسطوانة والمشاركة في احتراق 1Kg من الوقود (1) إلى كمية الهواء النظرية اللازمة لحرق 1Kg من الوقود بشكل تام (l_{th}) :

$$\alpha = l/l_{th}$$

وحيث أن كمية الهواء المسحوبة إلى داخل الأسطوانة في المحركات الفعلية وتبعاً لظروف عمل المحرك من حمل وسرعة يمكن أن تكون أقل أو أكثر من الكمية اللازمة نظرياً لاحتراق الوقود بشكل تام فإن قيمة α ستكون متغيرة ،وهنا نميز :

$\alpha \geq 1$: تكون عندها الشحنة فقيرة بالوقود LEAN MIXTURE .

$\alpha < 1$: تكون عندها الشحنة غنية بالوقود RICH MIXTURE .

من المعادلات الكيميائية السابقة ولحالة $\alpha < 1$ فإن كمية الهواء المشاركة في احتراق 1Kg من الوقود هي :

$$l = 1/0.23[4/3(2-\phi).C+8H] \text{ ; Kg air/Kg fuel}$$

وكذلك فإن معامل فائض الهواء هو :

$$\alpha = l/l_{th} = [4/3(2-\phi).C+8H] / (8/3C+8H)$$

بإعادة ترتيب العلاقة نحصل على العلاقة النهائية المحددة لنسبة الكربون المتحول إلى غاز أول أكسيد الكربون (ϕ) بدلالة α والنسب الوزنية للكربون والهيدروجين في 1Kg من الوقود السائل :

$$\phi = 2(1-\alpha). (1+3H/C)$$

مثال:

المطلوب:

تحديد كمية الهواء اللازم نظرياً لحرق 1Kg بشكل تام بوحدة وزنية ووحدة حجمية ، وكذلك كمية الهواء الفعلية اللازمة لحرق 1Kg من الوقود لحالة الاحتراق غير التام، حيث تركيب الوقود:

$$C=0.855 , H = 0.145 , O_f = 0$$

بفرض:

$$\phi=0.3017 \text{ (نسبة الكربون المتحول إلى غاز أول أكسيد الكربون)}$$

أ- حالة الاحتراق التام :

1- بوحدات وزنية نجد :

$$l_{th} = 1/0.23(8/3 C + 8H - O_f) = 14.96 \text{ kg air/Kg fuel}$$

2- بوحدات حجمية نجد :

$$L_{th} = 1/0.21(C/12 + H/4 - O_f/32) = 0.512 \text{ Kmole air/Kg fuel}$$

بفرض أن الكتلة الجزيئية للهواء $\mu_B = 28.97$ ، يمكن الحصول على كمية الهواء

بوحدات حجمية من العلاقة :

$$L_{th} = \mu_B \cdot l_o \rightarrow L_o = 14.96 / 28.97 = 0.516 \text{ Kmole air/Kg fuel}$$

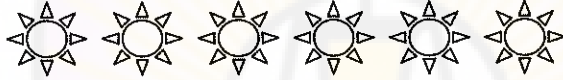
ب- لحالة الاحتراق غير التام :

$$l = 1/0.23[4/3(2-\phi) \cdot C + 8H] ; \text{Kg air/Kg fuel}$$

$$l = 1/0.23[4/3(2-0.3017) \cdot 0.855 + 8 \cdot 0.145] = 13.46 ; \text{Kg air/Kg fuel}$$

من الواضح أن قيمة معامل فائض الهواء هي :

$$\alpha = l/l_{th} = 13.46/14.96 = 0.9$$



الفصل الثالث

العوامل المميزة للدورات الحرارية الفعلية
لمحركات الاحتراق الداخلي الترددية والموازنة
الحرارية للمحرك

CHARACTERISTIC FACTORS OF RECIPROCATING ENGINES & HEAT BALANCE



العوامل المميزة للدورات الحرارية الفعلية لمحركات الاحتراق الداخلي الترددية
والموازنة الحرارية للمحرك

CHARACTERISTIC FACTORS OF RECIPROCATING ENGINES & HEAT BALANCE

لمقارنة محركات الاحتراق الداخلي الترددية المكبسية فيما بينها من الضروري تحديد بعض العوامل المميزة لهذه المحركات بما فيها العوامل البيانية والعوامل الفعالة والتي تعطى لكل محرك كمتوسط الضغط والاستطاعة والجودة والاستهلاك النوعي للوقود .

1:العوامل البيانية INDICATED FACTORS:

1-1 العمل البياني ومتوسط الضغط البياني

INDICATED WORK & INDICATED MEAN EFFECTIVE PRESSURE:

العمل البياني هو العمل الناتج عن غازات الاحتراق والذي يمكن أن نحصل عليه من مساحة الدارة الحقيقية المرسومة في محاور P-V والمحدد بالعلاقة :

$$W_i = P_i \cdot V_s, \text{ N.m, or Joul}$$

$$W_i = P_i \cdot A_p \cdot L, \text{ N.m, or Joul}$$

A_p - مساحة سطح المكبس بـ m^2

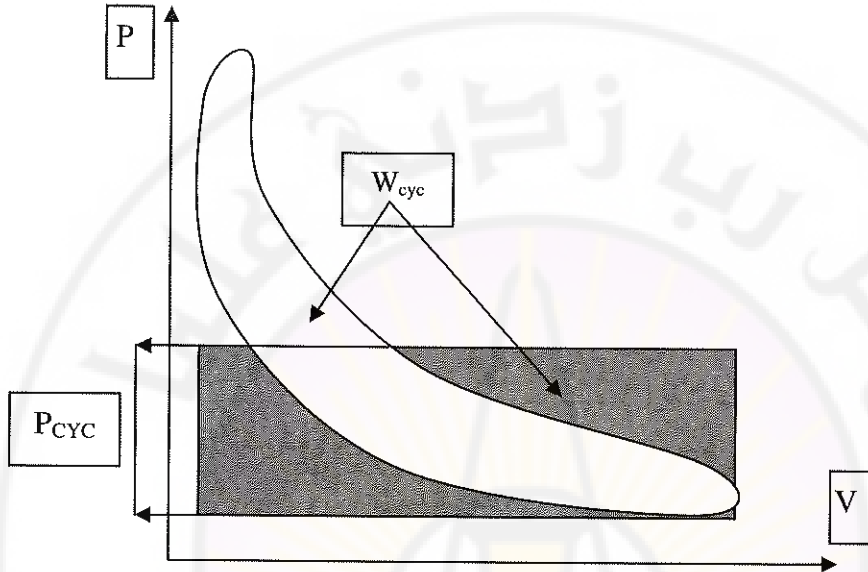
L - طول شوط المكبس بـ m

V_s - الحجم الفعال أو العامل للأسطوانة بـ m^3

والضغط الوسطي البياني P_i عبارة عن نسبة عمل الدورة الفعلية إلى حجم الأسطوانة الفعال V_s ، وقيمة P_i هو الضغط الثابت الوهمي الذي إذا أثر على المكبس خلال شوط التمدد (خلال تغير حجم الشحنة من V_{min} إلى V_{max}) لنتج داخل الأسطوانة ومن أجل دورة حرارية كاملة عملاً مساوياً للعمل البياني، أي:

$$P_i = W_i / V_s, \text{ N / m}^2$$

هذا يعني أن عمل الدورة المحدد على الرسم البياني على محاور P-V (الشكل 3-1) يستبدل بمسقط طوله عبارة عن طول شوط المكبس، وارتفاعه هو متوسط الضغط البياني.



الشكل (3-1): الدورة الحرارية ومتوسط الضغط على محاور P-V

2-1 الاستطاعة البيانية INDICATED HORSE POWER:

وهي الاستطاعة الجاهزة على رأس المكبس والمساوية إلى جداء العمل البياني بعدد الأشواط الفعالة خلال ثانية $(2.n / \tau)$ أي :

$$N_i = W_i \cdot 2n / \tau , \text{ N.m/sec , Watt}$$

$$N_i = (2n / \tau) \cdot P_i \cdot V_s , \text{ Watt}$$

τ عدد أشواط المحرك

أي لمحرك رباعي الأشواط عدد دوراته $n(\text{rpm})$ وعدد أسطواناته i تكون استطاعته البيانية:

$$N_i = (n / 120) \cdot P_i \cdot i \cdot V_s , \text{ Watt}$$

1-3 المردود البياني للمحرك INDICATED THERMAL EFFICIENCY :

المردود (الجودة) البياني عبارة عن نسبة الحرارة المتحولة إلى استطاعة بيانية إلى الحرارة الكلية المعطاة للمحرك وذلك من أجل 1Kg من الوقود، ومنه يعبر هذا المردود عن مدى الاستفادة من الطاقة الحرارية :

$$\eta_i = N_i / Q_f = N_i / (m_f \cdot C_v) , \%$$

m_f مقدار استهلاك الوقود بـ Kg/s

C_v القيمة الحرارية للوقود بـ Kj/Kg

يأخذ المردود البياني بعين الاعتبار مجموع الضياعات الحرارية الناتجة عن تحول الطاقة الحرارية للوقود إلى عمل مفيد، بما فيها تلك الناتجة عن التبادل الحراري وعن الاحتراق غير التام للوقود وعن التفكك الحراري لنواتج الاحتراق .

1-4 الاستهلاك النوعي البياني للوقود

INDICATED SPECIFIC FUEL CONSUMPTION :

وهو عبارة عن كمية الوقود المستهلكة في واحدة الزمن ومن أجل 1kw من استطاعة المحرك البيانية :

$$g_i = m_f / N_i , \text{ kg/kw.hr}$$

2- العوامل الفعالة BRAKE FACTORS :

2-1 الاستطاعة المفيدة BRAKE HORSE POWER :

في المحركات الفعلية يتم صرف جزء من العمل البياني للتغلب على مقاومات الاحتكاك بين الأجزاء المتحركة ولتحقيق عملية التبادل الغازي ولتشغيل المعدات المساعدة المختلفة من مضخات والمولد (حتى لو كان المحرك يعمل بدون حمل فإن جزءاً كبيراً من العمل البياني يصرف للتغلب على مقاومات الاحتكاك)، وبالتالي الاستطاعة الفعلية هي الاستطاعة المأخوذة من محور المحرك والمتحوّلة إلى عمل ميكانيكي مفيد، وتكون أقل من الاستطاعة البيانية بمقدار الاستطاعة الضائعة على مجموع المقاومات السابقة، أي:

$$N_e = N_i - N_M$$

$$N_e = (2\pi \cdot n / \tau) \cdot P_e \cdot i \cdot V_s, \text{ Watt}$$

BRAKE MEAN EFFECTIVE $P_e = P_i - P_M$ الضغط الوسطي الفعلي .PRESSURE

يحدد P_M من علاقة تجريبية بمعرفة السرعة الوسطية للمكبس .

2-2- المردود الميكانيكي MECHANICAL EFFICIENCY والمردود الفعلي:

يعبر المردود الميكانيكي عن نسبة الاستطاعة المفيدة إلى الاستطاعة البيانية ، وكذلك يمكن من خلال هذا المردود التعبير عن الاستطاعة الميكانيكية المفقودة :

$$\eta_M = N_e / N_i = (N_i - N_M) / N_i = 1 - (N_M / N_i)$$

$$\text{OR: } \eta_M = \eta_e / \eta_i = P_e / P_i$$

η_e : المردود الفعلي للمحرك والذي يحدد مدى الاستفادة من الطاقة مع اعتبار المفايد

الحرارية والميكانيكية :

$$\eta_e = N_e / (m_f \cdot C_v) = \eta_m \cdot \eta_i$$

$m_f \cdot C_v$ كمية الحرارة الكلية المعطاة للمحرك .

تناسب الاستطاعة الاستهلاك للتغلب على الضياعات الميكانيكية مع نوع

المحرك، وقطر الأسطوانة، وطول الشوط، وظروف عمل المحرك من سرعة وحمل وأخيراً مع ظروف استثمار المحرك.

هذا ويمكن تحديد الاستطاعة الميكانيكية المفقودة من خلال :

$$N_M = (2\pi \cdot n / \tau) \cdot P_M \cdot i \cdot V_s, \text{ Watt}$$

P_M الضغط الوسطي الميكانيكي.

2-3 الاستهلاك النوعي الفعلي للوقود

BRAKE SPECIFIC FUEL CONSUMPTION:

يستخدم هذا المعامل عند تحديد مدى اقتصادية محرك الاحتراق الداخلي ويعرف

الاستهلاك النوعي الفعلي للوقود بنسبة كمية الوقود المستهلكة في واحدة الزمن ومن

أجل 1Kw :

$$g_e = m_f / N_e \quad ; Kg/kw.hr$$

m_f : kg/hr مقدار استهلاك الوقود الساعي .

3- الموازنة الحرارية HEAT BALANCE:

الغاية من دراسة الموازنة الحرارية في المحرك:

أ- دراسة كيفية توزع الحرارة الكامنة في الوقود أثناء عملية الاحتراق.

ب- التوصل إلى السبل التي من شأنها الاستفادة القصوى من حرارة الاحتراق .

ت- استخلاص المعطيات اللازمة لتصميم جهاز تبريد المحرك .

تكتب معادلة الاتزان الحراري في واحد الزمن على الشكل :

$$Q_t = Q_e + Q_{cool} + Q_{ex} + Q_{oil} + Q_{ic} + Q_{res}$$

Q_t كمية الحرارة الكلية التي يقدمها الوقود عند احتراقه .

Q_e كمية الحرارة المكافئة للعمل الفعلي الذي يقدمه المحرك .

Q_{cool} كمية الحرارة التي يمتصها سائل التبريد .

Q_{ex} كمية الحرارة المحمولة مع غازات العادم .

Q_{oil} كمية الحرارة التي يمتصها زيت التزييت .

Q_{ic} كمية الحرارة الضائعة بسبب الاحتراق غير التام للوقود .

Q_{res} كمية الحرارة الضائعة والتي لم تؤخذ بالاعتبار في الحدود السابقة.

عند تحديد قيم الموازنة الحرارية لابد أن تؤخذ كنسب مئوية بالنسبة لكمية الحرارة

الكلية، ويمكن القول إن 60-70% من كمية الحرارة الناتجة عن احتراق الوقود تضيع

مع سائل التبريد وغازات العادم، ومنه يكون :

* كمية الحرارة الإجمالية:

$$Q_t = m_f \cdot C_v, \text{ kj/sec, kw}$$

C_v القيمة الحرارية الدنيا للوقود CALORIFIC VALUE، أي كمية الحرارة الناتجة

عن عملية الاحتراق التام لوحدة الوزن أو الحجم من الوقود.

m_f مقدار استهلاك المحرك من الوقود في الثانية .

* كمية الحرارة المكافئة للعمل المفيد :

$$Q_e = N_e, \text{ Kj/sec}$$

* كمية الحرارة الضائعة مع سائل التبريد :

ينقل جزء من الحرارة الناتجة عن الاحتراق إلى غرف الاحتراق عن طريق الحمل والإشعاع، أما الحرارة الضائعة بين جدران المحرك وسائل التبريد فتكون عن طريق التوصيل، أي أن هناك حرارة يمتصها سائل التبريد ناتجة عن الغازات الموجودة في غرف الاحتراق، وهناك حرارة المكبس والحلقات والأسطوانة، وبالتالي تكون كمية الحرارة التي يستقبلها سائل التبريد :

$$Q_{cool} = m_w \cdot C_{pw} \cdot (T_{out} - T_{in})$$

m_w : تدفق سائل التبريد المار عبر المحرك بـ kg/sec

C_{pw} الحرارة النوعية لسائل البريد بـ Kj/kg.k

T_{out} درجة حرارة خروج سائل التبريد من المحرك بـ k

T_{in} درجة حرارة دخول سائل التبريد إلى المحرك بـ k

* كمية الحرارة المحمولة مع غازات العادم : وتحدد بشكل مبسط بالعلاقة:

$$Q_{ex} = m_{ex} \cdot C_{pex} \cdot (T_{ex} - T_a)$$

m_{ex} تدفق غازات العادم من أنبوب العادم .

C_{pex} الحرارة النوعية لغازات العادم .

T_{ex} درجة حرارة غازات العادم.

T_a درجة حرارة الوسط المحيط.

* كمية الحرارة التي يمتصها جهاز تزييت المحرك : وتكون قليلة جداً بحدود :

$$Q_{oil} = (1.5 \dots 3) \% \cdot Q_i$$

* كمية الحرارة الناتجة عن الاحتراق غير التام للوقود، حيث يظهر هذا الحد عندما

تكون كمية الأوكسجين غير كافية لإتمام عملية الاحتراق، أي أن المحرك يعمل في

ظروف يكون فيها معامل فائض الهواء α أقل من الواحد .

ونشير هنا إلى أن معامل فائض الهواء α (EXCESS AIR COEFFICIENT) يعبر

عن كمية الهواء الفعلية الداخلة إلى أسطوانة المحرك والمشاركة في احتراق 1Kg من

الوقود (I) إلى كمية الهواء النظرية اللازمة لحرق 1Kg من الوقود بشكل تام (I_{th}) .

* أما عن كمية الحرارة الضائعة (الحد المتبقي) :

تمثل كمية الحرارة الضائعة Q_{res} الحرارة المنتقلة بالإشعاع من سطح المحرك إلى الوسط الخارجي وكذلك أي ضياع حراري لم يؤخذ بالاعتبار في معادلة الاتزان الحراري.

نبين في الجدول (3-1) حدود معادلة الاتزان الحراري لمحرك بنزين ومحرك ديزل:

نوع المحرك	Q_e	Q_{cool}	Q_{ex}	Q_{ic}	Q_{res}
بنزين	21-28	12-27	30-55	0-45	3-10
ديزل	20-42	15-35	25-45	0-5	2-5

الجدول (3-1) حدود معادلة الاتزان الحراري

4 - أمثلة عددية

المسألة الأولى:

محرك غازي وحيد الأسطوانة $i=1$ يعمل وفق دورة أوتو $v=ct$ وله المواصفات الفنية الآتية :

$$V_C=2.78 \text{ lit}, S=300 \text{ mm}, D=200 \text{ mm}$$

$$K=1.4, C_v=16350 \text{ KJ/m}^3, m_f=8.8 \text{ m}^3/\text{hr}, P_i=518 \text{ KN/m}^2$$

$$(2n / \tau)=135 \text{ 1/min}$$
 عدد الأشواط الفعالة في كل دقيقة

المطلوب:

1- تحديد مردود الدورة النظري.

2- تحديد الاستطاعة البيانية للمحرك .

3- تحديد المردود الحراري البياني للمحرك .

الحل:

1- مردود الدورة النظري:

$$\eta_t = 1 - [1/(\varepsilon^{k-1})]$$

لابد من تحديد قيمة نسبة الانضغاط من العلاقة :

$$\varepsilon = V_a / V_c = (V_s + V_c) / V_c = 1 + V_s / V_c$$

وحيث أن الحجم الفعال (العامل) للأسطوانة هو:

$$V_s = (\pi \cdot D^2 / 4) \cdot S = [\pi \cdot (200 \cdot 10^{-3})^2 / 4] \cdot (300 \cdot 10^{-3}) \cdot 10^3$$

$$V_s = 9.42 \text{ lit} = 9.42 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\varepsilon = (V_s + V_c) / V_c = (9.42 + 2.78) / 2.78 = 4.4 \text{ ومنه نجد:}$$

وبالتالي يكون المردود الحراري :

$$\eta_t = 1 - [1 / (\varepsilon^{k-1})] = 44.71\%$$

2- تحدد الاستطاعة البيانية بالعلاقة :

$$N_i = (2n / \tau) \cdot P_i \cdot i \cdot V_s \cdot 10^{-3}, \text{ kwatt}$$

$$N_i = (135 / 60) \cdot 518 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 9.42 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3$$

$$N_i = 11 \text{ kw}$$

3- المردود الحراري البياني:

$$\eta_i = N_i / Q_f = N_i / (m_f \cdot C_v), \%$$

$$\eta_i = (11) / [(8.8 / 3600) \cdot 16350] \cdot 100 \% = 27.5\%$$

المسألة الثانية:

يعمل محرك ديزل رباعي الأشواط عند سرعة دوران $n = 2000 \text{ 1/min}$ وله

المواصفات :

$i = 6 \text{ cylinders}$

$D = 120 \text{ mm}$

$S = 130 \text{ mm}$

$\varepsilon = 15$

$m_f = 9.8 \text{ gr/sec}$

$P_i = 12 \text{ bar}$

$P_e = 10.5 \text{ bar}$

$C_v = 42 \text{ MJ/Kg}$

المطلوب:

1- تحديد حجم خلوص حجرة الاحتراق .

2- تحديد الاستطاعة البيانية والفعالية.

3- تحديد المردود البياني والفعلي والميكانيكي للمحرك.

4- تحديد الاستهلاك النوعي الفعلي للوقود .

1- تحديد حجم خلوص حجرة الاحتراق من العلاقة :

$$\varepsilon = (V_s + V_c) / V_c = 1 + V_s / V_c$$

$$V_c = (V_s / \varepsilon - 1)$$

$$V_s = (\pi \cdot D^2 / 4) \cdot S = [\pi \cdot (120 \cdot 10^{-3})^2 / 4] \cdot (130 \cdot 10^{-3})$$

$$V_s = 1.47 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

ومنه نجد :

$$V_c = (V_s / \varepsilon - 1) = (1.47 \cdot 10^{-3}) / (15 - 1)$$

$$V_c = 1.05 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

2- تحديد الاستطاعة البيانية والفعلية:

$$N_i = (2n / \tau) \cdot P_i \cdot i \cdot V_s \cdot 10^{-3}, \text{ kwatt}$$

$$N_i = (2 \cdot 2000 / 4.60) \cdot 12 \cdot 10^5 \cdot 6 \cdot 1.47 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3}$$

$$N_i = 176.4 \text{ kw}$$

$$N_e = (2n / \tau) \cdot P_e \cdot i \cdot V_s \cdot 10^{-3}, \text{ kwatt}$$

$$N_e = (2 \cdot 2000 / 4.60) \cdot 10.5 \cdot 10^5 \cdot 6 \cdot 1.47 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3}$$

$$N_e = 154.35 \text{ kw}$$

3- تحديد المراديد :

$$\eta_i = N_i / Q_f = N_i / (m_f \cdot C_v), \%$$

$$\eta_i = (176.4) / (9.8 \cdot 10^{-3} \cdot 42 \cdot 10^3) \cdot 100 \%$$

$$\eta_i = 42.86 \%$$

$$\eta_e = N_e / (m_f \cdot C_v), \%$$

$$\eta_e = (154.35) / (9.8 \cdot 10^{-3} \cdot 42 \cdot 10^3) \cdot 100 \%$$

$$\eta_e = 37.5 \%$$

$$\eta_M = \eta_e / \eta_i = P_e / P_i = N_e / N_i$$

$$\eta_M = 154.35 / 176.4 = 10.5 / 12 = 37.5 / 42.86$$

$$\eta_M = 87.5 \%$$

4- تحديد الاستهلاك النوعي الفعلي للوقود بـ kg/kw.hr

$$g_i = m_f / N_i, \text{ kg/kw.hr}$$

$$g_i = (9.8 \cdot 10^{-3} \cdot 3600) / 154.35, \text{ kg/kw.hr}$$

$$g_i = 0.2286 \text{ kg/kw.hr}$$

المسألة الثالثة:

محرك بنزين رباعي الأشواط سداسي الأسطوانات استطاعته $N_e=75 \text{ kw}$ عند سرعة دوران $n=2000 \text{ rpm}$ بفرض أن الضغط الوسطي البياني لكل أسطوانة $P_i=7.2 \text{ bar}$ وأن $S/D=1$ ، المردود الميكانيكي $\eta_M=81\%$.

المطلوب:

تحديد أبعاد أسطوانة المحرك.

الحل:

يحدد قطر أسطوانة المحرك من العلاقة : $V_s=(\pi.D^2/4).S$

وحيث : $S/D=1$

$$D=(4.V_s/\pi)^{1/3} \dots\dots(1)$$

يمكن تحديد الحجم العامل من :

$$N_e=(2n/\tau) \cdot P_e \cdot i \cdot V_s \dots\dots(2)$$

$$P_e=\eta_M.P_i=0.81.7.2=5.832 \text{ bar}$$

من (2) نجد :

$$V_s=(75.1000.4)/[5.832.10^5.(2.2000/60).6]$$

$$V_s=1.286.10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_s=1.286.10^{-3}.10^6=1286 \text{ cm}^3 \text{ (cc)}$$

نعوض في العلاقة (1) فنجد :

$$D=(4.V_s/\pi)^{1/3}=(4.1286/\pi)^{1/3}$$

$$D=S=11.78 \text{ cm}$$

المسألة الرابعة:

محرك ديزل رباعي الأشواط له المعطيات :

$$m_f = 5 \text{ kg/hr}, C_v = 42 \text{ MJ/kg}, N_e = 16.12 \text{ kw}$$

$$C_{pw} = 4.186 \text{ kJ/kg.hr}, m_w = 10.9 \text{ kg/min}$$

$$m_{ex} = 125 \text{ kg/hr}, (T_{out} - T_{in}) = 36 \text{ k}$$

$$(T_{ex} - T_a) = 300 \text{ k}, C_{pex} = 1.25 \text{ kJ/kg.k}$$

المطلوب:

إجراء موازنة حرارية للمحرك وتحديد نسبها المئوية .

ملاحظة :حيث لم يذكر في هذا المثال زمن إجراء الاختبار على المحرك لهذا يمكن أن إجراء الموازنة الحرارية وتحديد كميات الحرارة المختلفة مقدرة بـ kJ/sec.kw ولكن إذا تمت التجربة خلال 30 min مثلاً والاستهلاك معطى بـ kg/30 min عندها لابد من الانتباه للوحدات الخاصة بحدود معادلة التوازن الحراري .

الحل:

1- من معادلة الاتزان الحراري :

$$Q_t = Q_e + Q_{cool} + Q_{ex} + Q_{oil} + Q_{ic} + Q_{res}$$

أ- كمية الحرارة الناتجة عن احتراق الوقود :

$$Q_t = m_f \cdot C_v, \text{ kw}$$

$$Q_t = 5 \cdot (1/3600) \text{ kg/sec} \cdot 42.103 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_t = 58.33 \text{ kw}$$

ب- كمية الحرارة المتحولة إلى عمل مفيد :

$$Q_e = N_e = 16.12 \text{ kw}$$

ج- كمية الحرارة الضائعة في دارة تبريد المحرك :

$$Q_{cool} = m_w \cdot C_{pw} \cdot (T_{out} - T_{in})$$

$$Q_{cool} = 10.9 \cdot (1/60) \cdot \text{kg/sec} \cdot 4.186 \text{ kJ/kg.k} \cdot (36) \text{ k}$$

$$Q_{cool} = 27.38 \text{ kw}$$

د- كمية الحرارة المحمولة مع غازات العادم :

$$Q_{ex}=m_{ex} \cdot C_{pex} \cdot (T_{ex}-T_a)$$
$$Q_{ex}=125(1/3600) \text{kg/sec} \cdot 1.25 \text{ kJ/kg.k} \cdot (300) \text{ k}$$
$$Q_{ex}=13.02 \text{ kw}$$

أما الحد المتبقي والممثل لـ :

Q_{oil} كمية الحرارة التي يمتصها زيت التزييت .

Q_{ic} كمية الحرارة الضائعة بسبب الاحتراق غير التام للوقود

Q_{res} كمية الحرارة الضائعة والتي لم تؤخذ بالاعتبار في الحدود السابقة فيمكن تحديده

على الشكل :

$$Q_{res}=Q_t-(Q_e+Q_{cool}+Q_{ex})$$
$$Q_{res}=58.33-(16.12+27.38+13.02)$$
$$Q_{res}=1.81 \text{ kw}$$

ومنه نجد النسب المئوية لحدود الموازنة الحرارية :

$$q_e=(Q_e/Q_t)=(16.12/58.33).100\%=27.63\%$$
$$q_{cool}=(Q_{cool}/Q_t)=(27.38/58.33).100\%=46.94\%$$
$$q_{ex}=(Q_{ex}/Q_t)=(13.02/58.33).100\%=22.33\%$$
$$q_{res}=(Q_{res}/Q_t)=(1.81/58.33).100\%=3.11\%$$

ومنه المجموع 100%.



الفصل الرابع

الملوثات الصادرة عن محركات البنزين ومحركات
الديزل العادية والحدود المسموح بها عالمياً



الملوثات الصادرة عن محركات البنزين ومحركات الديزل العادية والحدود المسموح بها عالمياً

مقدمة

تُعد مشكلة تلوث البيئة من أهم مشاكل العصر الحديث التي تواجه الإنسان ، والحديث عن هذه المشكلة لم يقتصر على المحافل العلمية والأكاديمية بل أصبح في متناول وسائل الإعلام وكذلك حديث الشارع ، ودراسة هذه القضية لا تخص الدول المتقدمة دون النامية ، مما يفرض علينا ضرورة مواجهة هذه المشكلة بكل ما لدينا من إمكانيات ، بعيداً عن تبادل التهم ، والتتصل من التبعات ، بغرض الوصول إلى حلول علمية من شأنها الحد من النتائج السلبية لهذه المشكلة ، وقبل أن يصبح كوكبنا الجميل قبيحاً ملوثاً الهواء ، معكّر المياه ، مشوّه المناظر .

أسرف الإنسان في استنزاف موارد البيئة باستخدامه أحدث التقنيات في سبيل تحقيق مزيد من الرفاهية لنفسه دون أن يراعي البعد السلبي لاستخدامه هذه التقنيات على البيئة ومواردها ، مما أدى إلى تلوث عناصرها من مياه وهواء وغذاء وتربة . بدأ الحديث في العالم عن دور محركات الاحتراق الداخلي بتلويث البيئة خلال عقد السبعينات حيث بدأت معظم حكومات البلدان المتقدمة بإصدار التشريعات الناظمة لتلوث البيئة وتوجيه أصابع الاتهام إلى محركات الاحتراق الداخلي تحديداً ، بمعزل عن المصادر الأخرى التي تساهم هي الأخرى وبشكل كبير في الإضرار بالإنسان والبيئة ، ولو أن البحث العلمي لا بد أن ينظر للمشكلة والبحث عن الحلول العلمية بنظرة شاملة مع التركيز على الدور الذي تؤديه المحركات في هذا الإطار .

كان لتلك التشريعات والنصوص القانونية المفروضة على أداء المحركات دور إيجابي كبير في دفع عجلة البحث العلمي والتنافس بين الشركات العالمية الكبرى المصنعة للمحركات نحو دراسة الاتجاهات التي من شأنها تحقيق الأهداف الموضوعة.

تبيّن للباحثين ونتيجة لهذه الدراسات أنه وفي سبيل الإقلال من الملوثات الناتجة من المحركات لابد من:

أ-إعادة النظر في تصميم المحرك ومنظوماته المختلفة بغرض تحسين أداء وزيادة ضبط دارات الوقود والإشعال والتبريد .

ب-إعادة النظر في تركيب الوقود العادي مما أثمر أخيراً في الحصول على الوقود الخالي من الرصاص (Unleaded petrol) ، الوقود الحاوي على نسبة قليلة من الكبريت ، إلى جانب البحث عن بدائل للوقود السائل وزيادة انتشار الوقود الغازي .

ج-ضبط تركيب غازات العادم والسيطرة على مكوناتها والإقلال من المواد الملوثة الناتجة منها.

1- مكونات الهواء الجوي النقي:

يحتاج الإنسان يومياً إلى كمية من الهواء تصل إلى (15.10³ lit) (بحدود 16 kg) وهذه كمية تفوق كل ما يستهلكه الإنسان من ماء وغذاء في اليوم الواحد.

من المعروف أن الغلاف الجوي للكرة الأرضية يحتوي على هواء متوازن ، يتألف عند سطح الأرض من خليط من الغازات المختلفة قوامها الأساسي الآزوت والأكسجين، إضافة إلى كميات من بخار الماء وغازات أخرى من مرتبة الجزء من المليون ppm وحتى من مرتبة الجزء من البليون ppb ، وقد يحتوي على الغبار وحب الطلع وغاز الأوزون O₃. يختلف تركيز هذه الغازات في الهواء باختلاف الزمان والمكان ، فعندما يحدث تغير غير مسموح به في نسب الغازات المكونة للهواء نتيجة لبعض المواد الكيماوية أو غيرها يتلوث الهواء مما ينعكس سلباً وبشكل مباشر أو غير مباشر على الكائنات الحية الموجودة في النظام البيئي .

2- دراسة الملوثات المختلفة الصادرة عن محركات الاحتراق الداخلي والمسببة لتلوث البيئة:

عند دراسة الملوثات الناتجة من محركات الاحتراق الداخلي يمكن الاعتماد على مصدرين أساسيين للمعلومات هما:

أ-الإحصائيات الخاصة بكمية الملوثات الغازية الصادرة عن محركات الاحتراق الداخلي وكذلك الحدود المسموح فيها كما نصت عليها قوانين وتشريعات بعض المنظمات والهيئات المهمة بهذا الشأن في أكثر الدول تقدماً.

ب- الوزارات والجهات الحكومية المهمة بمواضيع البيئة بغرض التزود بالمعطيات المتوفرة لديهم والمتعلقة بكمية الملوثات الموجودة في المناطق المختلفة وخاصة الأماكن الأكثر ازدحاماً، وكذلك المعايير الخاصة بملوثات الهواء. تصدر وسائل النقل عند عملها العديد من الملوثات الغازية والأبخرة والجزيئات الصلبة نذكر منها :

1-هباب الفحم Soot

2- أكاسيد الآزوت (N₀,NO₂) Nitrogen Oxide

3-بخار الماء Vapour of water

4-أول أكسيد الكربون Carbon Monoxide

5-ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide

6-الألدهيدات Aldehydes

7-ثاني أكسيد الكبريت Sulphur Dioxide

8-هيدروكربونات عطرية متعددة الحلقات Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

يبين الجدول رقم (4-1) على سبيل المثال كمية بعض الملوثات المطروحة في فرنسا سنوياً مقدّرة بـ ميغاطن والناجمة عن السيارات الشاحنة والسيارات السياحية ونسبة ما تساهم فيه كل منهما في تلوث البيئة :

يتغير محتوى غازات العادم من جزيئات الكربون تبعاً لنوعية وقود الديزل المستخدم ونوع المحرك ، مع ملاحظة أن محركات الاحتراق الداخلي البنزينية تصدر غاز أول أكسيد الكربون بنسبة أكبر مقارنة مع ما تصدره محركات الديزل التي تصدر كمية أكبر من هباب الفحم (الكربون).

السيارات السياحية %	السيارات الشاحنة %	الكمية المطروحة سنوياً ميغا طن / العام	الغاز الملوث
98.5	1.5	5	أول أكسيد الكربون CO
83.5	16.5	1	أكاسيد الآزوت NO _x
94	6	2	الهيدروكربونات HC
94	6	0.3	الجسيمات العالقة PM
95	5	0.1	الكبريت

الجدول رقم (4-1) : نسبة ما تساهم فيه السيارات السياحية والسيارات الشاحنة في تلوث البيئة في فرنسا .

بشكل عام يمكننا القول إن كمية الدخان الصادر عن محركات الديزل تعتمد على:

- نوعية وقود الديزل المستخدم في المحرك .
- نوعية المحرك (تقليدي ، مع شاحن قسري للهواء ...)
- درجة حرارة المحرك عند إجراء الاختبار .
- عيار مضخة الوقود .
- الحمل المطبق على المحرك .
- الحالة الفنية للمحرك ودقة تنفيذ أعمال الصيانة المطلوبة .

يُعد لون غازات العادم الصادرة عن محركات الديزل مؤشراً يعبر عن الحالة الفنية للمحرك .على سبيل المثال نقول إن الدخان الأزرق (زيت+ وقود غير محترق) يدل على سوء عملية بخ الوقود داخل حجرة الاحتراق، أما الدخان الأسود (الكربون + الزيت + وقود غير محترق) فيدل على حدوث خلل في عمل المحرك يتعلّق بشكل أساسي في زاوية تسبيق البخ (تأخير في زاوية البخ) أو وجود خلل في مضخة الضغط العالي أو أن المحرك يتعرض لحمولات زائدة ، وأخيراً فإن الدخان الأبيض (قطرات ماء + وقود غير محترق) يظهر عند انخفاض درجة حرارة سائل التبريد ويختفي هذا الدخان مع وصول المحرك إلى درجة حرارة تشغيله النظامية . من هنا نجد أنه من الضروري مراقبة عمل المحرك واتخاذ الإجراءات اللازمة وخاصة عند ظهور الدخان الأسود أو الأزرق مع غازات العادم وتصحيح أي خلل في عمله .

3- آلية تشكل الملوثات الغازية الصادرة عن محركات الاحتراق الداخلي وأثرها في صحة الإنسان والبيئة:

تصدر محركات الاشتعال بالشرارة العديد من الملوثات منها ما ينتج بسبب احتراق البنزين وخروج غازات العادم إلى الجو المحيط مباشرة ، ومنها من غازات علبة المرفق Crankcase Gases أي الغازات المكوّنة من مزيج من الوقود والهواء ونواتج الاحتراق والتي تتسرّب إلى علبة المرفق والمحرك بارد ، وهذا يتطلب ضرورة تزويد المحرك بنظام تهوية إيجابي لعلبة المرفق Positive Crankcase Ventilation ، وهناك الملوثات الهيدروكربونية الناجمة عن تبخر الوقود من المغذي وخزان الوقود Fuel Evaporation من جراء ارتفاع درجة حرارة المحرك أو خزان الوقود في الأيام الحارة ، مما يؤدي إلى تمدّد الهواء الموجود داخل الخزان والمشيّع بأبخرة وقود البنزين وخروج كمية من هذا البخار إلى الوسط المحيط عن طريق فتحة التنفيس ، وكذلك من جراء بقاء المحرك ساخناً لفترة من الوقت بعد فصله عن العمل ، لهذا تزوّد السيارات الحديثة بنظام خاص باسترجاع الأبخرة Vapour-Recovery System . أما فيما يتعلّق بمحركات الاشتعال بالضغط فمن المعلوم أن وقود السديزل

صعب التطاير وبالتالي فإن تبخر الوقود لا يلعب دوراً هاماً في تلويث الهواء المحيط وبالتالي فإن مصادر التلوث الأساسية لهذه المحركات هي:

أ- غازات العادم Exhaust Gases

ب- غازات علبة المرفق Crankcase Gases

سنتناول فيما يلي الأثر السلبي الذي تؤديه هذه الملوثات على صحة الإنسان والبيئة عموماً ومن ثم نتطرق إلى الإجراءات التي من شأنها حماية صحة الإنسان .

* الهيدروكربونات (C_nH_m) : HYDROCARBONS :

تظهر الهيدروكربونات مع نواتج احتراق محركات الاحتراق الداخلي بسبب الاحتراق غير الكامل (الجزئي) للوقود ، أو بسبب افتقار الخليط للأوكسجين اللازم لإتمام عملية الاحتراق أو من جراء عدم تجانس الشحنة داخل الأسطوانة الواحدة أو عدم تجانسها داخل الاسطوانات المختلفة .

يظهر تأثير الهيدروكربونات بوجود أكاسيد الآزوت NO_x وتحت تأثير أشعة الشمس فيتشكل الأوزون Ozone والدخان الضبابي (الصناعي) Smog والذي يؤدي إلى تهيج العيون ويؤثر أيضاً على الرئتين والمجاري التنفسية وهذا ما يلاحظ بشكل واسع في المناطق الحضرية ، وهناك عدد من الهيدروكربونات يكون ساماً جداً ومن الممكن أن يسبب السرطانات .

أما عن الألهيدات فإنها تسبب صدور روائح غير مستحبة تظهر بشكل واضح عند عمل المحرك عند الأحمال الجزئية المنخفضة أو في حالات اللاحمل . يمكن الإشارة إلى أنه من الممكن أن يظهر الميثان CH_4 من مصادر بيولوجية (المستنقعات ، المواشي ، تسربات ناجمة عن حقول النفط) وبنسبة أكبر مما يمكن أن يتم إصداره من مصادر طبيعية .

من الآثار السلبية لوجود غاز الميثان في الجو المحيط :

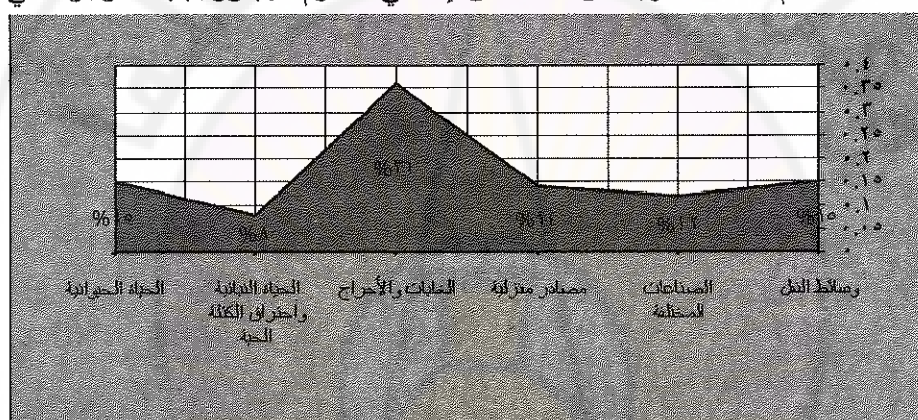
أ-الميثان أحد المصادر الرئيسة لزيادة كمية بخار الماء في الجو .

ب- يمتلك خاصية البيت الزجاجي Greenhouse effect ، بمعنى الارتفاع التدريجي البطيء والمستمر في درجة الحرارة الجوية من جراء إعادة جزء من الحرارة إلى الأرض ومنع خروجها إلى الجو الخارجي ، وذلك من جراء تجاوز أحد المركبات الأساسية للبيئة (غاز الكربون ، بخار الماء ...) للتركيز المقبولة

ج- يتفاعل الميثان الموجود في الجو مع الكلور لينتج حمض كلور الماء مسبباً المطر الحامضي وفق المعادلة :



تبيّن بعض الإحصائيات الألمانية كما هو موضح في الشكل (4-1) أن وسائل النقل المختلفة تساهم بنسبة لا تزيد عن 15% من إجمالي الفحوم الهيدروجينية الموجودة في



الشكل رقم (4-1) : مصادر التلوث بـ HC في ألمانيا

الجو (4000.10³ tonnes)، أما الصناعات فتساهم بنسبة (12%) ، وهناك المصادر المنزلية (14%) ، في حين تساهم ونسب كبيرة المصادر الطبيعية في إصدار هذه الفحوم نذكر منها :

الغابات والأشجار (36%) ، الحياة النباتية واحتراق الكتلة الحية (8%) ، والحياة الحيوانية (15%).

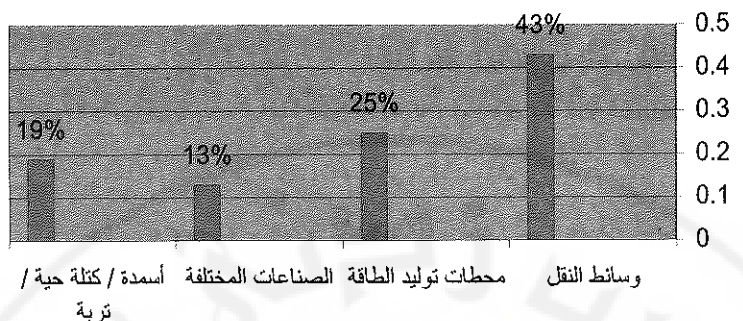
* أكاسيد الآزوت (NO_x) : NITROGEN OXIDES :

تتفاعل ذرات الآزوت مع الأوكسجين في ظروف عمل المحرك تحت الضغط العالي ودرجة الحرارة العالية لتشكل أكاسيد الآزوت المختلفة أهمها أول أكسيد الآزوت NO وثاني أكسيد الآزوت NO₂ والتي تؤدي دوراً كبيراً في تشكيل الأمطار الحامضية .

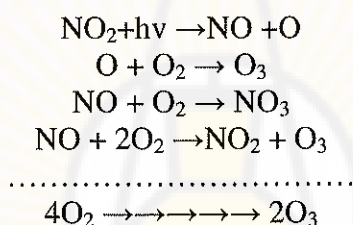
نشير هنا إلى أنه مع ارتفاع نسبة الرطوبة في الجو فإن غاز ثاني أكسيد الآزوت يمكن أن يتحد مع بخار الماء مشكلاً مركباً ساماً يدعى حامض النيتروز Nitrous Acid (HNO₂) ، وكذلك يمكن أن يتحول NO₂ تحت تأثير درجات الحرارة العالية في طبقات الجو العليا إلى حمض الآزوت HNO₃ أو جذور NO₃ على شكل ذرات لتتساقط بشكل حر أو أن تحمله الأمطار معها وتعيده إلى الأرض ثانية .

تتعدد المصادر الملوثة والمنتجة لأكاسيد الآزوت في ألمانيا، فوسائط النقل لها نصيب كبير حيث تصدر لوحدها 43% من كمية أكاسيد الآزوت الموجودة في الجو (3400.10³ tonnes) ، وهناك محطات توليد الطاقة (25%) ،الصناعات المختلفة (13%) ، أما النسبة المتبقية (19%) فتعود إلى أكسدة الأسمدة واحتراق الكتلة الحية ومن بكتريات التربة . يتضح لنا مباشرة من هذه النسب المختلفة مدى مساهمة الملوثات الصناعية في إصدار هذا الملوث ، الشكل رقم (2-4) .

من الجدير ذكره هنا أن خطر الغازات المختلفة المنطلقة من المصانع يظهر بوضوح عندما تتفاعل هذه الغازات مع بعضها في الهواء لتشكل مركبات جديدة شديدة السمية . على سبيل المثال نذكر دراسة تشكل الأوزون O₃، حيث لوحظ أن نسبة هذا الغاز تزداد في الجو بدءاً من طلوع الشمس وحتى غروبها وكذلك في الأوقات التي يكثر فيها الدخان والهباب في الجو مما يدل على الدور الأساسي للأشعة الشمسية في تشكل الأوزون ، حيث تبين للباحثين فيما بعد أن عملية تشكل هذا الغاز تتم بأن يقوم غاز NO₂ بامتصاص الأشعة فوق البنفسجية وينتج بذلك الأوكسجين الذري وأكسيد الأوزون كما هو موضح في التفاعلات التالية :



الشكل رقم (4-2) مصادر التلوث بـ NO_x في ألمانيا

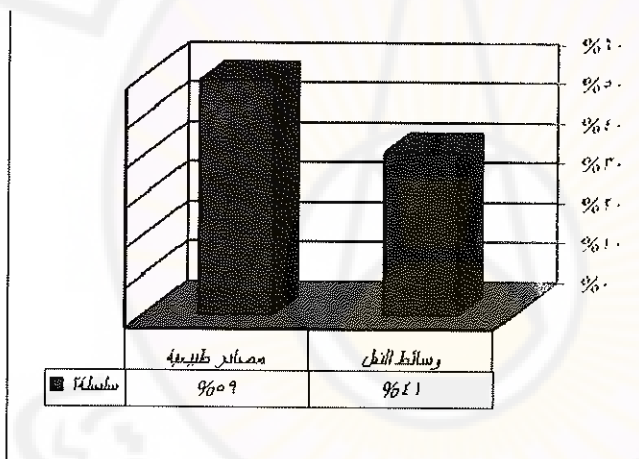


بمعنى أنه كل أربع جزيئات من الأوكسجين الجزيئي تتحول إلى جزيئين من الأوزون، وبالتالي فإن وجود كميات قليلة من ثاني أكسيد الآزوت في الهواء أدى إلى تشكل كميات كبيرة من الأوزون مما يؤثر سلباً على جهاز التنفس والعيون وتحسس الأغشية المخاطية ، ويزداد تأثيره السلبي في حال الظروف المناخية السيئة كسكون الرياح وبرودة الجو مما يساعد على بقاء الضباب مخيماً على المدينة لبضعة أيام مع سوء كبير في الرؤيا .

* أول أكسيد الكربون (CO) CARBON MONOXIDE :

غاز سام عديم اللون والرائحة ولا ينحل في الماء ، ويظهر من الاحتراق غير التام للوقود بسبب افتقار الشحنة للأوكسجين اللازم لحرق ذرات الوقود بشكل كامل

وهذا ما يحدث بشكل خاص في مرحلة إقلاع المحرك أو عند عمل الآلية على المرتفعات حيث نقل كمية الأوكسجين المتوفر لإتمام عملية الاحتراق، أو حتى في حالة عمل المحرك عند درجات الحرارة العالية فإن ذلك يؤدي إلى تفكك جزيئات ثاني أكسيد الكربون CO_2 وظهور غاز أول أكسيد الكربون CO الأكثر سمية والذي تصل نسبة إصداره من وسائط النقل إلى 2/3 مما هو موجود في الجو. يعتمد تأثير غاز أول أكسيد الكربون CO على الإنسان على نسبته الحجمية في الهواء الجوي حيث مع وصول هذه النسبة إلى 700ppm يمكن أن يؤدي ذلك إلى وفاة الإنسان عند تعرضه للغاز لمدة ثماني ساعات. تساهم المصادر الطبيعية في ألمانيا الغربية ، الشكل (4-3) في إصدار هذا الغاز بنسبة



الشكل رقم (4-3) مصادر التلوث بـ CO في ألمانيا

تصل إلى (59%) من نسبة وجوده في الجو المحيط، متضمنة نسبة ما تصدره الصناعات المختلفة ، وبالمقابل تصدر وسائط النقل المختلفة بما فيها الطائرات والقطارات ما نسبته (41%) من الكمية الموجودة في الجو المحيط .

* ثاني أكسيد الكربون (CO₂) : CARBON DIOXIDE:

ازدادت كمية غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو خلال السنوات الأخيرة وتغيرت نظرة وكالة حماية البيئة الأمريكية (U.S. Environmental Protection Agency (EPA إلى هذا الغاز من كونه أحد النواتج الغازية لحالة الاحتراق التام للوقود ، وأصبح يعتبر من الملوثات التي من الضروري أخذها بعين الاعتبار ودراسة السبل التي من شأنها الحد من هذا الملوث ، الذي ينتج من مصادر طبيعية أيضاً (التمثيل الكلوروفيلي الناتج عن الحياة النباتية).

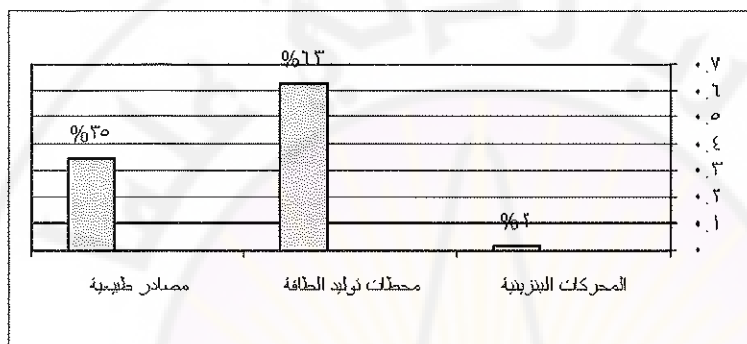
قد لا يؤثر هذا الغاز بشكل مباشر على صحة الإنسان بقدر ما يؤدي إلى حدوث ظاهرة الإنحباس الحراري ، هذه الظاهرة التي تساهم في رفع درجة حرارة الكرة الأرضية مما قد يؤدي إلى ذوبان الثلوج القطبية وارتفاع مستوى المياه في البحار والمحيطات.

بالعودة إلى الإحصائيات الألمانية نجد أن وسائط النقل تساهم بنسبة لا تذكر في توليد هذا الملوث 4% فقط من الكمية الموجودة في الجو المحيط ، والنسبة العظمى (54%) يتم إصدارها من التربة والنبات ،بالإضافة إلى المصادر الأخرى من احتراق الفحم الحجري (13%) والفحم الببتيوميني (16%) ومن المصانع ومصادر أخرى (13%) .

* ثاني أكسيد الكبريت (SO₂) :SULPHUR DIOXIDE:

تتشارك هنا أيضاً المصادر الطبيعية (البراكين و المستنقعات وحقول الأرز والغابات الاستوائية) مع المصادر الصناعية (احتراق الوقود بمختلف أنواعه) في إصدار هذا الغاز ، حيث في ألمانيا نجد أن نسبة ما تصدره المحركات البنزينية من كمية غاز SO₂ الموجودة في الجو (3020.10³tonnes) لا تتعدى (2%) وهذا يعود إلى أن نسبة الكبريت الموجود في الوقود ضئيلة جداً، ونسبة كبيرة (35%) يأتي من مصادر طبيعية، مع عدم إمكانية إغفال الدور الذي تؤديه محطات توليد الطاقة والنسبة العظمى التي تصدرها هذه المحطات (63%) لأنها غالباً ما تعمل على وقود الديزل أو الفيوول و كلٍ منهما يحتوي على كمية لا بأس فيها من الكبريت ، الشكل (4-4) .

يتشكل حمض الكبريت من جراء اتحاد غاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2 مع بخار الماء مما قد يؤدي إلى تساقط الأمطار الحامضية ، مع أن هذه الأمطار تحوي على أحماض أخرى ، إلا أن حمض الكبريت يشغل نسبة كبيرة منها ، ونعلم الدور السلبي الذي يمكن أن تؤديه الأمطار الحامضية على الثروة النباتية والحيوانية (الأحياء البحرية بشكل خاص) . أما زيادة نسبة SO_2 في الجو فيؤدي إلى أمراض في الجهاز التنفسي وخاصة عند الأطفال وكذلك يثير السعال و أمراض الربو .

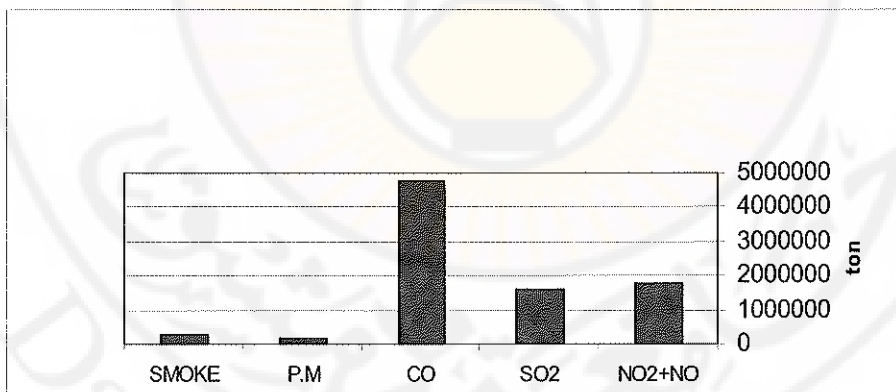
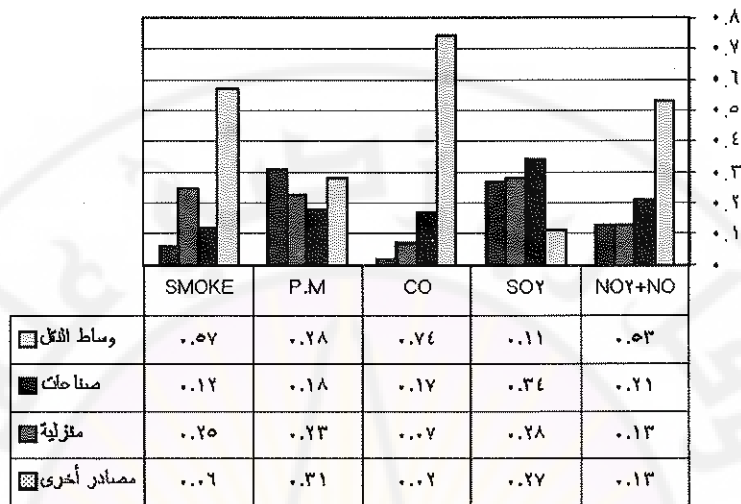


الشكل رقم (4-4) مصادر التلوث بـ SO_2 في ألمانيا

وكمثال آخر عن إحدى الدول المتقدمة صناعياً يمكن أن نورد هنا موضع على الشكل رقم (4-5) والذي يبين كمية الملوثات الغازية في بريطانيا عام 1998 مع توضيح المصادر المختلفة لهذه الملوثات ، حيث من الواضح وجود مصادر أخرى إلى جانب وسائط النقل المختلفة تساهم وبنسب كبيرة في إصدار هذه الملوثات .

4- الحدود العالمية للملوثات الغازية الصادرة عن محركات الديزل:

تبين الجداول الآتية حدود الملوثات الغازية المسموح فيها والصادرة عن محركات سيارات الشحن الثقيلة (العاملة على الطرق العامة) ، وكذلك الصادرة عن محركات سيارات الشحن العاملة ضمن المدن وذلك حسب التشريعات الصادرة



الشكل رقم (4-5) نسبة وكمية الملوثات الغازية في بريطانيا عام 1998

في عدد من دول العالم وخاصة تلك التي يتركز فيها عدد كبير من السيارات مما تطلب إصدار قوانين وضوابط للحد من هذه الملوثات وللحيلولة دون حدوث كوارث بيئية .

يوضح الجدول رقم (4-2) والجدول رقم (4-3) حدود الملوثات الغازية المسموح فيها لسيارات الشحن الثقيلة ولمسنوات مختلفة كما حدتها وكالة حماية البيئة الأمريكية E.P.A ، وكذلك الحدود المسموح فيها في كاليفورنيا مقدرة بـ gr/hp.hr أيضاً:

YEAR	HC	CO	NO _x	PM
HEAVY-DUTY DIESEL TRUCK ENGINES				
1988	1.3	15.5	10.7	0.60
1990	1.3	15.5	6.0	0.60
1991	1.3	15.5	5.0	0.25
1994	1.3	15.5	5.0	0.1
1998	1.3	15.5	4.0	0.1
URBAN BUS ENGINES				
1991	1.3	15.5	5.0	0.25
1993	1.3	15.5	5.0	0.1
1994	1.3	15.5	5.0	0.07
1996	1.3	15.5	5.0	0.05*
1998	1.3	15.5	4.0	0.05*

الجدول رقم (4-2) : حدود الملوثات الغازية المسموح فيها لسيارات الشحن الثقيلة

المحددة من قبل وكالة حماية البيئة الأمريكية E.P.A

أما عن حدود الملوثات الغازية الناتجة من محركات الديزل الخفيفة والثقيلة كما حدتها القوانين اليابانية فقد تبنتها وزارة النقل اليابانية (Ministry of Transport (MOT والتي حددت الهدف من تخفيض هذه النسب لتتلاءم مع توصيات المجمع الرئيسي للتحكم بالملوثات البيئية Central Council for Environmental Pollution Control (CCEPC) وبإشراف رئيسي من وزارة البيئة .

YEAR	NMHC	THC	CO	NO _x	PM
HEAVY-DUTY DIESEL TRUCK ENGINES					
1987	-	1.3	15.5	6.0	0.60
1991	1.2	1.3	15.5	5.0	0.25
1994	1.2	1.3	15.5	5.0	0.10
URBAN BUS ENGINES					
1991	1.2	1.3	15.5	5.0	0.10
1994	1.2	1.3	15.5	5.0	0.07
1996	1.2	1.3	15.5	4.0	0.05
Hydrocarbons(HC),regulated either as total hydrocarbon emissions(THC) or as nonmethane hydrocarbons (NMHC)					

الجدول رقم (4-3) : حدود الملوثات الغازية المسموح فيها لسيارات الشحن الثقيلة والمحددة في كاليفورنيا .

يوضّح الجدول رقم (4-4) الملوثات الغازية المسموح فيها للسيارات العاملة على وقود الديزل مقدرة بـ gr/km كما حدّتها القوانين اليابانية ولفنتين من سيارات الركاب تبعاً لمؤشر الوزن ولأعوام مختلفة ،أما الجدول رقم (4-5) فيوضّح هذه الحدود لأنواع مختلفة من الشاحنات التجارية.

في أوروبا ألزم منتجو المحركات بالتقيّد بالحدود المبيّنة في الجدول رقم (4-6) والمقدّرة بـ gr/km حيث من الواضح أن هذه التشريعات ستكون أكثر صرامة اعتباراً من عام 2005 ، وقد وضع الاتحاد الأوروبي European Union حوافز مالية تشجيعية للدول التي تطبّق التكنولوجيات الفعّالة المخفّفة لهذه الملوثات ، مثل السماح للدول الأعضاء الموقعة على الاتفاقية بتخفيض الضرائب على السيارات.

بغرض إجراء مقارنة سريعة للملوثات الناجمة عن محركات الاحتراق الداخلي نورد فيما يلي الجدول رقم (4-7) الذي يوضّح الملوثات الناتجة من محركات الاحتراق الداخلي البنزينية العادية (وأعطيت النسبة المئوية 100% بغرض المقارنة)، والمزوّدة بمحولات حفازة، وكذلك العاملة على وقود الديزل بدون محولات حفازة ،حيث يتضح لنا مباشرة من الجدول الأمور الآتية :

1-إن تزويد المحركات البنزينية بمحولات حفازة يلعب دوراً كبيراً في تخفيض كل من CO , HC , NO_x .

2-نسبة ما تصدره محركات البنزين حتى تلك المزودة بمحولات حفازة من غاز CO أكبر بكثير (بحدود 20 مرة) بالمقارنة مع محركات الديزل .

3-نسبة ما تصدره محركات البنزين والمزودة بمحولات حفازة من HC أكبر بالمقارنة مع محركات الديزل.

4- تتقارب نسبة ما تصدره محركات البنزين ومحركات الديزل من NO_x .

Vehicle Weight	year	CO		HC		NO _x		PM	
		max	mean	max	mean	max	mean	max	mean
أقل من 1265 Kg	1986	2.7	2.1	0.62	0.40	0.98	0.70	—	—
	1990	2.7	2.1	0.62	0.40	0.72	0.50	—	—
	1994	2.7	2.1	0.62	0.40	0.72	0.50	0.34	0.20
	1997	2.7	2.1	0.62	0.40	0.55	0.40	0.14	0.08
	2002	—	0.63	—	0.12	—	0.28	—	0.052
أكثر من 1265 Kg	1986	2.7	2.1	0.62	0.40	1.26	0.90	—	—
	1992	2.7	2.1	0.62	0.40	0.84	0.60	—	—
	1994	2.7	2.1	0.62	0.40	0.84	0.60	0.34	0.20
	19998	2.7	2.1	0.62	0.40	0.55	0.40	0.14	0.08
	2002	—	0.63	—	0.12	—	0.30	—	0.056

جدول رقم (4-4) : حدود الملوثات الغازية المسموح فيها للشاحنات

التجارية العاملة على وقود الديزل مقدرة بـ gr/km حسب القوانين اليابانية .

Vehi cle Wei ght	Year	Test	Unit	CO		HC		NO _x		PM	
				ma x	mean	ma x	mean	max	mean	max	mean
أقل من 1700 Kg	1988	10-15 mode	gr / km	2.7	2.1	0.6 2	0.40	1.26	0.90	—	—
	1993			2.7	2.1	0.6 2	0.40	0.84	0.60	0.34	0.20
	1997			2.7	2.1	0.6 2	0.40	0.55	0.40	0.14	0.08
	2002			—	0.63	—	0.12	—	0.28	—	0.052
1700-2500 Kg	1988	6 mode	ppm	98 0	970	67 0	510	520 (DI) 350 (IDI)	380 (DI) 260 (IDI)	—	—
	1993	10-15 mode	gr / km	2.7	2.1	0.6 2	0.40	1.82	1.30	0.43	0.25
	97/99			2.7	2.1	0.6 2	0.40	0.97	0.70	0.18	0.09
	2003			—	0.63	—	0.12	—	0.49	—	0.06
أكثر من 2500 Kg	88/89	6 mode	ppm	98 0	790	67 0	510	520 (DI) 350 (IDI)	400 (DI) 260 (IDI)	—	—
	1994	13 mode	gr / km	9.2 0	7.40	3.8 0	2.90	7.80 (DI) 6.80 (IDI)	6.00 (DI) 5.00 (IDI)	0.96	0.70
	97/99			9.2 0	7.40	3.8 0	2.90	5.80	4.50	0.49	0.25
	03/04			—	2.22	—	0.87	—	3.38	—	0.18

جدول رقم (4-5) : حدود الملوثات الغازية المسموح فيها لسيارات الركاب
العامة على وقود الديزل مقدرة بـ gr/km و ppm حسب القوانين اليابانية .

5- تتمتع محركات الديزل بنسبة إصدار منخفضة لغاز CO₂ مقارنة مع محركات البنزين التي ارتفعت نسبة ما تصدره من CO₂ من جراء عملية الأكسدة التي تمت لغاز CO وتحويله إلى غاز CO₂.

Diesel Engines	year	CO	HC	NO _x	HC+NO _x	Particulate
	1996	1.00	—	—	0.70	0.08
	2000	0.64	—	0.50	0.56	0.05
	2005	0.50	—	0.25	0.30	0.025
Petrol Engines	1996	2.20	—	—	0.50	—
	2000	2.30	2.20	0.15	—	—
	2005	1.00	0.10	0.08	—	—

جدول رقم (4-6) : حدود الملوثات الغازية المسموح فيها لسيارات الركاب العاملة على وقود الديزل مقدرة بـ gr/km حسب القوانين الأوروبية .

Vehicles	Carbon dioxide CO ₂ %	Particulate matter PM%	Oxides of nitrogen NO _x %	Hydro – carbons HC%	Carbon monoxide CO%
Petrol car without a catalyst	100	---	100	100	100
Petrol cars with a catalyst	100	---	23	19	42
Diesel cars without a catalyst	85	100	31	3	2

جدول رقم (4-7) : الملوثات الناتجة من محركات الاحتراق الداخلي البنزينية العادية، والمزودة بمحولات حفازة ، وكذلك العاملة على وقود الديزل بدون محولات حفازة .

5- المعايير الوطنية لملوثات الهواء:

يوضح الجدول (4-8) المعايير الوطنية لملوثات الهواء، والجدول رقم (4-9) متوسط التراكيز اليومية لكل من NO_x , NO_2 , SO_2 , CO والتركيز المسموح فيه حسب WHO (منظمة الصحة العالمية)، والمقترح السوري وعدد مرات التجاوز عن الحد المسموح فيه في اليوم وذلك في إحدى مناطق مدينة دمشق، مع الانتباه إلى أن النسبة $SO_2=500 \mu g/m^3$ تعتبر عتبة الإنذار لهذا الغاز، على أن تقاس خلال ثلاث ساعات متتالية.

عدد التجاوزات المسموح بها	القيمة الحدية	فترة التعرض	الملوث
—	25.8 ppm	30*10 ³ $\mu g/m^3$	CO
	8.6 ppm	10*10 ³ $\mu g/m^3$	
18 مرة	0.105 ppm	200 $\mu g/m^3$	NO ₂
24 مرة	0.132 ppm	350 $\mu g/m^3$	SO ₂
3 مرات	0.047 ppm	125 $\mu g/m^3$	

جدول رقم (4-8) : المعايير الوطنية لملوثات الهواء .

مما سبق يتّضح لنا ضرورة إيجاد الحلول السريعة التي من شأنها تخفيض نسبة هذه الملوثات وخاصة إذا علمنا أنه وفي بعض المناطق ووفق نتائج قياس غاز SO_2 خلال الفترة 2000-2001 كان عدد مرات التجاوز عن الحد المسموح هو 85 مرة (المتوسط اليومي)، علماً أن المعيار الوطني لهذا الملوث يوضح أن عدد التجاوزات المسموح فيه هو 3 مرات في اليوم .

عدد مرات تجاوز المعيار المسموح به	التركيز العياري المسموح فيه وفق WHO ومقترح المعايير السورية ppm	المتوسط ppm	مجال قيم التراكيز المسجلة ppm	الملوث
3-21 (حسب منطقة الدراسة)	—	0.166+0.089	0.01-0.621	NO _x
—	0.105 / day	0.065+0.029	0.01- 0.215	NO ₂
0-14 (حسب منطقة الدراسة)	0.0478	—	0.005 - 0.146	SO ₂
0-6 (حسب منطقة الدراسة)	8.6 / 8 hr	—	—	CO

الجدول رقم (4-9) : متوسط التراكيز اليومية لبعض الملوثات و التركيز العياري المسموح فيه وفق WHO ومقترح المعايير السورية بـ ppm وعدد المرات التي تم فيها تجاوز المعيار المسموح فيه.

من الضروري أن نشير هنا إلى أنه عند إجراء الفحص الفني للسيارات وقياس الملوثات الناتجة منها تُعتمد النسب المسموح فيها للغازات الملوثة على الشكل التالي :

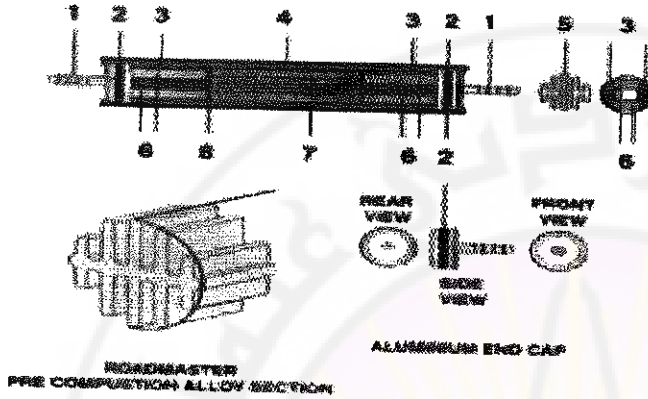
5%	CO
1000 ppm vol	HC
60%	C هباب الفحم (الدخان الأسود)

ولكن بعد الرجوع إلى القيم المحددة من قبل الشركات المصنعة ولأنواع مختلفة من السيارات سنجد أن الحدود السابقة عالية جداً ، على سبيل المثال يجب أن لا تتجاوز نسبة الهيدروكربونات القيمة 300 ppm ، وهذا ما يفرض علينا ضرورة إعادة النظر في الحدود السابقة بما تتوافق مع القيم المحددة من قبل الشركات المصنعة للسيارات، مع الأخذ بالاعتبار نوعية الوقود المتوفر والعمر الفني الواسطي للسيارات العاملة.

6- بعض الحلول التقنية التي توصل إليها الباحثون بغرض الإقلال من الملوثات الناجمة عن عمل المحركات:

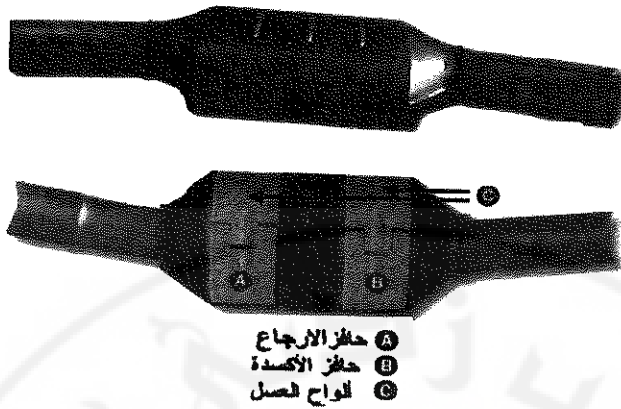
من الصعوبة بمكان الإحاطة بجميع النتائج والحلول التي توصلت إليها مراكز البحث العلمي المختلفة المهتمة بموضوع البيئة والتخفيف من الملوثات الناجمة عن عمل محركات الاحتراق الداخلي ، ومع ذلك فإننا سنتناول هنا أحد الحلول التقنية هو حل نال قبولاً من مختلف الهيئات العلمية البحثية، وأصبح قيد التطبيق الفعلي في بريطانيا ، وسنعرض موضوعاً آخر مازال قيد البحث، يمكن أن يكون الأساس الذي سيقوم عليه نوع جديد من المحركات قليلة الملوثات الغازية .

- | | |
|-----------------------------------|----------------------------|
| 1. End Cap | 5. Alloy |
| 2. Rubber Seat | 6. Magnets |
| 3. Rubber Magnet Holder | 7. Rubber Insulating Cover |
| 4. Pre-Combustion Patterned Alloy | 8. Rubber Compression Ring |



الشكل (4-6): المحول الأيوني

توصل الباحثون في بريطانيا إلى قناعة مفادها أن استخدام المحولات الحفازة Catalytic Convertors قد لا يكون الحل الاقتصادي الفعال والأمثل لأسباب سببها لاحقاً عند إجراء المقارنة بين الحل المقترح وهذه المحولات ، حيث قدموا للعالم تجهيزة تقنية بسيطة (Roadmaster, Vehicle Fuel Ioniser) ، ويمكن أن تتركب قبل المفحّم Carburettor أو قبل مضخة الحقن High- Pressure Pump لكي يمر الوقود من خلال شبكة تعزيز خاصة ترفع من رقم أوكتان وقود البنزين ، أو رقم سيتان وقود الديزل ، وهذا يدل على إمكانية التركيب على المحركات العاملة على الوقود الخالي من الرصاص أو الوقود العادي ، وكذلك على المحركات العاملة على وقود الديزل ، حيث يمكنها أن تحسّن من اقتصادية المحرك وأدائه بشكل عام (قدرة المحرك) كما أكّدت ذلك وكالة حماية البيئة الأمريكية EPA . من الميزات الإيجابية لهذه المحولات الأيونية (الشاردية) نذكر :

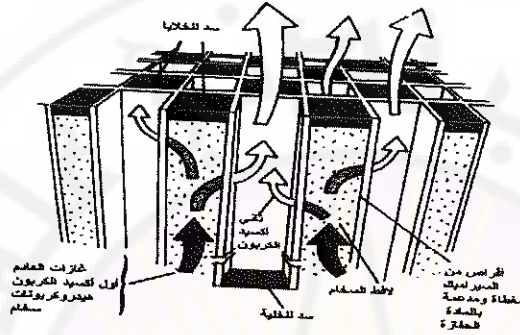


الشكل رقم (4-7) المحول الحفّاز ذو ثلاث مراحل

- تخفيض الملوثات بنسبة تصل إلى 60 % .
- منع حدوث ترسبات كربونية على سطح الأسطوانة العلوي والصمامات وشمعة الإشعال .
- زيادة فترة صلاحية زيت تزييت المحرك .
- تحسين عملية احتراق الوقود وأداء أفضل للمحرك .
- رفع اقتصادية المحرك بحدود 15% .
- تجعل من الوقود الحاوي على الرصاص وقوداً خالياً من الرصاص بدون حدوث أي ضياع في القدرة .
- فترة ضمان وصلاحية الجهاز طويلة (100,000 miles or two year) .
- ثمنه اقتصادي وأقل من كلفة المحولات الحفازة .
- طريقة أو أسلوب آخر يستخدم للحد من الملوثات CO, HC, NO_x وذلك باستخدام محول ذي ثلاث مراحل أو المحول ذي وسيط التفاعل حيث يكون مغلفاً لقرص مشابه لخلية النحل (honeycomb) من السيراميك ، الشكلان (4-7 و 4-8) . يساعد الوسيط على تحويل الملوثات HC, NO_x, CO حسب المعادلات التالية :

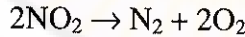
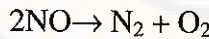


يستخدم المحول نوعين من الوسائط هما : وسيط أكسدة ووسيط تخفيض . يتكون هذان الوسيطان من السيراميك المطلي بحافز معدني (معدن البلاتين أو الراديوم) . يتكون المحفز من جزئين رئيسيين (يمكن من خلالهما التعرف على مبدأ العمل) ، الشكل رقم (4-8) :



الشكل رقم (4-8) :مقطع عرضي في المحوّل

* المحفز المرجع :وهو محفز خافض ويعتبر أول مرحلة من مراحل المحول الحافزي،حيث يستخدم البلاتين والراديوم للحد من التلوث الناتج عن أكسيد الآزوت ويتم ذلك عند تلامس غاز NO أو NO_x مع الحافز الذي يقوم بنزع ذرة الأوكسجين من الجزيء وإمسакها وبالتالي يتحرر الأوكسجين O₂، ثم تتحد ذرة من النيتروجين مع ذرة نيتروجين أخرى نزعت بالطريقة نفسها ليتكون N₂ وذلك وفق المعادلتين :



*المحفز المؤكسد : وهو المرحلة الثانية من مراحل التحويل حيث يتم خلالها الحد من الهيدروكربونات غير المحترقة وأكاسيد الكربون بحرقهم (أكسدتهم) بمساعدة الوسيط المعدني الموجود في المحول،والأوكسجين المتبقي مع غازات العادم ، وهذا ما توضحه المعادلة التالية : $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$

ولكن من عيوب هذا المحول أنه يعمل بكفاءة فقط عند درجات الحرارة العالية ، بمعنى أن كفاءة المحول تكون منخفضة عند بدء تشغيل السيارة وبالتالي من

الضروري تركيب المحوّل بالقرب من المحرك حيث تكون غازات العادم أكثر حرارة عند دخولها إلى المحول ، لكن هذا الإجراء ينقص من عمر المحول لتعرضه لدرجات حرارة عالية .

المحوّل VCI محولات المادة الحفازة :

قدم مختبر الطاقات المتجددة العالمي (NREL National Renewable Energy Laboratory) نوعاً آخر من المحولات القادرة على إزالة الهيدروكربونات وبقية الملوثات بإضافة عازل متغير الموصلية الحرارية (VCI Variable Conductance) ، الشكل رقم (4-9) وهذا المحول المحفز يبقى حاراً وبدرجة كافية للرحلة القادمة للمركبة . أثبتت هذه الشركة عملياً أن من شأن هذا المحول تخفيض HC بمقدار 84% و CO بمقدار 91% ، وهذا يعني أنه باستخدام هذا النوع من المحولات يمكن الوصول إلى الحدود المسموح بها للملوثات في كاليفورنيا .



الشكل رقم (4-9) محولات المادة الحفازة المعزولة

إن استخدام مثل هذا النوع من المحولات يساعدنا في الحد من مشكلة التلوث التي نواجهها في عصرنا الحالي، وخاصة إذا علمنا أن VCI تفيدنا أيضاً في حل مشاكل انبعاثات الإقلاع البارد بالمقارنة مع المحولات الأخرى .

يوضح الجدول رقم (4-10) مقارنة بسيطة بين نسبة الملوثات الصادرة عن محركات البنزين مقدرة ب gr/mile وذلك بالمقارنة مع حدود ومقاييس السيارة المنخفضة التلوث (Ultra Low Emission Vehicle) ULEV .

أخيراً نقول إن هناك العديد والعديد من التقنيات الحديثة التي يمكن استخدامها للحد من الغازات الصادرة المنطلقة مع غازات العادم منها على سبيل المثال التقنية RJM ARIS المستخدمة للحد من أكاسيد الآزوت NO_x وبمعدل يصل إلى % (75-90) وذلك بالنسبة لمحركات الديزل ومحركات الغاز الطبيعي.

مقاييس ULEV	محول VCI	محول عادي	الغاز الملوث
0.040	0.031	0.194	HC
1.700	0.131	1.463	CO
0.200	0.066	0.135	NO_x

الجدول رقم (4-10) : مقارنة بين نسبة الملوثات الصادرة عن محركات البنزين

باستخدام محولات مختلفة .

تمتاز هذه التقنية بالمميزات الآتية :

- إمكانية إزالة نسبة كبيرة من NO_x .
- عدم حاجتها لأنظمة البخار والهواء المضغوط لفصل الأمونيا NH_3 المستخدمة ككاشف في المحول .
- تساهم في رفع اقتصادية المحرك وبشكل كبير .
- تعمل هذه التقنية بغض النظر عن حمولة المحرك وضمن مجال يتراوح بين % (30-100) من حمولة المحرك .

من الضروري أن نشير أخيراً إلى بعض الملاحظات التي من شأنها التثقيف من التلوث البيئي نذكر منها:

- ضرورة توعية المواطنين بضرورة الحد من استخدام سياراتهم الشخصية بغرض الانتقال لمسافات قصيرة نسبياً وخاصة خلال ساعات ذروة الازدحام والاعتماد في مثل هذه الحالات على وسائل النقل العامة.

- في الأيام الباردة وعندما تتطلب الظروف الجوية ضرورة تهيئة محرك المركبة من الضروري الانطلاق بالسيارة مباشرة بعد وصول درجة حرارة المحرك إلى درجة حرارة التشغيل النظامية وعدم إطالة هذه الفترة قدر الإمكان

- أن تكون قيادة المركبة قيادة سلسلة هادئة تخلو من التسارع الشديد أو الترملة العنيفة المتكررة مما ينعكس سلباً على استهلاك المحرك من الوقود وعلى كمية الملوثات الناتجة، والمسير على سرعات تتلاءم مع ظروف الطريق ، والانتقال دوماً إلى نسبة التغير الأعلى كلما سمحت الظروف بذلك .

- عدم اصطحاب الأمتعة والحمولات غير الضرورية ونزع منصب السقف في حال عدم استخدامه .

- ضرورة مراقبة ضغط الهواء في العجلات بشكل دائم وإجراء العيار اللازم، وكذلك مراقبة استهلاك المحرك من الوقود، لأن زيادة قيم الاستهلاك دلالة على حدوث عطل ما في المحرك أو سوء حالته الفنية.

- تشغيل تجهيزات التدفئة أو التكييف في السيارة عند الحاجة وبشكل جزئي لما لذلك من تأثير على مدى استهلاك المحرك من الوقود .

7- ظاهرة الاحتباس الحراري GREENHOUSE EFFECT والملوثات المساعدة على حدوث الظاهرة :

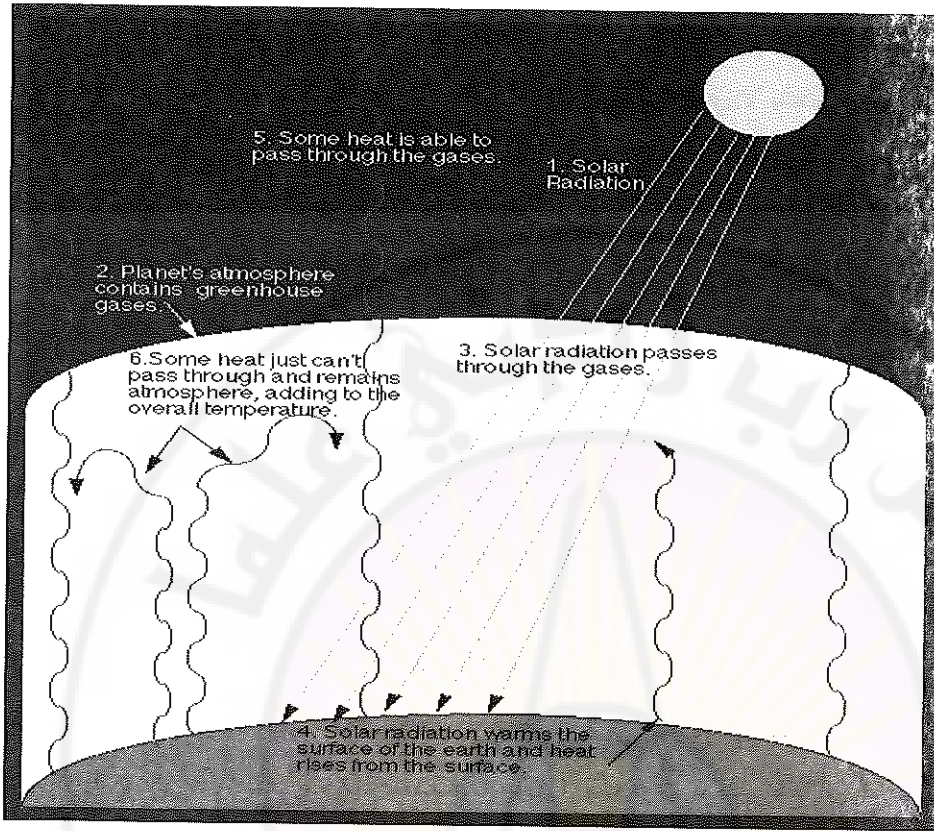
تشير الدراسات والبحوث البيئية إلى أن هذا الكوكب الجميل مقبل على تغيرات مناخية قاسية تتسم بارتفاع درجة حرارة الأرض إلى درجة قد تصبح فيها الكرة الأرضية كالبيت الزجاجي الكبير، وكذلك من الممكن أن تجري هذه التغيرات بمعدلات أسرع مما كانت تنتبأ به المعطيات المناخية المعروفة، إذ تشير تقديرات عالمية حديثة إلى أن

درجات الحرارة في أجزاء مختلفة من الكرة الأرضية سترتفع بمقدار ضعف ما كانت تتوقعه الدراسات المناخية .

وهنا لابد من التساؤل عن سبب هذه التغيرات، وعلى عاتق من تقع المسؤولية ؟
وجدنا أن التلوث البيئي الناتج عن احتراق الوقود الأحفوري يساهم إلى جانب العديد من المصادر في حدوث هذه الظاهرة، ويأتي في مقدمة هذه الملوثات: ثاني أكسيد الكربون CO_2 ، والميثانول، وأكسيد النيتروز N_2O .

بغرض توضيح أكثر نقول إن غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 الذي يمكن أن ينتج عن احتراق الفحم الحجري، ومن المصانع، ومن عوادم السيارات والمركبات، ومن محطات توليد الطاقة يشبه الزجاج في خصائصه الضوئية ونفاذيته للموجات الكهرومغناطيسية، فالزجاج ينفذ جميع الموجات الكهرومغناطيسية عدا الأشعة تحت الحمراء (الجزء من أشعة الضوء المسؤول عن الحرارة لذلك تستخدم البيوت الزجاجية كمحميات يتم داخلها استزراع بعض المحاصيل الزراعية)، وعندما تسقط أشعة الشمس على الزجاج تنفذ جميع الموجات إلى الداخل عدا الأشعة تحت الحمراء ولكن عندما تمتص هذه الموجات من قبل المواد الموجودة داخل البيت وتعيد بثها فإن جزءاً من هذه الأشعة ينطلق على شكل أشعة تحت حمراء فلا تستطيع الخروج من البيت الزجاجي فترتفع درجة الحرارة داخل البيت، فغاز ثاني أكسيد الكربون يقوم بمهمة الزجاج في البيت الزجاجي، فلو تخيلنا الغلاف الغازي المحيط بالكرة الأرضية والمشبع بغاز ثاني أكسيد الكربون نجد وكأنه قبة زجاجية تلتف حول الكرة الأرضية، وعند سقوط ضوء أشعة الشمس على الغلاف الغازي تنفذ جميع الموجات الكهرومغناطيسية عدا الأشعة تحت الحمراء وعندما تنعكس فإن جزءاً من هذه الأشعة يرتد على شكل أشعة تحت حمراء فلا تستطيع الخروج من الغلاف الجوي، الأمر الذي يؤدي إلى انحباس الحرارة داخل الغلاف الهوائي الجوي وارتفاع درجة الحرارة على الأرض .
يمكننا القول مما سبق إن ظاهرة الاحتباس الحراري تنتج أساساً عن تجاوز أحد المركبات الأساسية للبيئة للتراكيز المقبولة، وبالتالي مع وصول أشعة الشمس المحملة بكم كبير جداً من الطاقة إلى الغلاف الجوي المحيط بالأرض ، تقوم طبقاته المختلفة

بعكس جزء كبير منها وتعيده إلى الفضاء، وتبدّد جزءاً آخر، وتقوم بامتصاص طاقة جزء آخر في تفاعلات مستهلكة للطاقة ، أما الجزء المتبقي والذي لا يشكل سوى جزء بسيط من أشعة الشمس الواصلة أصلاً فيصل إلى سطح الأرض وتقوم النباتات الخضراء بامتصاص جزء كبير منه في تفاعلات التركيب الضوئي ، وتمتص القشرة الأرضية جزءاً منه (يقع غالباً في مجال الأمواج القصيرة) وتقوم بتحويله إلى أمواج حرارية طويلة تعمل على رفع درجة حرارة الأرض. خلال فترة انعدام الأشعة الشمسية (الليل بشكل خاص)، يتم إعادة جزء كبير من هذه الأشعة الممتصة إلى الفضاء مما يحافظ على ثبات حرارة الأرض ضمن الحدود المناسبة لأشكال الحياة المختلفة. الآن وبسبب وجود عدد من الغازات في الجو فإن جزءاً من الحرارة يعود إلى الأرض وتمنع هذه الغازات خروج الحرارة إلى الجو الخارجي، ويمكن القول إن احمرار السماء خلال الليالي الغائمة هو انعكاس واضح لهذه الظاهرة الطبيعية، إلا أن التطور الصناعي وزيادة استخدام الوقود الأحفوري أدى إلى زيادة تركيز هذه الغازات في الجو وبالتالي زيادة كمية الأشعة الحرارية المعادة إلى سطح الأرض وحيث تؤدي إلى ارتفاع تدريجي بطيء ولكنه مستمر لحرارة الجو، وقد ترافق مع تراجع جليد القطبين وحدوث تغيرات في المناخ بشكل عام .

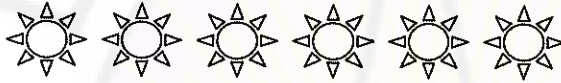


إذن ومما سبق يمكن القول إن الاحتباس الحراري ضروري لاستمرار الحياة على الأرض لأنه يمنع درجة الحرارة من الانخفاض الكبير في الليل، إلا أن النشاط البشري قد ساهم في زيادة كمية الغازات المنبعثة في الجو وعجز قدرة التنقية الذاتية على امتصاص هذه التراكيز الزائدة، وكل ذلك أدى إلى احتباس المزيد من الحرارة والارتفاع التدريجي البطيء والمستمر في حرارة الأرض . ولكن هل بدأت المشكلة فعلاً ؟ وهل على المهتمين بشؤون البيئة دق ناقوس الخطر ؟

ثمة تقارير مقلقة عن تسارع ذوبان ثلوج القطبين المتجمدين في شمال الكرة الأرضية وجنوبها صدر أحدثها عن "الملتقى الدولي عن القطبين"، حيث لم تخف الصيغة العلمية المحايدة للبيان المخاطر الكبيرة التي تتهدد ثلوج القطبين وأن منطقة ألاسكا قد سجلت زيادة بمقدار سبع درجات مئوية خلال القرن الأخير وهذا يعتبر فريداً من نوعه في

التاريخ المعروف للمنطقتين المتجمعتين عند طرفي الكوكب ،وعندما نقرأ في البيان نفسه توقع العلماء لسلسلة من الكوارث التي قد تتجم عن استمرار الاتجاه الحالي في ارتفاع الحرارة في مناخ الأرض حيث أن مناطق مثل فلوريدا ولوزيانا ستعاني فيضانات تؤدي إلى غمر أقسام كبيرة منها ،وعندما تشير تقارير الأمم المتحدة إلى أن الأنشطة البشرية تتسبب في إطلاق 177 مليون طن من غاز CO₂ على مستوى العالم، وفي الكويت وحدها أدت حرائق آبار النفط (حوالي 8 مليون برميل يومياً) في حرب الخليج الثانية إلى إطلاق حوالي مليوني طن من هذا الغاز في سماء الكويت ، نضيف لما سبق توقع العلماء اختفاء 19% من الأراضي الزراعية في مصر بحلول عام 2050 م وأن المحاصيل الزراعية في مختلف دول العالم ستتخفض بشكل كبير في المستقبل إذا لم تتخذ الاحتياطات اللازمة للحد من التلوث، ويضاف إلى ذلك تصريح بعض العلماء بوجود تقوب أخرى في طبقة الأوزون أقل اتساعاً من الثقب الكبير الذي لوحظ في منتصف الثمانينات فوق القطب الجنوبي وهذه التقوب ستساعد في زيادة تسرب الأشعة فوق البنفسجية الضارة UVB (والمسببة لسرطانات الجلد وأمراض وبائية أخرى) إلى سطح الأرض ،وأخيراً عندما تتسابق 141 دولة (منها 30 دولة صناعية) إلى عقد المؤتمرات لمناقشة هذه التغيرات البيئية وأشهرها مؤتمر كيوتو الذي انعقد في اليابان عام 1997 في مدينة كيوتو (العاصمة السابقة للإمبراطورية اليابانية) والذي أسفر عن توقيع اتفاقية بخصوص تخفيض ما معدله 5.2% من الغازات الضارة المنبعثة من مصادر مختلفة والمسببة لظاهرة الاحتباس الحراري وذلك بالنسبة للفترة من 2008 وحتى 2012 مقارنة بالانبعاثات الخاصة بعقد التسعينات ، بعد أن عانت هذه الاتفاقية من مخاض طويل تمثل بانسحاب الولايات المتحدة منه عام 2001 ورفض بعض الدول مثل أستراليا التوقيع ،ألا يكفي كل ما ذكر بالإضافة إلى بعض التقارير التي ذكرتها مجلة "الصحة العامة " البريطانية حول وجود علاقة وطيدة بين ارتفاع عدد المصابين بأمراض الدماغ المختلفة (ومنها الزهايمر والباركنسون) في الغرب وأسلوب الحياة في الدول الصناعية، وما أضافه البروفسور كولن بريتشارد أحد المساهمين في إعداد التقرير الخاص بأمراض الدماغ

في المجلة، نجد في النهاية أنه يتوجب على الجميع أن يهتم بهذه القضية، خاصة وأن الأسباب وراء هذا الارتفاع مرتبطة بأوضاع البيئة في الغرب عموماً، وتحديداً في بريطانيا، وأن عدد الأشخاص الذين توفوا في بريطانيا نتيجة أمراض الدماغ المكتسبة في نهاية عقد السبعينات بلغ نحو ثلاثة آلاف شخص في العام الواحد، بينما ارتفع العدد بشكل ملحوظ في نهاية عقد التسعينات إلى 10 آلاف شخص، ألا يدعونا كل ذلك إلى دق ناقوس الخطر أم أننا سننظر اليوم الذي سنجد فيه أنفسنا نعيش داخل بيت زجاجي كبير! ألا يجب أن نأخذ برأي بعض العلماء بخصوص اتفاقية كيوتو، وهو يؤكد ضرورة خفض انبعاث غاز CO_2 إلى نسب أكبر من تلك المقترحة في النصف الأول من هذا القرن وذلك بغية البقاء على تغير مناخي في مستويات مقبولة .



الفصل الخامس
لمحة عن بعض الأنظمة الإلكترونية الحديثة
المستخدمة على السيارات



لمحة عن بعض الأنظمة الإلكترونية الحديثة المستخدمة على السيارات

مقدمة:

سنتطرق وبشكل موجز لدراسة بعض أنظمة الحقن الإلكتروني للوقود وكذلك لنظام منع الطرق (الصفع) المطبقة على المحركات الحديثة لما لهذه الأنظمة من أهمية بالغة في وقتنا الحاضر.

إن الغرض من نظام الحقن الإلكتروني للوقود الذي يتم التحكم به بواسطة وحدة تحكم هو:

- 1- تنظيم عمل المحرك و الأجهزة الأخرى المتعلقة به لكي يتم عملها بسلاسة واستقرار .
 - 2- توفير الكمية المطلوبة من خليط الهواء/الوقود المثالي في الوقت المناسب وذلك كاستجابة لظروف القيادة (رغبة السائق - الإشارات الواردة من الحساسات المتنوعة).
 - 3- تحسين اقتصادية عمل المحرك.
 - 4- تحسين المردود من خلال زيادة القدرة الناتجة عن احتراق الوقود .
 - 5- تخفيض الإصدارات والانبعاثات الغازية الضارة الصادرة من المحرك .
- المكونات الرئيسية لنظام الحقن الإلكتروني للوقود:
- يمكن تقسيم نظام الحقن الإلكتروني للوقود إلى ثلاثة أنظمة فرعية وهي:
- 1- نظام إمداد الوقود :ويقوم بإيصال وقود مضغوط وذو ضغط منظم إلى البخاخات .
 - 2- نظام إدخال الهواء: يتحكم في مخرجات المحرك عن طريق إمداد الهواء لكافة احتياجات المحرك.
 - 3- نظام التحكم: يستخدم وحدة معالجة البيانات ليتحكم في حجم الوقود و توقيت حقن الوقود وكمية الهواء الداخل من خلال مسارات فرعية بناء على إشارات متنوعة من حساسات المحرك.

سنتطرق فيما يلي إلى دراسة أنظمة التحكم بكل من دائرة الوقود وحركة الصمامات .

أولاً : التحكم الإلكتروني بدارة الوقود في محركات الاحتراق الداخلي :

مقدمة

نعلم أنه لتحويل الطاقة المخزنة في الوقود إلى قدرة حرارية في محركات الاحتراق الداخلي لابد من تحضير المزيج المكوّن من الهواء و الوقود والقابل للاشتعال، حيث قام المفحم (المغذي) سابقاً بهذه المهمة.

إن اختيار طريقة تشكيل المزيج تتعلق بالمتطلبات الواجب توفرها في المحرك من استطاعة ومصروف الوقود ودرجة سمية الغازات الناتجة عن الاحتراق، وإن دارة التغذية بالوقود حتى الميكانيكية التقليدية منها تؤمن دقة كبيرة في تعبير كمية الوقود بشكل أفضل مما هو عليه في المفحم، إلا أن استعمال الدارات الإلكترونية للتنظيم يسمح بتشكيل أفضل للمزيج وبصورة مثالية أكثر لأنظمة عمل المحرك المختلفة (حالة اللاحمل، تسارع، تحميل جزئي، تحميل كامل) التي تتطلب نسب مزيج مختلفة، ومن الضروري ولتحديد كمية الوقود لابد من معرفة كمية الهواء المسحوبة في كل أسطوانة خلال شوط واحد للمكبس.

تقدر كمية الهواء الداخلة إلى الأسطوانة في دارة البخ الأولي بطريقة غير مباشرة عن طريق قياس سرعة دوران الجذع المعقوف وقياس الضغط في مشعب السحب وعلى أساسها تحدد كمية الوقود ، أما في الدارات الجديدة يتم القياس مباشرة لكمية الهواء الداخل إلى الأسطوانة والذي تحققه الأنظمة الإلكترونية الحديثة والتي سنتعرف عليها دون التعمق في كل من هذه الأنظمة.

1- نظام التحكم الإلكتروني بحقن الوقود (L-JETRONIC)

2- نظام التحكم الإلكتروني بحقن الوقود (LH-JETRONIC) مع القياس لكثافة الهواء عن طريق السلك الساخن.

3- نظام التحكم الإلكتروني بالطرق .

1-نظام التحكم الإلكتروني بحقن الوقود (L-JETRONIC) :

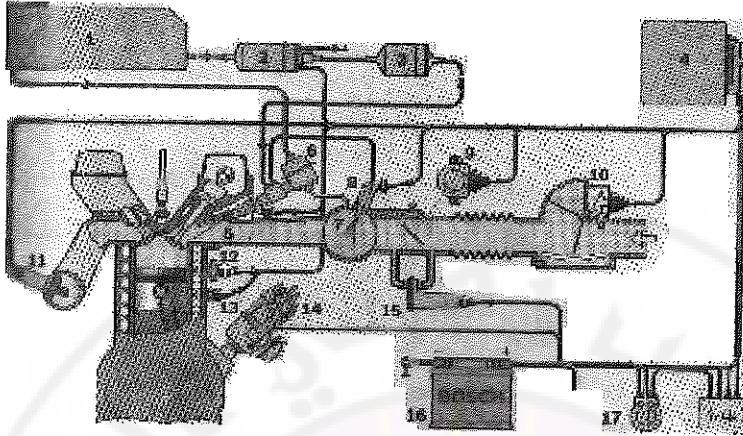
يتميز نظام التحكم الإلكتروني (L-JETRONIC) بالمميزات التالية :

- 1- خفض استهلاك الوقود والدقة في توزيعه على أسطوانات المحرك .
 - 2- زيادة الاستطاعة النوعية للمحرك .
 - 3- تخفيض نسب التلوث في غازات العادم .
 - 4- تحسين قدرة القيادة (التجاوب) للمحرك.
- يتكون النظام من:

1- خزان وقود 2- مضخة وقود كهربائية 3- مصفاة الوقود 4- وحدة التحكم الإلكترونية

- 5- الحاقن 6- منظم الضغط 7- مشعب السحب 8- صمام بدء التشغيل
 - 9-مفتاح الصمام الخانق 10- حساس انسياب الهواء 11-حساس لامبدا 12-
 - مفتاح حراري زمني 13-حساس درجة حرارة المحرك 14-موزع الإشعال
 - 15-تجهيزة الهواء المساعدة 16- المدخنة 17-مفتاح بدء التشغيل
- مبدأ العمل، قياس انسياب الهواء:

يعتبر الهواء المناسب إلى داخل المحرك هو المتغير الرئيسي المحدد لكمية حقن الوقود، حيث ينساب الهواء الداخل عبر حساس انسياب الهواء (10) مما يؤدي لانحراف ذراع الحساس المتحرك بزاوية معينة هذه الزاوية تحوّل إلى إشارة جهد كهربائي عبر مقياس للجهد ترسل هذه الإشارة لوحدة التحكم الإلكترونية (7)



الشكل (5-1) مخطط نظام (L-JETRONIC)

بغرض تحديد كمية الوقود الواجب حقنه حيث يتم إمداد الوقود عن طريق مضخة الوقود الكهربائية (2) بدءاً من خزان الوقود (1) وعن طريق المصفاة الشبكية الناعمة (3) إلى أنبوب التوزيع وكل من الخطوط المخصصة لكل حاقن، كما يوجد منظم ضغط (6) على أنبوب التوزيع يحتوي على نظام للضغط الثابت .
تقوم وحدة التحكم بالإمداد بنبضات فتح وإغلاق وحدات الحقن بحيث أن عملية تعيير فترة فتح وإغلاق الحاقن تحدد كمية الوقود المحقون بدقة. وتعمل هذه الدارة في ظروف مختلفة منها :

- التكيف المناسب لحالات تشغيل مختلفة (بدء التشغيل البارد) : يقوم صمام بدء التشغيل البارد (8) بحقن كمية وقود إضافية إلى داخل مشعب السحب (7) أثناء بدء التشغيل لتأكيد ثبات بدء التشغيل ويحدد المفتاح الزمني الحراري (12) وحساس درجة حرارة المحرك (13) زمن بقاء صمام بدء التشغيل البارد مفتوحاً.



تقوم تجهيزة الهواء المساعدة (15) بتزويد المحرك بكميات هواء إضافية عند الحاجة.

تعتبر وحدة التحكم الإلكترونية مركز كمبيوتر خاص بنظام التحكم الإلكتروني في حقن الوقود وتقوم بمعالجة إشارة الدخل القادمة من الحساسات و حساب مدة الحقن كمقياس لكمية الوقود المحقون كما في الشكل (2-5).

2- نظام التحكم الإلكتروني بحقن الوقود (LH-Jetronic) مع القياس لكثافة الهواء عن طريق السلك الساخن:

بسبب اهتزاز ذراع الحساس الخاص بقياس كمية الهواء المسحوب للاسطوانة في الدارة السابقة ينتج خطأ تعتمد نسبته على مقدار الارتفاع عن سطح البحر، إضافة إلى ذلك يبقى هذا النوع من المقاييس موضع شك بسبب الأجزاء المتحركة فيها،

ولذلك تقاس كتلة الهواء المسحوب للمحرك مباشرة بواسطة مقياس السلك الساخن بحيث تتحقق المميزات التالية :

1- قياسات دقيقة لكتلة الهواء

2- استجابة سريعة لمقياس كتلة الهواء

3- تحسين عمل المحرك.

وهناك ميزات خاصة لاستخدام مقياس السلك الساخن لقياس الكتلة منها :

1- انعدام البنضات الخاطئة.

2- استجابة سريعة.

3 - تصميم بسيط.

4- انعدام الأخطاء في القياس التي يسببها اختلاف درجة حرارة وضغط الهواء المسحوب.

5- عدم وجود أجزاء متحركة.

- التصميم:

يمتاز نظام (LH-Jetronic) عن النظام السابق (L-JETRONIC) بوجود مقياس

السلك الساخن المحدد لكتلة الهواء الموضح في الشكل (3-5):

يتصل هذا المقياس مع وحدة التحكم الإلكترونية ويتألف من:

- اللوحة الإلكترونية وتحوي على عناصر إلكترونية ذات حساسية عالية.

- الدارة المهجنة (2) وتتألف من دارات التحكم التي تؤمن درجة حرارة ثابتة ودارة

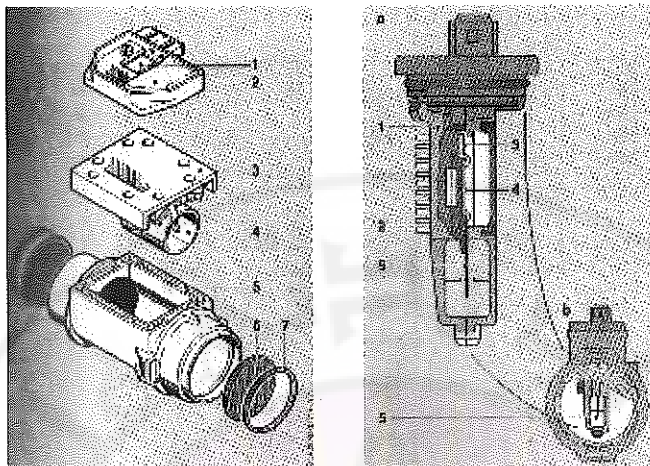
التنظيف الذاتي إضافة إلى الدارة الجسرية الموضحة في الشكل (4-5):

RH : مقاومة السلك الساخن RK : مقاومة حساسية تعويض الحرارة.

R3 : المقاومة الدقيقة .

R1 ، R2 : مقاومات عالية الأداء ومقاومة التعويض الحراري.

UM: جهد انسياب الهواء.

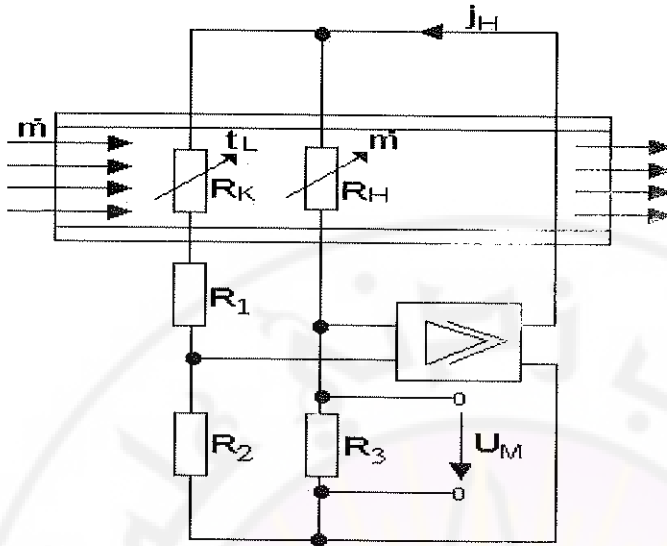


الشكل (3-5) مقياس السلك الساخن في نظام (LH-JETRONIC)

JH : تيار التسخين. m. : تدفق لهواء المسحوب. tl : درجة حرارة الهواء.

- مبدأ العمل : يعتمد السلك الساخن على مبدأ الحرارة الثابتة وذلك بجعل الجهد القطري في الدارة الجسرية ينحدر حتى انعدامه عن طريق تغير قيمة تيار التسخين الذي يقاس عند هبوط الجهد عن طريق المقاومة RH.

وبمرور الهواء يبرد السلك وتنخفض مقاومته ، وهذا يغير العلاقة بين الجهود في الدارة المدروسة ، وتقوم وحدة التحكم بتصحيح هذا الوضع عن طريق زيادة تيار التسخين والذي يعني العودة بدرجة حرارة سلك التسخين إلى الدرجة البدائية ويؤدي إلى تشكيل علاقة ثابتة ومحددة بين الهواء المناسب وتيار التسخين الذي يقيس كتلة الهواء المسحوب إلى داخل أسطوانات المحرك .



الدائرة الجسرية لقياس السلك الساخن لكتلة الهواء

الشكل (5-4): الدارة الجسرية لمقياس السلك الساخن لكتلة الهواء

يتم تعبير السلك الساخن لدرجة حرارة ثابتة بسرعة كبيرة بسبب مقدار الكتلة الصغيرة جداً له وينتج ثابت زمني يبلغ جزءاً صغيراً يقدر بالملي ثانية هذه الخاصية تقدم ميزة كبيرة جداً للنظام. عند الحمل الأقصى للمحرك في حالة حدوث نبضات بسبب سحب الهواء فإن القيمة الحقيقية لكتلة الهواء تقاس بشكل يستبعد فيه خطأ كذلك الذي يظهر في حالة وجود حساس دخول الهواء. أما الخطأ في القياس فيظهر عند الانسياب الرجعي للهواء في حالات السرعات الصغيرة للمحرك وعلى أية حال فإن هذه القياسات يمكن إلغاؤها بطريقة إلكترونية .

صمم السلك الساخن والمقاومة المركبة بحيث يتراوح مجال تيار التسخين ما بين (500-1200 mA) وبحيث يعتمد على مدى انسياب الهواء.

يقوم حساس درجة الحرارة بتعويض سريع للحرارة المفقودة بدخول الهواء.

أظهرت التجارب أن الزمن الثابت 3sec أو أقل ضروري للتأكد من مطابقة دقيقة لإشارة مخرج الحساس ودرجة حرارة الهواء المسحوب والذي يحقق بسبب انخفاض كتلة الحساس والوصلات .

بما أن إشارة الخرج يمكن أن تتغير بسبب تغطية سطح السلك بطبقة من الأوساخ أو الغبار مثلاً فإن السلك يسخن لدرجة حرارة زائدة ولمدة ثانية واحدة وذلك في كل مرة تقوم فيها بإيقاف عمل المحرك ، وهذا يؤدي لحرق أي أوساخ على هذا السلك ، ويأتي أمر الحرق من وحدة التحكم بنظام (LH - Jetronic).

نلاحظ مما سبق أن التصميم الأساسي لنظام (LH - Jetronic) مماثل لـ (L-Jetronic) وذلك بحيث أن المقياس المسمى مقياس السلك الساخن لكتلة الهواء يستخدم ليحل محل الحساس الميكانيكي لانسياب الهواء.

3- نظام التحكم الإلكتروني بالطرق:

من المعروف أنه بغرض تخفيض استهلاك الوقود وزيادة العزم في محركات البنزين نحتاج إلى نسبة انضغاط عالية، ولكن عند ذلك قد لا نستطيع التحكم باشتعال مزيج (الهواء - الوقود) بسبب حدوث ظاهرة الصفع (الطرق).

يعتمد مبدأ عمل النظام على قياس الاهتزازات الناشئة في غرفة الاحتراق بواسطة حساس خاص، ويتم اكتشافها بواسطة دائرة تخمين ومن ثم تغذية المعلومات إلى دائرة التحكم .

- الميزات:

- التحكم بزيادة نسبة الانضغاط بحيث يزداد العزم و ينخفض استهلاك الوقود بالتوافق .

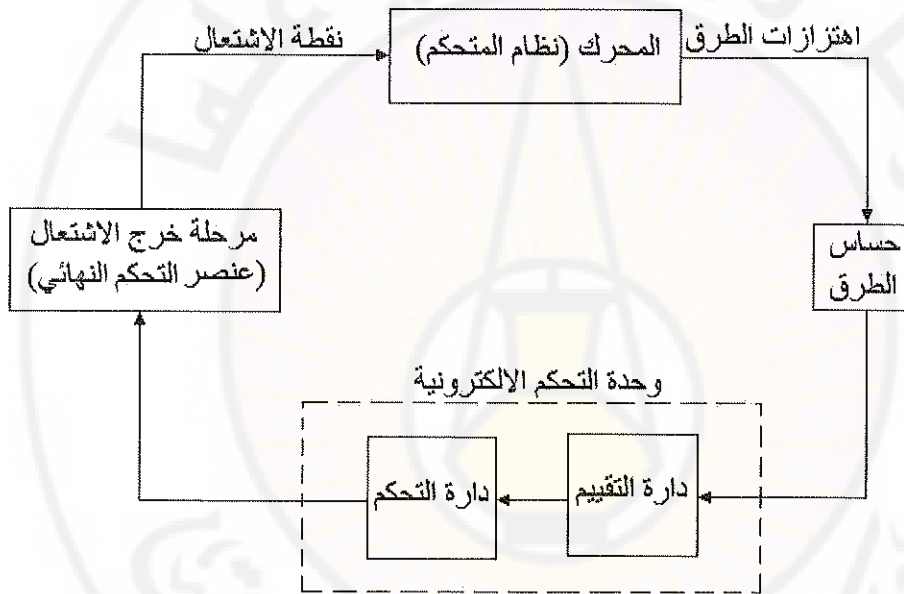
- يمكن أن يعدل مخطط مواصفات الاحتراق، بالأخذ بعين الاعتبار لكل من الاستطاعة والاستهلاك النوعي للوقود ونواتج غازات العادم.

- التحكم بتصحيح زاوية الاشتعال لأنواع مختلفة من الوقود يمكن أن تؤثر سلباً على البيئة ، حيث أن نظام الاشتعال وبشكل آلي يأخذ بعين الاعتبار ظاهرة حدود الطرق (كوظيفة لحالة الاشتعال).

- استخدام الإلكترونيات الحديثة يجعل من الممكن اكتشاف الطرق بشكل مجزأ، ومقارنته مع تحكم الطرق المخصصة لكل أسطوانة.

- التصميم: إن نظام التحكم بالطرق يتم تزويده كوحدة منفصلة مع نظام اشتعال ترانزستوري أو كالأنظمة الموحدة مثل نظام (Motronic) ، وإن إمكانية ضم الاشتعال الإلكتروني والتحكم بالطرق هام بشكل كبير .

يثبت حساس الطرق إلى كتلة المحرك ويحتاج إلى دارة تحكم كوحدة تحكم منفصلة أو كوحدة تحكم موحدة - مبدأ العمل : إن ظاهرة طرق المحرك غير محددة وتعتمد على حالات تشغيل مختلفة ، لذلك من المهم أن ندرس الحدود الصحيحة للطرق . يوضح الشكل (5-5) المخطط الوظيفي لدارة التحكم :

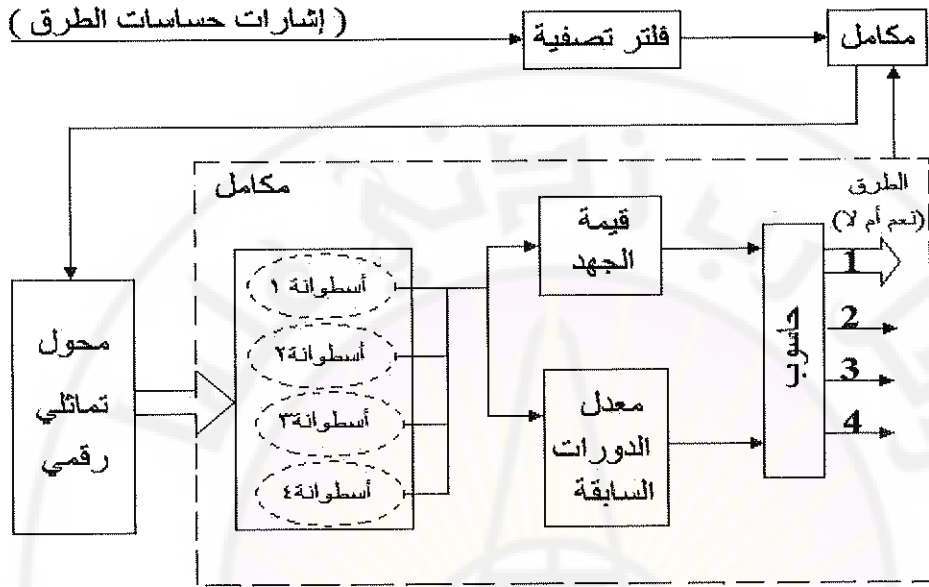


الشكل (5-5) المخطط الوظيفي لدارة التحكم

يتجاوب حساس الطرق للاهتزازات الثابتة الناتجة عن المحرك ، ويحول هذه الاهتزازات إلى إشارة كهربائية حيث تقوم وحدة دارة التحكم المغلقة بتصفية (فلتر) وتحليل خصائص إشارات الطرق .

إن تتبع الطرق والتحكم به يكون لكل أسطوانة على حده ، كما تكون إشارة الطرق

محددة لكل أسطوانة، و بهذا يمكن وبشكل منفصل مطابقة نوع التحكم لكل منها ، كما في الشكل (5-6).



الشكل (5-6)

فور اكتشاف الطرق تقوم دائرة التحكم بتأخير لحظة الاشتعال، عن طريق التحكم بزواوية الاشتعال للاشتعال التالي في الأسطوانة بحدود 1، 5 درجة للجذع المعقوف ، تتكرر هذه العملية لكل اشتعال إذا تم اكتشاف طرق في أي من الأسطوانات . وتستمر هذه العملية إلى أن ينعدم سماع أي طرق عن طريق الحساسات ، ثم يقوم نظام التحكم بتقديم زواوية الاشتعال إلى قيم محددة للابتعاد عن حدود طرق المحرك، وبهذه الطريقة يمكن الوصول إلى كفاءة أكبر لعمل المحرك واستهلاك مثالي في الوقود.

ثانياً: التحكم الإلكتروني بحركة الصمامات (نظام VTEC)

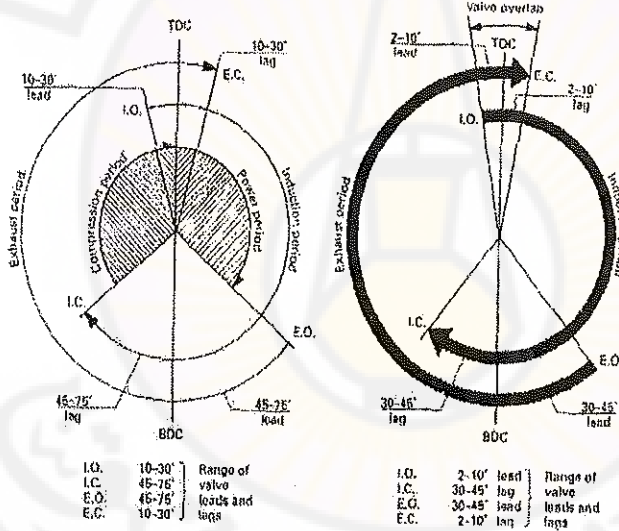
يتركز البحث في آلية التبادل الغازي على الكيفية التي يمكن من خلالها تطوير عمل هذه الآلية، بتحسين طرد الغازات المنبعثة وملء الأسطوانة بمزيج نقي من الهواء والوقود، وذلك من خلال الفتح المبكر والإغلاق المتأخر لكل من صمامي السحب والطرْد ، والحل الواجب إجراؤه لرفع أداء المحرك عند أسفل وأعلى مجال السرعة وفي الوقت ذاته تخفيض إصدار الغازات المنبعثة.

1- مخطط توقيت الصمامات:

يوضح الشكل (5-7) مخطط فتح وإغلاق الصمامات.

- فتح صمام السحب قبل TDC :

يُصمم صمام السحب بحيث يفتح قبل TDC في نهاية شوط الطرد وذلك بغرض:



a) Valve timing diagrams for best engine performance b) Valve timing diagrams for low exhaust emissions

الشكل (5-7) مخطط توقيت الصمامات

- تجنب حملات الصدم الزائدة لتابع الكامات ومنع اهتزاز نابض الإرجاع فإن صمام السحب يفتح بتدرج كبير في البداية بحيث يسمح فقط لكمية قليلة من الشحنة بالدخول إلى الأسطوانة ولفترة لا تقل عن (10-20) درجة دوران عمود الكامات.

- تعويض الممانعة التي تبديها الشحنة لدخول الأسطوانة بفعل عطالتها وتباطؤ حركتها في كل مرة يغلق فيها صمام السحب ويفتح من جديد.

- استخدام الانخفاض الجزئي في ضغط حجرة الاحتراق الذي تتسبب به غازات الإصدار المنطلقة في البدء بسحب شحنة جديدة نقية إلى داخل الأسطوانة في الوقت الذي يكون فيه المكبس قرب TDC وغير قادر على الإسهام في سحب الشحنة الجديدة.

- إغلاق صمام السحب بعد BDC :

من أجل زيادة شحنة الهواء الداخلة إلى الأسطوانة وخصوصاً عند السرعات المتوسطة والعالية ، يصمم صمام السحب بحيث يؤخر إغلاقه إلى ما وراء BDC وهذا من شأنه أن يطيل الوقت المتاح لسيل الشحنة الجديدة كي تتكدس داخل الأسطوانة مما يرفع ضغطها وكثافتها.

إلا أنه عند سرعات منخفضة للمحرك فإن القوة الدافعة للشحنة تكون غير كافية لمقاومة الحركة الصاعدة للمكبس في بداية شوط الانضغاط لذا فإن الجزء من الشحنة الواصل مؤخراً سوف يلتف تلقائياً إلى مجرى السحب .

وعلى هذا الأساس فإن تقصير شوط الانضغاط الفعلي من خلال تأخير إغلاق صمام السحب الذي يؤدي عند السرعات المنخفضة إلى إنقاص نسبة الانضغاط الاسمية وتقليل الجودة الحجمية.

لذلك فإن الحل المقترح يجب أن يتناول توقيت إغلاق صمام السحب الذي يحقق جودة حجمية عالية عند السرعات العالية دون التضحية بضياح كبير في الجودة الحجمية عند سرعات منخفضة.

- فتح صمام الطرد قبل BDC:

إن فقدان الطاقة الذي يتسبب فيه الفتح المبكر لصمام الطرد قبل BDC تفوقه كثيراً المكاسب التي تتحقق في فعالية الطرد قرب نهاية شوط القدرة وبداية شوط الطرد.

أضف إلى ذلك أن القدرة التي يتم الحصول عليها نتيجة الاحتراق قرب نهاية شوط القدرة ستكون منخفضة نسبياً وغير فعالة إذا أبقى صمام الطرد مغلقاً للأسباب التالية:

1- عند نهاية شوط القدرة فإن عملية الاحتراق تتباطأ بفعل خنق جزء من الشحنة ومنعه من الإمتزاج والاحتراق.

2- حجم الأسطوانة الآخذ بالازدياد في شوط القدرة يسبب انخفاضاً سريعاً في ضغط الاحتراق لذا فإنه من المفيد جداً فتح صمام الطرد مبكراً إذ من شأنه أن يتيح للقدرة المتبقية من الاحتراق تنظيف الأسطوانة قبل إتمام شوط القدرة والاعتماد كلياً على المكبس في كسح الغازات أثناء شوط الطرد.

لذا ينبغي اختيار النقطة التي يفتح عندها صمام الطرد قبل BDC بحيث أن الفوائد التي نحصل عليها من كسح الغازات وملء الأسطوانة بشحنة جديدة لا تنتقص منها القدرة الضائعة في مجرى الطرد عند منتصف مجال سرعة المحرك.

- إغلاق صمام الطرد بعد TDC:

يتحقق ملء الأسطوانة بالشكل الأمثل بشحنة جديدة ونقية من الهواء والوقود فقط إذا تم طرد الشحنة المحترقة كلياً بعد نهاية كل شوط قدرة.

والعائق الذي يمنع الطرد الكامل للغازات في كل مرة هو أن الغازات التي تشغل حجرة الاحتراق لا يمكن طردها بشكل قاطع عند انتهاء شوط المكبس وهي بالتالي سوف تشغل حيزاً كان بالإمكان أن يملأ بشحنة نقية.

يتم التغلب على هذا العائق عن طريق تأخير إغلاق صمام الطرد إلى ما وراء TDC وبذلك فإن القوة الدافعة لسيل الغازات تجبرها على إخلاء حجرة الاحتراق وفي الوقت ذاته فإن شحنة جديدة على مدخل صمام السحب الذي يفتح مبكراً ستدخل لثملأ الفراغ وتدفع بالغازات المتبقية إلى فتحة الطرد.

- تداخل الصمامات:

يتم فيه فتح كل من صمامي السحب والطرء معاً عند TDC: إذا كانت فترة التداخل كبيرة فإنها تساعد على إخراج غازات الطرد المحتجزة في حجرة الاحتراق وتؤمن في الوقت ذاته بداية مبكرة لطور السحب. إلا أنه عند سرعة منخفضة للمحرك ومع تباطؤ الإصدار فإنه يتوافر وقت كاف لدخول الشحنة الجديدة إلى مجرى الطرد قبل أن يغلق، وبالتالي فإن كمية كبيرة نسبياً من الشحنة غير المحترقة والمحتركة جزئياً ستعبر إلى مجرى الطرد. وعلى العكس فإنه عند سرعة منخفضة للمحرك مع تقديم كبير لصمام السحب وإغلاق جزئي للخانقة فإن انخفاض الضغط في مجرى السحب يمكن أن يزيد على الذي في حجرة الاحتراق ومجرى الطرد عندما يكون المكبس قرب TDC وبالتالي فإن جزءاً من غازات الطرد يسحب إلى مجرى السحب مما يسيء إلى الشحنة الجديدة ويقلل سرعة الاحتراق ويزيد الاحتراق الجزئي. لذلك ونظراً إلى المقادير المرتفعة وغير المقبولة من الـ (CO و HC) التي ستظهر في مجرى الطرد هناك ميل للتضحية ببعض أداء المحرك للحصول على نسب إصدار منخفضة من خلال تخفيض فترة تداخل الصمامات.

- التحكم بحركة الصمامات:

يتضمن التحكم بحركة الصمامات مجالين:

- التحكم بتوقيت ومقدار فتح الصمامات.

- التحكم بفترة تداخل صمامات السحب والطرء.

1- التحكم بتوقيت ومقدار فتح الصمام:

- مزايا الصمام ذي التوقيت والارتفاع المتغيرين:

يستخدم هذا الصمام للتغلب على القصور الذي ينتج عن استخدام صمام ذي توقيت وارتفاع ثابتين على طول مجال سرعة المحرك.

وحيث أن محركات البنزين في السيارات الحديثة تعمل على مجال واسع (rpm 1000-7000) فإن هذا الاتساع يخلق مشاكل كبيرة فيما يتعلق بملء الأسطوانة.

ففي مجال السرعات المنخفضة وحتى المتوسطة يكون أداء المحرك أفضل ومستويات الإصدار أقل إذا تأخر فتح صمام السحب إلى ما بعد TDC في شوط المكبس الهابط وأغلق مبكراً نسبياً بعد BDC خلال الشوط الصاعد.

وعلى العكس منه عند سرعات عالية يتم تحسين عمليات التبادل الغازي عن طريق فتح صمام السحب أبكر قليلاً عندما يكون المكبس في منطقة TDC وإغلاقه متأخراً قليلاً بعد BDC خلال الشوط الصاعد وذلك للاستفادة من القوة الدافعة للشحنة.

مع صمام ثابت التوقيت والارتفاع يتم حل هذا الإشكال بتوقيت الصمام بحيث يتم رفع أداء المحرك في مجال السرعات الوسطى على حساب انخفاض الأداء على طرفي مجال السرعة.

يتم التصدي لمسألة ملائمة الصمام ليتناسب مع ظروف الحمل والسرعة باستخدام مجموعة جوانب كامات تؤمن سرعة عالية لدخول الشحنة عند السرعات المنخفضة والمتوسطة والانتقال إلى الكامات التي تزيد ارتفاع الصمام وفترة الفتح كوسيلة لزيادة الاستطاعة في الظروف التي تحتم العمل القسم الأعلى لمجال السرعة.

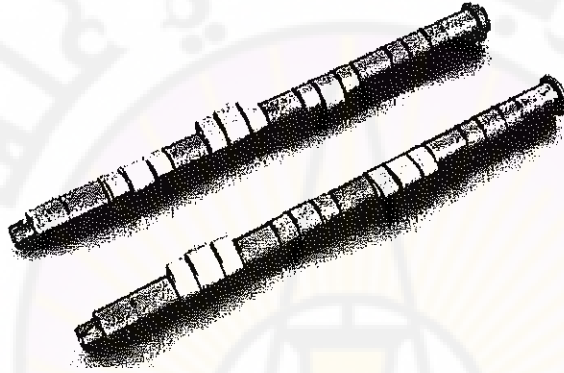
- مبدأ توقيت ورفع الصمام الثنائي:

يستخدم لأجل ذلك ميكانيزم مكون من زوج من الصمامات للسحب ومثله للطرد في كل اسطوانة ، كما يظهر في الشكل (5-8) يتم تشغيل صمامي الطرد عن طريقة كامات ثنائية الجوانب بينما يتم تشغيل صمامي السحب بواسطة كامات ثلاثية الجوانب. من أجل رفع أداء المحرك في مجال السرعات المنخفضة يكون لكل صمام سحب جانبيه كامات خاصة به تؤمن فترة فتح خاصة بالصمام تدعى هذه الكامات السرعة المنخفضة.

تدعى الكامات والصمام الذين يبدأان الفتح أولاً بالرئيسيين بينما يدعى الصمام والكامات الآخرين بالثانويين وهما يفتحان بتأخير قليل عن الرئيسيين.

يصمم الصمامان الرئيسي والثانوي ليغلقا معاً ولكن إذا تطلب الأمر يمكن تصميم جانبيه الكامات بحيث تغلق أحدهما قبل الآخر. يمكن من خلال نظام فتح كل من

الصمامين الرئيسي والثانوي الحصول على دوامة حلزونية داخل الأسطوانة مما يحقق مزجاً قوياً للشحنة عند سرعة منخفضة للمحرك. أما في مجال السرعات العالية فإن مطالب أكثر تترتب على كمية الشحنة الداخلة إلى الأسطوانة حيث يعتمد عند السرعات العالية إلى إشراك كامدة ثالثة تؤمن طور فتح مديد وارتفاع فتح أكبر ، هذه الكامدة تفتح كلا الصمامين معاً وفي وقت واحد وبالتالي تعدل حركة الشحنة داخل الأسطوانة من دوامية حلزونية إلى دوامية ذات لف أسطواني وهي أنسب للإملاء والمزج عند السرعات العالية



الشكل (5-8)

- نظام الفيتك للتحكم بتوقيت الصمامات Valve timing electronic control :VTEC

- تقنية الفيتك هي نظام تحكم إلكتروني بتوقيت فتح وإغلاق صمامات السحب والطرود ، من أجل زيادة استطاعة المحرك عند العمل بسرعات عالية لا بد من زيادة كمية الشحنة الداخلة إلى أسطوانات المحرك باطراد مع ازدياد السرعة ، لذلك لا بد من فتح صمامات السحب والطرود بشكل أكبر وبزمن أكبر لتأمين استقرار عمل المحرك.

إلا أن الفتح الطويل للصمامات يؤدي عند السرعات المنخفضة إلى خشونة عمل المحرك وانخفاض الاقتصادية.

لذلك فإن تقنية الفيتك تقوم على فتح صمامات الدخول والخروج عند سرعات دوران عالية أكبر مما هو عليه عند السرعات المنخفضة مما يؤمن عمل سلس واقتصادي عند السرعات المنخفضة واستطاعة كبيرة عند السرعات العالية.

- تركيب جهاز تشغيل الصمامات في نظام الفيتك:

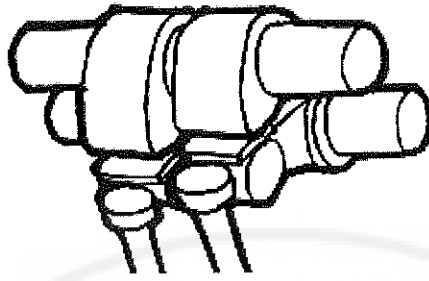
يتألف ميكانيزم التشغيل كما في الشكل (9-5) من أزواج من صمامات السحب والطرء المائلة في كل أسطوانة.

لكل من صمامات السحب والطرء أذرع هزازة خاصة مثبتة على محورين هزازين متماثلين للسحب والطرء.

عمود الكامات مشترك يدير معاً أطوار فتح صمامات السحب والطرء. كاماة ثلاثية الجوانب لصمامي السحب وأخرى ثنائية الجوانب لصمامي الطرء.

الذراعين الهزازين لصمامي السحب يتحرك كل منهما مستقلاً عن الآخر بفضل الذراع الهزاز الوسطي الذي يدور بشكل حر حول محور إدارة الأذرع الهزازة للسحب. كباسات ونوابض مستقلة للأذرع الهزازة الوسطية تبقىها في اتصال مع الكاماة المقابلة. تنقب الجهة اليمنى من كل من الأذرع الهزازة بتقوب أسطوانية ما بين ثقب المحور الهزاز ووسادة الاحتكاك وذلك لاستقبال المكابس الموافقة (صمام التشويق). يتحكم صمامان بالضغط الهيدروليكي للمحرك المستخدم لتشغيل مفتاح الانتقال من كامتي السرعة المنخفضة إلى كاماة السرعة العالية.

يتم تشغيل الصمام الأول بواسطة ملف كهربائي بينما يشغل الآخر بواسطة ضغط الزيت أما وحدة التحكم الإلكترونية فتتلقى المعلومات من حساسات عديدة تتحسس البارامترات المتغيرة لعمل المحرك. هذه المتغيرات هي :



الشكل (5-9)

- درجة حرارة مبرد المحرك.

- سرعة المحرك.

- حمل المحرك.

- سرعة السيارة.

- ضغط الزيت.

ترسل وحدة التحكم الإلكترونية أوامر بشكل إشارات كهربائية إلى ملف تشغيل الصمام حيث يقوم بتغيير الكامة العاملة ، ونميز عند عمل وحدة التحكم الحالات التالية :

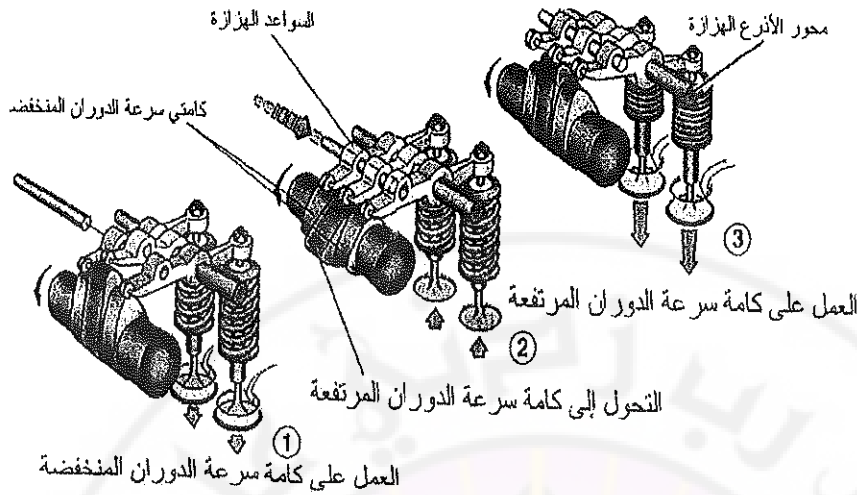
1- حالات السرعة المنخفضة وحتى المتوسطة حيث تعمل عندها كامة السرعة المنخفضة فقط

2- حالات السرعة المتوسطة وحتى العالية :

عند السرعات العالية تقوم الـ (ECU) بتنفيذ الملف اللولبي ونحصل في نهاية عملية التحكم أن تتحرك الأذرع الهزازة الثلاثة ككتلة واحدة وبالتالي فإن أطوار فتح وإغلاق كلا الصمامين تعمل وفق جانبية كامة السرعة العالية كما أن الارتفاع الكبير للصمام يساعد في زيادة ملء الأسطوانة ويرفع الكفاءة الحجمية.

- نظام الفينك عند هوندا VTEC :

الشكل (5-10) يوضح مراحل عمل نظام الفينك عند هوندا :



الشكل (5-10) مراحل عمل نظام الفيتك عند هوندا

2- التحكم بمقدار تداخل الصمامات Valve Overlap timing control

تقنية الفوتك : هي نظام تحكم إلكتروني بمقدار التداخل في عمل صمامات السحب والطرء. من أجل التحكم بفترة تداخل صمامات السحب والطرء لا بد من تحقيق إزاحة نسبية ما بين عمود الكامات والمسند القائد، فلزيادة فترة التداخل يتم تحقيق هذه الإزاحة في اتجاه معين، ولتقليل فترة التداخل يتم تحقيق هذه الإزاحة في الاتجاه المعاكس. يتم تحقيق هذه الإزاحة بفضل دائرة هيدروليكية ذات قيادة إلكترونية. تستلزم هذه التقنية على عكس الفيتك وجود عمودي كامات مستقلين للسحب والطرء.

- محرك فيتك الذكي (I-VTEC) :

تجمع تقنية I-VTEC بين تقنيتي الفيتك ثلاثي المراحل وتقنية الفوتك . يستخدم لأجل ذلك عمود كامات مستقل لصمامات الطرد وآخر لصمامات السحب ، يتوضع في نهاية كل منهما حساس يرسل معلومات عن وضع الكامات العاملة على كل من العمودين إلى وحدة التحكم الإلكترونية التي تقوم على التحكم بصمام الزيت الذي يقود محرك الفوتك بهدف تنظيم عمليات التداخل وعتار زوايا التسبيق والتأخير بصورة أوتوماتيكية.

- مخطط العمل لمحرك (I-VTEC):

هناك أربع مناطق في مخطط العمل هي :

المنطقة (1) : منطقة السرعات المنخفضة والحمل الصغير:

حيث تعمل السرعة المنخفضة كافةً على فتح صمام دخول واحد وينتج عن ذلك دوامة قوية تؤمن امتزاج جيد للهواء والوقود وتشكل خليط متجانس، ويكون مقدار التشابك هنا أصغرياً بحيث يكون الفصل تاماً بين الشحنة الجديدة وغازات الاحتراق مما يؤمن اقتصادية عالية واحتراق أفضل.

المنطقة (2): اقتصادية استهلاك الوقود والطاقة:

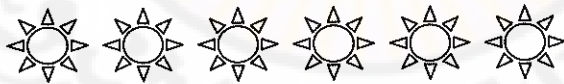
تقوم كامرة السرعة المنخفضة هنا بفتح صمام دخول واحد أيضاً بينما يؤمن الفوتك تداخل أكبر ويتم معه تفعيل نظام إعادة تدوير غازات عادم الـ (EGR) مما يحقق إصدارات أقل من حيث الكمية والخطورة .

المنطقة (3): منطقة العزم الأمثل عند السرعات البطيئة:

يقوم الفينك بتوقيت إغلاق صمام السحب بهدف ضبط العزم ويقوم الفوتك بزيادة فترة التداخل .

المنطقة (4): العمل عند سرعات متوسطة وعالية:

يقوم الفينك بتحويل المحرك لتعمل صمامات السحب على كامرة السرعة العالية ويقوم الفوتك بزيادة فترة التداخل لتأمين عزم دوران أعلى واستطاعة أكبر .





The background of the page features a large, faint watermark of the Damascus University logo. The logo is circular, with the Arabic text "جامعة دمشق" (University of Damascus) at the top and "Damascus University" at the bottom. In the center is a stylized lamp with rays emanating from it.

الفصل السادس العنفات الحرارية

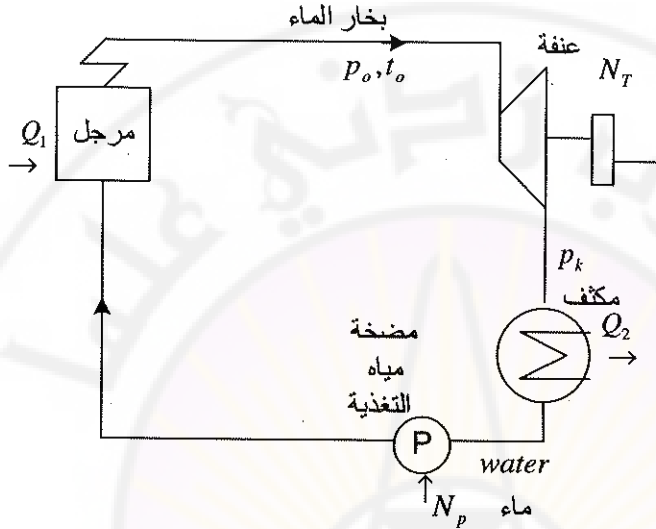


العنفات الحرارية

6-1- مقدمة أساسية لقانون عمل المحطة الحرارية

العنفة الحرارية هي محرك يحول الطاقة الحرارية لجسم التشغيل الغازي إلى عمل ميكانيكي. لا يحدث توصيل الطاقة الحرارية إلى جسم التشغيل داخل المحرك، مثل محرك الاحتراق الداخلي، لكن يوجد جهاز مستقل: في المرجل، أو في حجرة الاحتراق، أو في المفاعل النووي. العنفة هي أحد عناصر المحطة الحرارية ويوجد نوعين أساسيين من المحطات العنفية: البخارية والغازية. المخطط الحراري لمحطة ذات عنفة بخارية مبين على الشكل (6-1). في المرجل k يتم توصيل الطاقة الحرارية من احتراق الوقود وإنتاج بخار الماء ذو الضغط العالي ودرجة الحرارة العالية. يتمدد البخار في العنفة T ، حيث يتحول جزء من طاقته الحرارية إلى استطاعة مفيدة N_T . في المكثف S يحصل تكاثف للبخار عند ضغط أقل من الضغط الجوي (تخلخل في المكثف). تأخذ مياه التبريد في المكثف الطاقة الحرارية من البخار المتكاثف. يجري البخار المتكاثف إلى مضخة مياه التغذية P ، التي تضغط الماء إلى ضغط المرجل. يتم استهلاك استطاعة N_p لتشغيل المضخة. التي تشكل نسبة ليست كبيرة من الاستطاعة المولدة بوساطة العنفة. المخطط الحراري للمحطة ذات العنفة الغازية مبين على الشكل (6-2). جسم التشغيل في العنفة البخارية يكون عادة بخار الماء. يمكن أن يكون غاز مثل الأمونياك، ثاني أكسيد الكربون.... دور المرجل ومضخة مياه التغذية ممثل بمولد الغاز، موصول مع الضاغط K وحجرة الاحتراق KS . الضاغط يدير العنفة T_s . يسحب الهواء مباشرة من الوسط المحيط ويضغطه حتى القيمة المناسبة، ضغط عالي. يسخن الهواء في حجرة الاحتراق، التي يضخ إليها الوقود السائل أو الغازي.

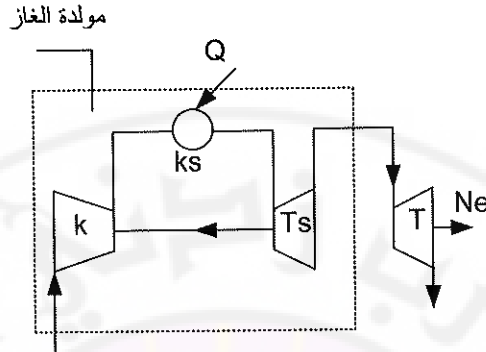
يتمدد الغاز المضغوط ذو درجة الحرارة حوالي 1000°C وأعلى في العنفة التي تدير الضاغط. يستخدم الجزء المتبقي من الطاقة الحرارية لغازات الاحتراق في إنتاج الاستطاعة المفيدة لتدوير المنوبة أو عنفة T_N .



الشكل 1-6 المخطط الحراري لمحطة ذات عنفة بخارية

تتمدد غازات الاحتراق في العنفة إلى قيمة الضغط الجوي وتتطلق في الهواء، الذي يمثل المنبع الحراري البارد لدورة العنفة الغازية. على خلاف دورة العنفة البخارية، لا يخضع جسم التشغيل لتغير في حالته (كما في العنفة البخارية تكاثف و تبخر). كما أن حجرة الاحتراق تمثل مبادل حراري مزجي، التي تنتج غازات الاحتراق لتذهب إلى العنفة. في المحطة البخارية مولد البخار هو مبادل حراري سطحي، حيث نواتج الاحتراق لا تختلط مع جسم التشغيل في العنفة. يحتاج الضاغط لاستطاعة كبيرة لتدويره، والتي تصل إلى أكبر بمرتين من الاستطاعة الفعالة الناتجة عن محور العنفة لتدوير المنوبة. الكتلة الكبيرة والثقيلة لمرجل البخار مقارنة بحجرة الاحتراق الصغيرة وعدم وجود مسخنات استرجاعية منخفضة الضغط (مكثف) يؤدي إلى انخفاض كبير

في الأوزان (عنفة غازية)، وصغر في الأبعاد وفي كلفة مجموعة العنف الغازية مقارنة مع مجموعة العنف البخارية.



الشكل (2-6) المخطط الحراري للمحطة ذات العنف الغازية

تصلح المحطات ذات العنفات البخارية لإنتاج الطاقة الكهربائية أو لإنتاج الطاقة الكهربائية والطاقة الحرارية اللازمة لتدفئة المدن وغيرها. و تستخدم أيضا في السفن. وخاصيتها المهمة إمكانية استخدام أي نوع من الوقود عالي الجودة، مثل الغاز الطبيعي أو الوقود السائل والصلب حتى الفضلات.

2-6- بداية التطور الصناعي:

- بنيت العنفة البخارية من قبل المهندس السويدي Karol Patrik de Laval 1883 والإنكليزي Charles Parson 1884.

- بعد العام 1900 استخدمت العنفة البخارية بشكل واسع حيث كانت تستخدم الآلة المكبسية البخارية في المنشآت الصناعية والسفن.

- في الأعوام 1925-1950 تطورت المحطات ذات العنفات البخارية وازدادت استطاعتها مع ازدياد بارامترات البخار. يتكون نظام وحدة التوليد من مرجل واحد يغذي عنفة واحدة ولا يوجد توصيلات مع مراجل وعنفات أخرى لنفس المحطة. تبنى العنفات البخارية الحديثة حتى استطاعات أكثر من مليون كيلو واط للوحدة. وحسب الإمكانيات المتوفرة يمكن بناء آلات أكبر. في المحطات العنفية البخارية يكون المرجل

العنصر الأعلى والحجم الأكبر. لذلك منذ القديم استخدمت محركات الاحتراق الداخلي، التي تستخدم نواتج الاحتراق كجسم تشغيل عوضا عن بخار الماء.

- وفي بداية العام 1960 بدء في بناء المحطات النووية حيث تقديم الطاقة الحرارية الناتجة عن عملية الانشطار النووي للذرات في المفاعل إلى الدورة وليس من خلال التفاعلات الكيميائية، يقتصر استخدام الطاقة النووية في المجال البحري فقط على السفن الحربية.

- أول براءة اختراع في العنف الغازية في العام 1791 حصل عليها الإنكليزي Barba. وذلك بعد حوالي مائة عام من الحصول على براءة اختراع المحرك المكبسي من قبل (Otto-1876, Diesel - 1897)، وقبل حوالي مائة عام من وضع براءة اختراع العنف البخارية في العمل من قبل de Laval , Parson. وقبل حصول كارنو على براءة الاختراع في مجال الترموديناميك 1824.

بقي بناء عنفة غازية لفترة طويلة غير ممكن، بسبب عدم المعرفة الكافية في ميكانيك الجريان، لبناء ضاغط يعمل بمردود عالي. بالإضافة إلى الصعوبات في الحصول على خلائط معدنية تتحمل درجات الحرارة العالية للمنبع الحار. أمام هذه الشروط لم يكن بالإمكان بناء مجموعة عنفة غازية ذات مردود أكبر من الصفر، عندما ظهر علم الايروديناميك وجد الضاغط المحوري الذي يعتبر أول تصميم فعال في الصناعة، المصنع من قبل شركة سويدية Brown Boveri 1937. إلى أن تم التوصل إلى التصميم المناسب بعد 150 سنة.

تطور العنف الغازية بدء متأخرا حوالي 50 عاما من العنف البخارية. وحتى الآن، محطات العنفات الغازية تعطي مردود أقل (استهلاك وقود أكبر) من وحدات العنف البخارية، لذلك تستعمل العنفات الغازية حيث الكلفة الأقل والحجم الأصغر ومكان عدم توفر المياه. وفي بعض الحالات تكون العنف الغازية أكثر اقتصادية وسهولة ومرونة في الإقلاع مقارنة مع المحركات الأخرى.

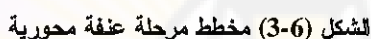
6-3- مفاهيم أساسية وتحديد مبدأ عمل العنف الحرارية

يعتمد مبدأ عمل العنف الحرارية على تحويل الطاقة الحرارية لجسم التشغيل إلى طاقة كامنة ثم إلى طاقة ميكانيكية (طاقة حرارية - طاقة كامنة - عمل ميكانيكي).

وذلك أثناء مروره عبر مكونات العنف وهي:

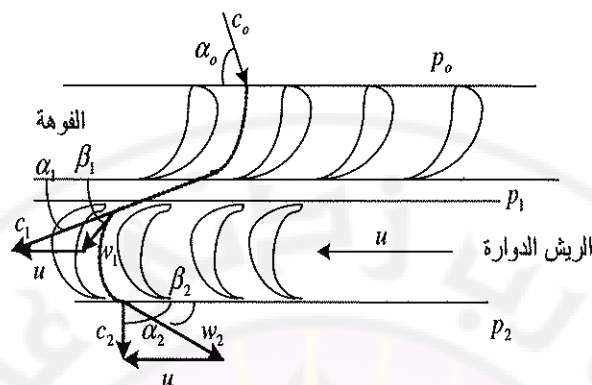
- عنصر التمدد، الذي يحصل فيه تحول الطاقة الحرارية لجسم التشغيل إلى طاقة كامنة.

- الشفرات الدوارة أو الشفرات العاملة حيث تتحول الطاقة الكامنة للغاز إلى عمل. يعرف عنصر التمدد، بالفوهات أو الموجهات، المثبتة على الغلاف الثابت للعنف. الريش الدوارة تمثل الدوار، الذي يقوم بحركة دورانية. تتحدد مرحلة العنف بمجموعة واحدة من عنصر التمدد أو الموجه و الشفرات المتحركة أو العاملة. تبني بشكل عام عنفات متعددة المراحل، التي تتألف من عدد محدد من المراحل متوضعة بشكل متسلسل. تدعى عنفة محورية إذا كان الجريان محوري. حيث يجري جسم التشغيل عبر الشفرات بالاتجاه المحوري، وينحرف في الاتجاه المحيطي. المركبة القطرية للجريان مهمة لصغرها. يبين الشكل (6-3) مخطط مرحلة عنفة محورية. الشفرات الموجهة متوضعة على كامل محيط صينية التوجيه.



يبين الشكل (4-6) أشعة السرعة c, w في المقاطع 0-1-2 وزاوية انحراف كل منها α, β . السرعة عند مدخل الفوهة يرمز لها c_o وتدعى السرعة المطلقة. وعند المخرج من الفوهة تكون $c_o \langle c_1$ ، نتيجة التمدد من الضغط p_o إلى الضغط p_1 .

يتميز الجريان في أفنية الريش الدوارة بالسرعة النسبية w_1 عند المدخل w_2 عند المخرج.



الشكل (4-6) مقطع عرضي للمرحلة
ومثلث السرعات

إن الجريان في المرحلة محوريا (يجري الجسم العامل عبر الفوهة المتوضعة على كامل المحيط). لتحليل عمل المرحلة يكفي دراسة الجريان عبر قناة واحدة بين الريش. بفرض أن u المحور الطبيعي (المحيطي)، a الاتجاه المحوري، r الاتجاه القطري. عندها يمكن تحليل شعاع السرعة النسبية أو المطلقة إلى ثلاث مركبات:

$$\vec{w} = \vec{w}_u + \vec{w}_a + \vec{w}_r \quad (1-6)$$

لكن في حوالي 99% من الآلات تكون المركبة القطرية للسرعة مهمة ويبقى

مركبتين للجريان:

$$\vec{w} = \vec{w}_u + \vec{w}_g \quad (2-6)$$

وبشكل مشابه للسرعة المطلقة:

$$\vec{c} = \vec{c}_u + \vec{c}_g \quad (3-6)$$

يجري الجسم العامل وفق محور العنفة بسرعة $w_a = c_a$ التي تتحرف بالاتجاه

المحيطي. وتعطى العلاقة الشعاعية بين السرعات المطلقة والنسبية بالشكل:

$$\vec{c} = \vec{w} + \vec{u}$$

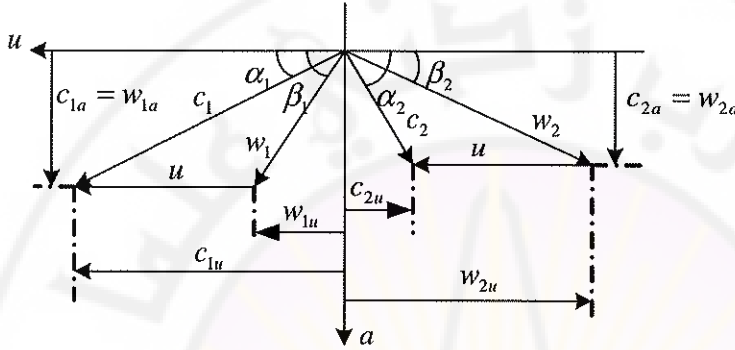
$$\vec{w} = \vec{c} - \vec{u}$$

أو

$$\vec{w}_1 = \vec{c}_1 - \vec{u}_1 \quad \text{عند المدخل}$$

$$\vec{w}_2 = \vec{c}_2 - \vec{u}_2 \quad \text{وعند المخرج}$$

هذه العلاقات تحدد مثلث السرعات عند المدخل وعند المخرج. كما هو مبين على الشكل (4-6)، وعلى الشكل (5-6).



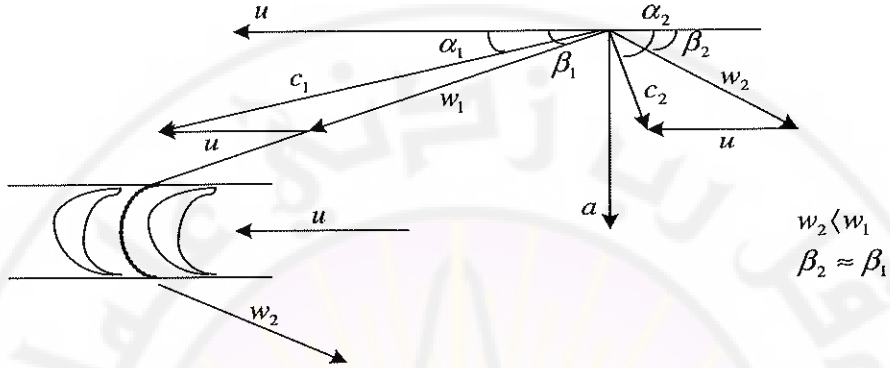
الشكل (5-6) مثلث السرعات لمرحلة
العنفة المحورية

تحويل الطاقة الحركية إلى عمل ميكانيكي ناتج عن كون سرعة الخروج c_2 أصغر من السرعة c_1 . يمكن أن يكون الشعاع $\vec{w}_2$ أصغر أو أكبر من الشعاع $\vec{w}_1$ ، وذلك حسب نوع المرحلة. تقسم المرحلة حسب نظام العمل إلى:

آ- نظام الفعل، حيث يتحول كامل هبوط الانتالبي إلى طاقة حركية في الفوهات. ويكون الضغط بعد الفوهات مساوياً للضغط بعد القرص الدوار $p_1 = p_2$ ، ولا يحصل أي تمدد للغاز. بالنتيجة تكون السرعة النسبية بعد الشفرات العاملة في الحالة المثالية نفسها السرعة النسبية عند الدخول إليها: $w_{2s} = w_1$ (الدليل s يعني التحول عند ثبات الانتروبي بدون ضياعات). مع الأخذ بعين الاعتبار الضياعات تكون علاقة مرحلة الفعل الحقيقية بالشكل $w_2 < w_1$.

تؤخذ بارامترات مثلث السرعات بحيث تحقق إمكانية الحصول على أكبر جزء من الطاقة الحركية عند المخرج من الفوهة $\frac{c_1^2}{2}$ الذي يتحول إلى عمل. لأن الطاقة

الحركية عند المخرج $\frac{c_2^2}{2}$ تحدد الضياعات في المرحلة المحددة. وتكون c_2 أصغر ما يمكن عندما تكون الزاوية α_2 قريبة من 90° . يبين الشكل (6-6) مقطع مرحلة فعل حيث $\beta_1 \approx \beta_2$. وقد صمم لافال عنفته على مبدأ الفعل في العام 1883.



الشكل (6-6) مثلث السرعات لمرحلة الفعل

ب- نظام رد الفعل يعتمد على أن تمتد الجسم العامل يتم جزئياً في الفوهات ويستمر عبر القرص الدوار (تحول الطاقة الحرارية إلى طاقة حركية يتم في الفوهات والقرص الدوار)، السرعة النسبية w_2 في هذا النظام تكون أكبر من السرعة النسبية w_1 . نسبة هبوط الانتالبي الأديباتي h_w في الدوار إلى هبوط الانتالبي الأديباتي في المرحلة h_s . تدعى درجة رد الفعل:

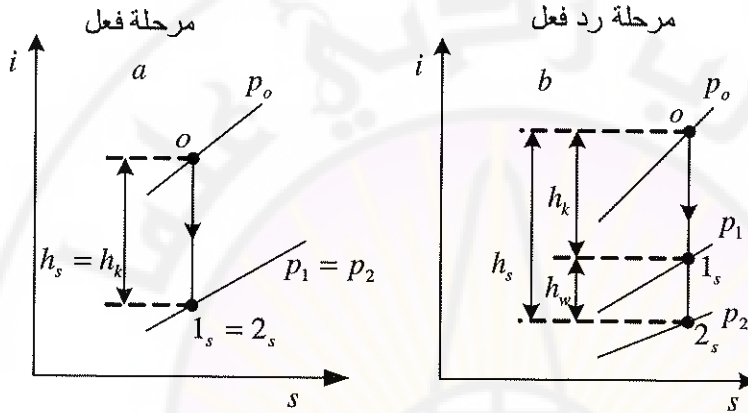
$$\rho = \frac{h_w}{h_s} \quad (4-6)$$

من هذه العلاقة ينتج أن الهبوط في الدوار وفي الموجهات يكون:

$$h_w = \rho \cdot h_s \quad \text{في الدوار}$$

$$h_k = (1 - \rho) \cdot h_s \quad \text{في الموجهات}$$

يبين الشكل (6-7) مرحلة مثالية فعل ورد فعل. في مرحلة رد الفعل الضغط p_1 قبل القرص الدائر يكون أكبر من الضغط بعده $p_2 > p_1$. حسب قانون رد الفعل بنى بارسون عنفته مع الأخذ بعين الاعتبار نفس هبوط الانتالبي في القرص الدوار والموجهات $h_w = h_k$. حيث درجة رد الفعل فيها $\rho = 50\%$. مثلث السرعات لمرحلة رد الفعل حيث $\rho = 50\%$.



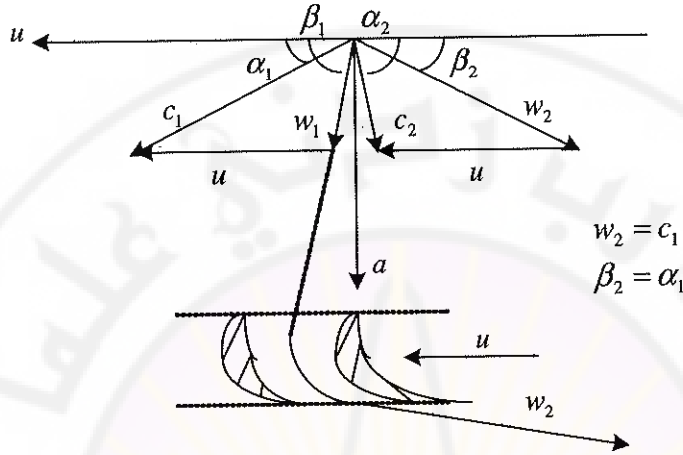
الشكل (6-7) التحول في مرحلة مثالية فعل ورد فعل

يبين الشكل (6-8) والشكل (6-9) مثلث السرعة لمرحلة بارسون، حيث $\alpha_1 = \beta_2$ ، $w_2 \approx c_1$ ، الزاوية $\alpha_2 = 90^\circ$ ومثلثي السرعات عند الدخول والخروج متشابهين.

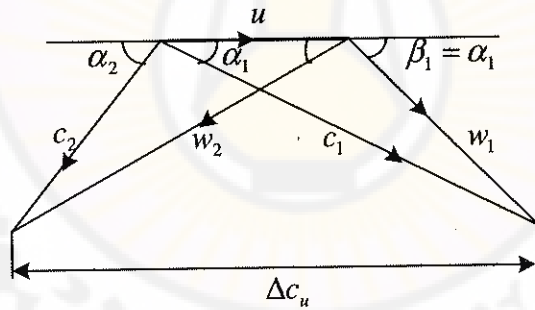
في بداية تطور العنفات البخارية استعمل فقط نظامين $\rho = 0.5$ (رد فعل حسب بارسون) و $\rho = 0$ (فعل حسب لافال). العنفات التي بنيت وفق هذين النظامين دعيت عنفات فعل أو عنفات رد فعل. في العنفات البخارية والغازية الحديثة تعامل درجة رد الفعل ρ كأحد بارامترات المرحلة الأساسية، حسب شروط المسألة.

يتألف الدوار من صينية دوارة، التي تتوضع عليها الريش العاملة. صينية الدوار يمكن أن تكون متصلة مع العمود بطرق مختلفة. مبين على الشكل أن المحور والصينية قطعة واحدة. الفوهات (الموجهات) متوضعة في الصواني الموجهة وموزعة على الغلاف. يجب أن يحسب الخلوص بين العناصر الدوارة والثابتة.

وبهدف الإحكام الجيد لمنع التسرب في العنفات الحرارية نستعمل مانعات، نفس الشيء بين المحور وصينية التوجيه، وبين المحور والغلاف لمنع التسرب الخارجي. عنفة رد الفعل يجب أن تحوي عدد أكبر من المراحل من عنفة الفعل. في حالة $\rho = 0$ فرق



الشكل (8-6) مثلث السرعات لمرحلة رد الفعل



الشكل (9-6) مثلثات السرعة لعنفة رد فعل حيث $\rho = 0.5$

الضغط $\Delta p = p_1 - p_2$ المؤثر على صينية الدوار يكون صغيراً، في عنفة الفعل تظهر قوى محورية ليست كبيرة، من السهولة التغلب عليها باختيار مضاجع مناسبة. وعندما يكون فرق الضغط كبيراً في حالة عنفة رد الفعل تستخدم تصاميم خاصة للتكافؤ بين القوى المحورية على الدوار، تسمح بإنتاج قوة محورية كبيرة موجهة

بعكس القوى المؤثرة على القرص الدوار ويكون الفرق بين القوى على المضاجع المحورية صغير.

4-6- درجة رد الفعل

درجة رد الفعل أو معدل رد الفعل (ρ) هو بارامتر يبين العلاقة بين الطاقة اللازمة لتغير الضغط الستاتيكي والطاقة المنقولة لتغير الضغط الديناميكي. درجة رد الفعل تحدد نسبة هبوط الضغط الستاتيكي في الدائر إلى هبوط الضغط الستاتيكي في المرحلة. وتحدد معدل هبوط الانتالبي الستاتيكي في الدوار إلى هبوط الانتالبي الستاتيكي في المرحلة. إذا كانت h_0, h_1, h_2 قيم هبوط الانتالبي عند مخرج ومدخل الشفرات المتحركة وعند مدخل الشفرات الثابتة فإن:

$$\rho = \frac{h_1 - h_2}{h_o - h_2} \quad (5-6)$$

$$h_o = h_{oo} - \frac{c_o^2}{2c_p} \quad h_2 = h_{o2} - \frac{c_2^2}{2c_p}$$

للمرحلة العادية عندما $c_o = c_2$ فإن $h_{oo} = h_{o1}$ في الفوهة

$$\rho = \frac{h_1 - h_2}{(h_{oo} - \frac{c_o^2}{2c_p}) - (h_{o2} - \frac{c_2^2}{2c_p})}$$

$$\rho = \frac{h_1 - h_2}{h_{o1} - h_{o2}} \quad \text{و} \quad h_{o1rec} = h_{o2rec} \quad (6-10) \quad \text{لكن في الشكل}$$

$$h_{o1rec} - h_{o2rec} = (h_1 - h_2) + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} = 0 \quad \text{للمرحلة}$$

$$\rho = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2(h_{o1} - h_{o2})} \quad , \quad \rho = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2u(c_{w1} + c_{w2})} \quad \text{ومنه}$$

بفرض أن السرعة المحورية ثابتة خلال المرحلة:

$$\rho = \frac{V_{w2}^2 - V_{w1}^2}{2u(V_{w1} + V_{w2})} \quad , \quad \rho = \frac{V_{w2}^2 - V_{w1}^2}{2u(u + V_{w1} + V_{w2} - u)}$$

$$\rho = \frac{c_a(\tan \beta_2 - \tan \beta_1)}{2u} \quad , \quad \rho = \frac{(V_{w2} - V_{w1})(V_{w2} + V_{w1})}{2u(V_{w1} + V_{w2})}$$

ومن مثلث السرعات نجد: $c_{w2} = V_{w2} - u$ و $c_{w1} = u + V_{w1}$

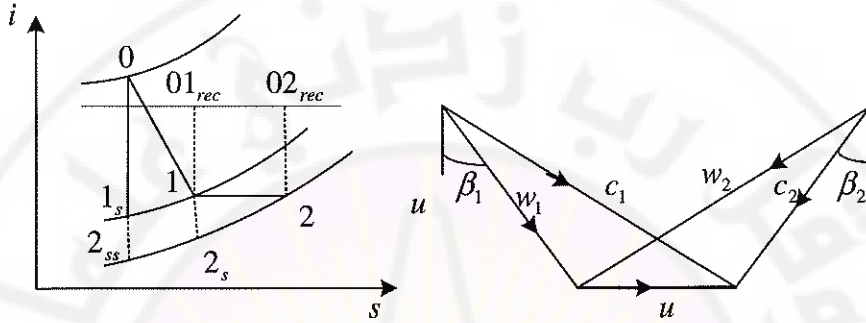
$$\rho = \frac{1}{2} + \frac{c_a}{2u}(\tan \beta_2 - \tan \alpha_2) \quad (6-6)$$

بفرض $\rho = 0$ فإن $V_1 = V_2$ و $\beta_2 = \beta_1$ ، فإن $\rho = 0.5$ ، فإن $\beta_2 = \alpha_1$

5-6- مرحلة رد الفعل الصفري

لتحديد درجة رد الفعل عندما $\rho = 0$ من المعادلة ينتج أن $h_1 = h_2$ و $\beta_2 = \beta_1$ ومن مخطط موليير ومثلث السرعات لأجل $\rho = 0$ الشكل (10-6).

(a) مخطط موليير (b) مخطط السرعة



الشكل (10-6) مثلثات السرعة ومخطط موليير لعنفة رد فعل صفري

في مرحلة الدفع درجة رد الفعل الصفرية تتحدد من عدم وجود هبوط ضغط على الدوار وتكون النقاط $1, 2, 2_s$ على مخطط موليير متطابقة لكن التحول غير العكوس يجعل وجود هبوط ضغط على الدوار.

في مرحلة الدفع درجة رد الفعل الصفرية تتحدد من عدم وجود هبوط ضغط على الدوار يبين الشكل (11-6) مخطط موليير لعنفة دفع، واضح عليه زيادة الانتالبي على الدوار. من المعادلة السابقة درجة رد الفعل الصفرية تكون سالبة بالنسبة للعنفة الدفعية وتؤخذ القيمة عكسية.

من المعادلة والشكل (12-6) من أجل $\beta_2 = \alpha_1$ فإن $\rho = 0.5$ يكون مخطط السرعة متناسب لأن التناسب ناتج عن $\beta_1 = \alpha_2$ و $\rho = 0.5$ ويكون هبوط الانتالبي في الفوهة يساوي هبوط الانتالبي في الدوار.

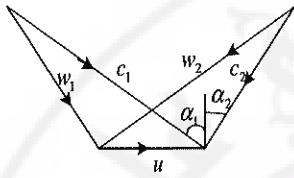
$$\rho = 1 + \frac{c_a}{2u} (\tan \alpha_2 - \tan \alpha_1) \quad , \quad \beta_2 = \tan \alpha_2 + \frac{u}{c_u} \quad , \quad h_o - h_1 = h_1 - h_2$$



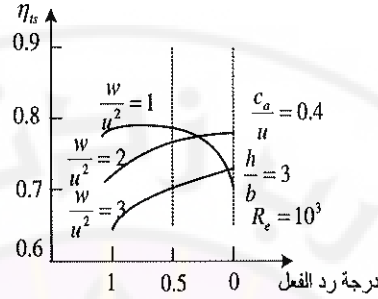
6-6- اختيار درجة رد الفعل وتأثيرها على المردود

174

عندما $\frac{w}{u^2} = 2$ و $\rho = 0$ فإن η_{is} تكون أعظمية ومع تحميل أعلى تتحدد η_{is} المثالية مع معدل رد فعل أعلى ولأجل مردود عالي مؤشر تحميل الشفرات سيكون أصغر.



الشكل (13-6) مخطط السرعة لدرجة رد فعل 100%



الشكل (14-6) تأثير درجة رد الفعل على المردود الإجمالي عند معامل تحميل ثابت

6-7- مردود الآلات الحرارية

الآلة الحرارية هي أي جهاز يحقق تحول الحرارة إلى طاقة ميكانيكية خلال عملية (أو أكثر سلسلة عمليات دورية) تبقى مستمرة. وميزة الآلة الحرارية، أن تكون قادرة على إنتاج طاقة حركية وبالتالي عمل مستمر خلال الزمن. من وجهة نظر فيزيائية الشكل الميكانيكي والمفردات التكنيكية لا تعطي الآلة الحرارية معنى ذو أهمية كبيرة، يمكننا القول أن عمل الآلة الحرارية يكون منجزاً بواسطة الجسم العامل أي من خلال إنتاج عمل من الحرارة المنقولة. هذه العملية يمكن تحقيقها في أكثر من طريقة، لأجل حركة المكبس أو دوران العنفة. تحدد من وجهة نظر ترموديناميكية بواسطة عمليات فيزيائية داخل المحرك حيث الجسم العامل يقوم بالعمل. هذا يوضح أن العمليات الميكانيكية يجب أن تحقق الدورية، لأنه بشكل عام في المحركات الحرارية (محرك، مسننات،...) أي جسم تشغيل لا يمكنه إنتاج العمل بالتمدد غير المحدود، لذلك يمكن القول، أن جسم التشغيل بعد التمدد سيعود لحجمه الأولي. الآلة الحرارية يجب أن تعمل من خلال سلسلة دورات ترموديناميكية لتعطي أكبر كمية من العمل ولزمن

طويل غير محدد. حسب مبدأ مصونية الطاقة, يجب أن يكون العمل منتجا من الحرارة, أي يجب أن يكون هناك منبع حراري (على الأقل واحد) أي يقدم الحرارة الضرورية. عندئذ يكون العمل موجودا وغير محدد, والمنبع الحراري سيضيف كمية أكبر من الحرارة بدون تبريد. نظريا يجب أن تكون الاستطاعة الحرارية للمنبع الحراري لا نهائية. لذلك بينما يستمر تقديم كمية الحرارة درجة الحرارة لا تتغير, في الواقع الآلات الحقيقية مثل محركات العربات تكون مغذاة بواسطة عمليات الاحتراق أي الانتقال غير العكوس للمركبات الكيميائية من وقود المحرك, وتتكرر عند كل دورة عمل. لذلك في المنبع الحراري الحقيقي يكون التكرار المستمر للانتقال الكيميائي, وليس استمرار النظام الفيزيائي. من وجهة نظر اقتصادية, الأفضل أن تنتج الآلة الحرارية العمل من تحويل كمية مكافئة من الحرارة.

الفصل السابع
العنف البخارية



العنفة البخارية

يخرج البخار من المرجل بضغط عالي ويتمدد في العنفة البخارية على الشفرات الثابتة أو المراوح أو الفوهات ويخرج منها بسرعة عالية فيصطدم بالشفرات ويحركها (جيوب buckets) فتتحول الطاقة الحركية إلى طاقة ميكانيكية (عمل ميكانيكي) تدوير العنفة، ثم يخرج البخار بضغط منخفض من العنفة ليدخل إلى المكثف. تصنف مرحلة العنفة:

- من حيث التصميم إلى: مرحلة دفع (فعل) ومرحلة رد فعل.
- حسب مواصفات البخار الخارج من العنفة إلى:
- آ- عنفة تكثيفية حيث يتكاثف البخار في مكثف عند ضغط أقل من الضغط الجوي ويكون مردود الدورة قليلاً لأن جزء كبير من طاقة البخار يضيع في المكثف.
- ب- عنفة لا تكثيفية (غير تكثيفية) أو ما يسمى عنفة ضغط خلفي حيث يخرج البخار عند ضغط أكبر من الضغط الجوي ليذهب بعدها إلى الأقسام الأخرى في المحطة ويستفاد من طاقته الحرارية. مردود الدورة ذات عنفات الضغط الخلفي عالي جداً % (65-75).

1-7- فوهات البخار

يمكن تحديد قيمة كل من ضغط وحجم الغاز المثالي من القانون:

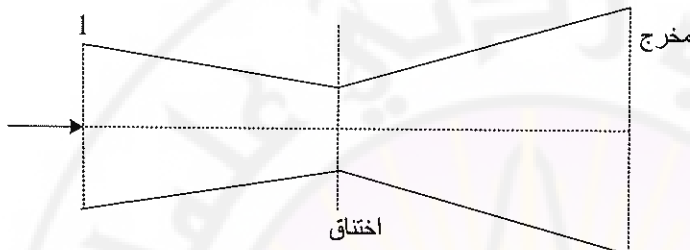
$$p \cdot v^r = \text{const} \text{ ، التحول الأديباتي ، } p \cdot v^n = \text{const} \text{ التحول البوليتروبي}$$

لكن لا يمكن تطبيق هذه القوانين على البخار إلا في حالة البخار المشبع حيث $n = 1.35$ والبخار المحمص $n = 1.3$ والبخار الرطب (معادلة زنبر) $n = (1.35 + \frac{x}{10})$ تتألف الفوهة من مقطع الدخول - مقطع الاختناق - مقطع الخروج. يبين الشكل (1-7) مكونات الفوهة وأن اختلاف الضغط عبر الفوهة الناتج عن سرعة الجريان ينتج عملاً.

بفرض أن التدفق يتم في شروط أديباتية حيث سرعة السائل عند المدخل والمخرج صغيرة جداً والطاقة الحركية مهملة فإن العمل يساوي الصفر وتحسب عندها سرعة السائل عند المخرج من العلاقة:

$$C_2 = \sqrt{2 \cdot (h_1 - h_2)} \quad (1-7)$$

h_1, h_2 الانتالبي عند المخرج والدخل للفوهة



الشكل (1-7) مكونات الفوهة

نستنتج أن الضغط عند المخرج يتناقص فتزداد السرعة التي يمكن أن تصل إلى قيمة سرعة الصوت في البخار، وذلك عندما تصبح قيمة نسبة الانضغاط مساوية للقيمة الحرجة. تدعى بالقيم الحرجة قيم الضغط والكثافة ودرجة الحرارة التي يحصل عندها ازدياد بالسرعة.

الضغط الحرج p_{cr} ، درجة الحرارة الحرجة t_{cr} ، الكثافة الحرجة ρ_{cr}

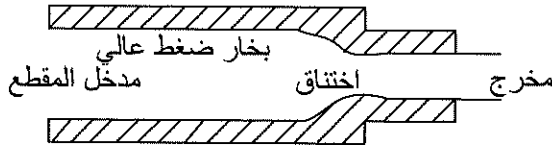
$$\frac{T_1}{T_{cr}} = \frac{2}{n+1} \quad \text{النسبة بين درجة حرارة الدخول والدرجة الحرجة}$$

T_{cr} درجة الحرارة الحرجة عند المقطع $M=1$

بفرض أن التدفق في الفوهة تم عند الضغط الحرج وكانت T_{cr} درجة الحرارة التي يصل إليها بعد التمدد الأديباتي في الفوهة.

$$\frac{p_1}{p_{cr}} = \left(\frac{T_1}{T_{cr}} \right)^{\frac{n}{n-1}} \quad (2-7)$$

معدل الضغط الحرج للبخار المحمص يكون أعلى 0.55 من الضغط الحرج لضغط الخروج التصميمي عند استعمال فوهة ذات تقارب بسيط. في الفوهة المتقاربة يكون مقطعي الخروج والاختناق متساويان كما في الشكل (2-7).



الشكل (2-7) فوهة متقاربة

عملياً، لا يكون الضغط عالياً فينحرف البخار ويتمدد في جميع الاتجاهات بشكل مضطرب مما يؤدي لزيادة ضياعات الاحتكاك عند مرور البخار عبر الشفريات المتحركة. لذلك تستخدم فوهات متقاربة متباعدة (يتناقص مقطع الدخول حتى الاختناق ثم يتزايد حتى المخرج) ليتمدد البخار دون اضطراب. الشكل (1-7). ازدياد المقطع يجعل البخار يسير بجريان منتظم وثابت. لذلك يجب أن يكون حجم الاختناق وطول المقطع المتباعد لكل فوهة مصمماً خصيصاً عند نسبة ضغط معينة لأية فوهة ممكن استعمالها. فإذا كانت الفوهة مصممة لعملية الخنق حسب شروط العملية عندئذ الفوهات المتقاربة والمتباعدة المتباعدة مختلفة وتكون درجة الحرارة عند الاختناق درجة حرارة تؤخذ قيمتها من جداول البخار عند قيمة الضغط الحرج p_{cr} والانتروبي الحرج $s_{cr} = s_1$ والسرعة الحرجة عند الانتالبي الحرج h_{cr} الذي يؤخذ من الجداول أو

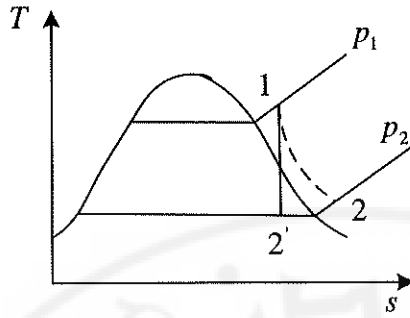
مخطط $i-s$ تحسب من العلاقة:

$$C_{cr} = \sqrt{2 \cdot (h_1 - h_{cr})}$$

2-7-2 مردود الفوهة

إن عملية التمدد في الفوهة لا عكوسة بسبب الاحتكاك بين السائل وجدران الفوهة ورغم ذلك لا تزال العملية قريبة من الأديباتية الشكل (3-7) ومردود الفوهة يعطى بالعلاقة:

$$\eta_n = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{cr}} \quad (3-7)$$



الشكل (3-7) عملية تمدد البخار في الفوهة

3-7- معامل إعادة التسخين

تتألف العنفة من عدة مراحل حسب مخطط موليير الشكل (4-7) ويحدد معامل إعادة التسخين من العلاقة:

$$R.F = \frac{\sum \Delta h'}{\sum \Delta h} \quad (4-7)$$

$\sum \Delta h'$ مجموع الهبوط الأديباتي للانتالي في المراحل
 $\sum \Delta h$ الهبوط الأديباتي الكلي للعنفة

$$R.F = \frac{(h_1 - h_2') + (h_2 - h_3') + (h_3 - h_4')}{(h_1 - h_4')} \quad (5-7)$$

$R.F > 1$ معامل التسخين يحدد العلاقة بين مردود المرحلة ومردود العنفة

المردود النظري للعنفة (الأديباتي) حسب الشكل $\eta_t = \frac{\Delta h}{\Delta h'}$

$\Delta h'$ الهبوط الأديباتي للانتالي، $\Delta h = \sum \Delta h$ الهبوط الحقيقي للانتالي

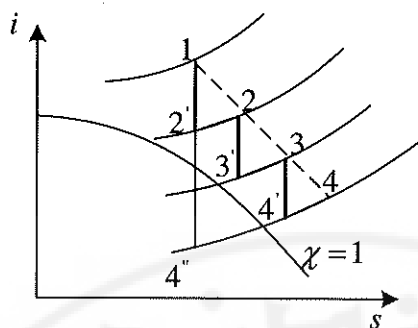
$$\sum \Delta h_{1,4} = (h_1 - h_2) + (h_2 - h_3) + (h_3 - h_4)$$

وإذا كان مردود المرحلة ثابتاً $\eta_s = const$ فإن:

$$\eta_t = \frac{\sum \eta_s \cdot (\Delta h')_{stage}}{(\Delta h')_{turbine}} = \frac{\eta_s \cdot \sum \Delta h'_{stage}}{\Delta h'_{turbine}} \quad (6-7)$$

$$\eta_t = \eta_s \cdot (R.F)$$

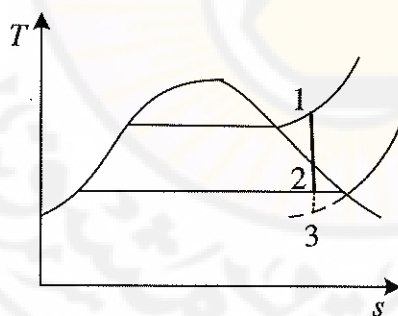
ينتج من هذه العلاقة أن مردود العنفة يكون أكبر من مردود المرحلة لأن معامل إعادة التسخين أكبر من الواحد ويؤخذ عادة في المجال (1.03-1.04).



الشكل (4-7) مخطط موليير لعنفة متعددة المراحل

4-7- التوازن شبه المستقر

يبين الشكل (5-7) عملية تمدد بسيطة للبخار المحمص من النقطة 1 في فوهة متقاربة متباعدة. بفرض أن العمليات أديباتية عكوسة. $1 \rightarrow 2$ تمدد أديباتي ليصبح بخار مشبع، يمكن للبخار أن يتكاثف. لكن إذا وصل البخار في المقطع المتباعد من الفوهة إلى حالة الإشباع (النقطة 2) عندئذ لا يحصل التكاثف إلا في النقطة 3 التي يتكاثف البخار عندها بشكل سريع جداً. على الرغم من أن البخار بين النقطتين 2, 3 يكون بحالة بخار رطب. ودرجة الحرارة تكون أقل من درجة حرارة الإشباع عند الضغط المعطى، وهذا يعرف بالحالة شبه المستقرة.



الشكل (5-7) (ظاهرة الإشباع) عملية تمدد بسيطة للبخار المحمص

عملياً: تغير درجة الحرارة والضغط في الفوهة يكون أسرع من عملية التكاثف عند نفس الشروط. لا يتكاثف البخار عند درجة حرارة الإشباع الموافقة لضغط الإشباع

والفرق بينهما يساوي الفرق بين درجة حرارة الإشباع الموافقة للضغط 3 ودرجة الحرارة الحقيقية للبخر المحمص عند النقطة 3. ودرجة حرارة البخر المشبع الجاف عند الضغط الحقيقي للنقطة 3 تكون موافقة لضغط الإشباع عند درجة الحرارة الحقيقية للبخر المحمص عند النقطة 3.

7-5- تصميم المرحلة

تتألف مرحلة العنفة من الشفرات الثابتة (الفوهات) والشفرات المتحركة (الجزء الدوار) وبمرور البخر عبر المرحلة يؤدي عملاً يدير العنفة الذي ينتقل بواسطة محور إلى محرك دوار. يوجد نوعين من العنفات المستخدمة من حيث التصميم كما ذكرنا سابقاً: عنفة دفع (مرحلة دفع) وعنفة رد فعل (مرحلة رد فعل).

تم تصميم مرحلة الدفع في العام 1889 من قبل لافال وكانت عنفة دفعية بمرحلة واحدة تدور عند سرعة دوران 30000 r.p.m وهي سرعة عالية وتسبب اجهادات كبيرة على الشفرات وضياعات كبيرة على قرص الاحتكاك لا يمكن تفاديها، لذلك عملياً لا تستخدم بشكل واسع. وفي المحطات كبيرة الاستطاعة لا تستخدم العنفات الدفعية بمرحلة واحدة، حيث تدور المنوبة بسرعة 3000 r.p.m .

7-6- تصميم عنفة متعددة المراحل

مع الأخذ بالاعتبار تحمل السرعة المحيطية على القطر الوسطي لا يمكن تجاوز قيمة محددة حسب نوع ريش العنفة والدوار، نتيجة استعمال مواد تتحمل درجات حرارة وشروط العمل. تؤخذ قيمة السرعة المحيطية بحدود $u = 100 - 300 \text{ m/s}$ والأعظمية $u_{\max} = 300 - 400(450) \text{ m/s}$ وهبوط الانتالبي لعنفة وحيدة المرحلة

$$H_s = h_s = \frac{c_s^2}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{c_s}{u} u \right)^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{u}{v} \right)^2 \quad (7-7)$$

- لعنفة الفعل مردود جيد وعندما يكون معامل السرعة $v = 0.5$ و $u = 300 \text{ m/s}$

$$h_s = \frac{1}{2} \left(\frac{u}{v} \right)^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{300}{0.5} \right)^2 = 180.10^3 \text{ J/kg} = 180 \text{ kJ/kg} \quad \text{نحصل على}$$

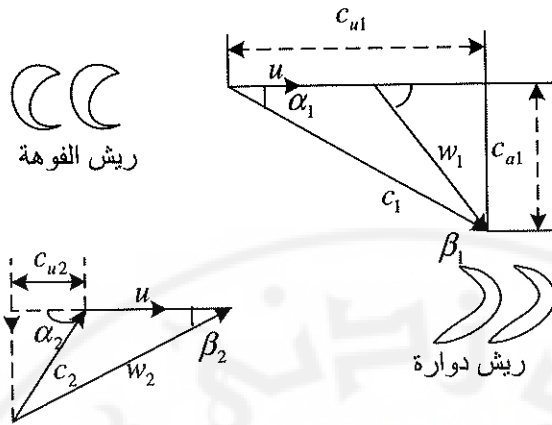
- في عنفة رد الفعل وحيدة المرحلة وعند مردود جيد يكون هبوط الانتالبي أقل.

- في محطات توليد الطاقة البخارية تكون بارامترات البخار النقي مرتفعة وبالتالي هبوط الانتالبي فيها يصل في المجال $H_s = 1200 - 1400 \text{ kJ/kg}$
- نلاحظ أن H_s أكبر بعدة مرات من h_s . هذا بسبب استعمال عنفة متعددة المراحل حيث الهبوط الكلي هو مجموع هبوط الانتالبي في جميع المراحل المتصلة على التسلسل.
- إمكانية جعل الهبوط الكلي في الانتالبي عند أقل هبوط جزئي يجعل المردود جيد في المراحل اللاحقة.
- جميع المراحل باستثناء المرحلة الأخيرة يمكن أن تعمل باستخدام الطاقة الحركية للبخار الخارج من المرحلة للمرحلة التي تليها. بفضل ذلك يكون مردود المرحلة الوسطية أعلى من مردود المرحلة المعزولة.
- ضياعات الخروج في المرحلة الأخيرة هي $\Delta h_{wyl} = \frac{c_2^2}{2}$ منسوبة للهبوط في المرحلة الواحدة تكون $\zeta_{wyl} = \frac{\Delta h_{wyl}}{h_s}$ ، بينما للهبوط الكلي في المراحل تكون
- $$\zeta_{wylT} = \frac{\Delta h_{wyl}}{H_s} = \frac{\Delta h_{wyl}}{h_s} \frac{h_s}{H_s} = \zeta_{wyl} \frac{h_s}{H_s} \quad (8-7)$$
- نستنتج أن $\zeta_{wylT} > \zeta_{wyl}$ مثال، بفرض أن عدد المراحل $z \approx \frac{H_s}{h_s}$ وهبوط الانتالبي نفسه في جميع المراحل تكون الضياعات في العنفة متعددة المراحل $\zeta_{wylT} \approx \frac{1}{z} \zeta_{wyl}$
- المردود الداخلي للعنفة متعددة المراحل η_{iT} أعلى من المردود الوسطي لكل مرحلة $\eta_{ii} > \eta_{ist}$
- العنفة متعددة المراحل تسمح بإمكانية استعمال نظام تسخين استرجاعي لمياه التغذية.
- 7-7- المرحلة الدفعية**

يحدث هبوط الضغط الكلي في العنفة ذات المرحلة الدفعية على الشفرات الثابتة (الفوهات) الذي يزيد من سرعة البخار، بينما في مرحلة رد الفعل يحصل هبوط الضغط الكلي على الشفرات الثابتة والمتحركة الذي يؤدي لزيادة مركبة في سرعة البخار. إن التشابه في تصميم الشفرات الثابتة لكلا النوعين بينما الاختلاف كبير عند مخرج الشفرات المتحركة التي تكون شبيهة بالكأس في المرحلة الدفعية وفي مرحلة رد الفعل تكون أكثر شبهاً بال (airfoil) .

7-8- عنفة الدفع البخارية

تستعمل في محطات الطاقة عنفات بخارية دفعية ونادراً ما تستعمل العنفات الغازية ومبدأ العمل نفسه في حال استخدام البخار أو الغاز كجسم تشغيل. يبين الشكل (7-6) تمدد البخار كاملاً في فوهة عنفة دفعية بمرحلة واحدة ويغادرها بسرعة مطلقة c_1 وزاوية α_1 وسرعة محيطية u (سرعة الشفرة أو المحور) ومنها نحدد السرعة النسبية w_1 التي تميل بزاوية β_1 بالنسبة للسرعة u عند مدخل الجزء الدوار. إن زيادة الزاوية α_1 يؤدي لتناقص قيمة الجداء $c_1 \cdot \cos \alpha_1$ وازدياد قيمة المركبة المحورية $c_a \cdot \sin \alpha_1$ (للدخول وللخروج). يغادر البخار بسرعة نسبية w_2 تميل بزاوية β_2 بالنسبة للسرعة u وتكون سرعته المطلقة c_2 . سرعتين w_2 , c_2 تحددان مثلث السرعات مع السرعة u عند المخرج.



الشكل (6-7) مثلث السرعات لمرحلة العنف

7-9- الضغط المركب (عنفة RATEAU)

تستعمل في عنفة الدفع مرحلة RATEAU صف واحد من الفوهات وصف من الشفرات المتحركة على الدولاب أو على الدوار هبوط الضغط الكلي يقسم على التسلسل مع تزايد بسيط فوق المراحل. كل مرحلة تتألف من فوهة وشفرة متحركة حيث يتمدد البخار وتستخدم الطاقة الحركية الناتجة بتحريك الدوار وإعطاء عملاً مفيداً. الجدران الفاصلة الحاملة للفوهات تعرف بالحجاب وكل حجاب على القرص يفرغ البخار يدعى مرحلة من العنف ومجموعة المراحل تشكل عنفة مركبة الضغط. العنفات ذات المراحل (RATEAU) عاجزة عن إنتاج طاقة كبيرة من البخار ولذلك يكون مردودها منخفض. وعلى الرغم من أنها غير فعالة تصمم فقط للعنفات صغيرة الاستطاعة (الاحتياطية).

7-10- السرعة المركبة (عنفة كورتيس)

يحصل هبوط الضغط في هذا النوع من العنفات بشكل كامل في الفوهات ويعبر البخار خلال سلسلة من الشفرات ليصل إلى دولاب أو دوار مفرد. الشفرات الثابتة بين صفوف الشفرات المتحركة تغير اتجاه جريان البخار ليدخل الصف الثاني من الشفرات المتحركة. لأن انخفاض السرعة يحدث فوق مرحلتين عند نفس الانخفاض بالضغط.

عنفة كورتييس تستطيع إنتاج طاقة أكبر من عنفة الضغط المركب وبالنتيجة عنفة كورتييس مردودها أعلى.

7-11- العنفات البخارية ذات رد الفعل

اخترع تشارلز بارسون عنفة رد الفعل البخارية وهي تتألف من صف ثابت من الشفرات يساوي عدد الشفرات المتحركة المثبتة على الدولاب. يحصل هبوط الضغط أو التمدد على الشفرات الثابتة (الفوهات) وعلى الشفرات المتحركة لأن هبوط الضغط من المدخل وحتى المخرج يقسم على عدة مراحل وخلالها تستعمل صفوف الشفرات الثابتة والمتحركة بالتناوب. تتألف عنفات رد الفعل من أكثر من مرحلة وتعرف بعنفات الضغط المركب. وفيها تنشأ قوة رد الفعل على الشفرات المتحركة عندما تزداد سرعة البخار ويتغير اتجاهه. عادة تكون عنفات رد الفعل ذات ضغط منخفض لأن عنفات الضغط العالي غالية الثمن لأنها تصنع من معادن ثقيلة ومرتبعة الثمن.

7-12- العنفة الغازية

تستعمل العنفة الغازية ذات الجريان المحوري على الأغلب في محطات الطاقة ذات العنفات الغازية. لقد كانت معوقات تطور العنفات الغازية ذات الجريان المحوري هي الحاجة لمعدل تدفق عالي بشكل كاف ونسبة انضغاط مناسبة من الضاغط للحصول على الهواء اللازم لعملية الاحتراق ومن ثم تمدد غازات الاحتراق. يوجد نوعين أساسيين للعنفات الغازية:

أ- عنفة غازية ذات تدفق محوري

ب- عنفة غازية ذات تدفق قطري (طرد مركزي)

يستعمل حتى تاريخه في محركات العنفات الغازية للطائرات نوع التدفق المحوري وتجري الدراسات لاستعمالها في الصناعة والسفن. تتألف عنفة التدفق المحوري من مرحلة أو أكثر متوضعة مباشرة خلف المحرك وحجرة احتراق. تدور العنفة نتيجة تمدد الغازات وتحول طاقتها الحرارية إلى طاقة حركية التي تنتقل بدورها أيضا

لتدوير الضاغط والمحركات المساعدة. يمكن تصنيف العنفات المحورية إلى: عنفات دفعية وعنفات رد فعل.

في العنفات الدفعية تتمدد الغازات في الفوهة وتمر عبر الشفرات المتحركة التي تتحرك من تحول الطاقة الحرارية إلى طاقة حركية ثم إلى طاقة ميكانيكية لتنتقل بعدها إلى المرحلة التالية (عنفة متعددة المراحل) أو تخرج من العنفة ذات المرحلة الواحدة. أما في عنفات رد الفعل يحصل هبوط الضغط نتيجة التمدد في الشفرات الدوارة ويستمر حتى الشفرات الثابتة إن مردود عنفة رد الفعل أعلى من مردود الضاغط. حيث العملية متشابهة غالبا فيهما والسبب الرئيسي يكمن في تصميم الضاغط وتشكل السائل بسبب ارتفاع الضغط مما يؤدي لصعوبة كبيرة من أجل بيان فعالية الجريان من الفعالية الموجودة. هبوط الضغط في العنفة يكون كافيا للمحافظة على الطبقة الحدية للسائل. بينما في الضاغط يمكن تفادي الانقطاعات الجزئية بسهولة من السطح. تواجه العنفة اجهادات حرجة لأن الدولاب الدوار للعنفة سيعمل عند درجات حرارة عالية للغازات. مبدئيا يوجد تشابه بين تصميم العنفة الغازية والبخارية.

تكون العنفات البخارية عادة دفعية أو مختلطة، بينما العنفات الغازية ذات رد فعل. العنفة البخارية طويلة جدا لأن عدد مراحل رد الفعل كبير وذلك لتخفيض الضغط إلى $1/1000$ ، تستعمل مراحل رد الفعل حيث هبوط الضغط لكل مرحلة أقل ومعدل الضغط عالي خاصة في محركات الطائرات بينما عدد مراحل العنفة الغازية تحوي من ثلاث إلى أربع مراحل رد فعل.



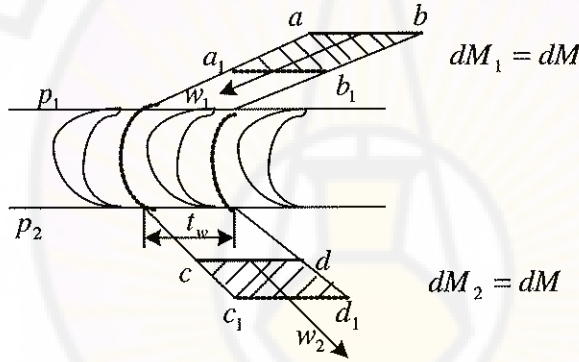
الفصل الثامن
الجريان في الريش الدوارة



الجريان في الريش الدوارة

8-1- القوى المؤثرة على ريش الدوار

يستعمل مثلث السرعات المبين على الشكل (6-7) لحساب القوى المؤثرة على ريش الدوار. باستخدام قانون كمية الحركة لتحديد تأثير التدفق الذي يجري على مقطع الريش. نقتطع المجال من الجريان $abdc$ حيث الخط ac و bd يمثلان خطوط التيار، على طول كل من الخطين السرعة والضغط ثابتان (أو تؤخذ القيمة الوسطية) الشكل (1-8). نفرض، أن الجريان مستقر، تدفق الجسم العامل إلى قناة الريش يساوي التدفق الخارج من القناة. نحسب، تغير كمية حركة الكتلة M ، الموجودة في المجال $abdc$ خلال الزمن dt . خلال الزمن dt الكتلة M يتغير موقعها محورياً وتصبح في المجال $a_1b_1d_1c_1$.



الشكل (1-8) مخطط قانون كمية الحركة

كمية حركة الكتلة الموجودة في المجال a_1b_1dc ، تساوي $M-dM_1$ ، دون تغير، حسب ذلك تغير كمية حركة كامل الكتلة M خلال الزمن dt سيكون مساوياً للفرق بين كمية حركة الكتلة dM_2 الموجودة في المجال cd_1c_1 وكمية حركة الكتلة dM_1 الموجودة في المجال abb_1a_1 . مع افتراض أن $dM_1=dM_2=dM$ تغير كمية الحركة للكتلة M خلال الزمن dt يكون:

dM_1, dM_2 الكتلتين w_1, w_2 حيث $dM(w_2-w_1)$

حسب قانون كمية فإن الزيادة في دفع الكتلة يساوي $F dt$

حيث F القوة الخارجية المؤثرة على الكتلة M

تتكون القوة F من مركبتين قوة رد فعل سطحية تؤثر على المقطع R وقوة ΔF الناتجة عن الضغط المؤثر على السطح الخارجي للمجال $abdc$ من القيمتين السابقتين نجد أن

$$F = R + \Delta F \quad (1-8)$$

$$R + \Delta F = \frac{dM}{dt}(w_2 - w_1)$$

بفرض شدة التدفق $m_1 = \frac{dM}{dt} [kg/sec]$ ومنه $R + \Delta F = m_1(w_2 - w_1)$

$$R = m_1(w_2 - w_1) - \Delta F \quad (2-8)$$

عملياً القوة المهمة هي المؤثرة على الريش وهي المعاكسة لقوة رد الفعل

$$P_1 = -R = m_1(w_1 - w_2) + \Delta F \quad (3-8)$$

إن الرمز $m_1 = \frac{m}{z_w}$ وهو شدة الجريان في قناة واحدة حيث m التدفق الكلي للجريان

و z_w عدد الريش على الدوار.

يجب التمييز بين القوة المؤثرة على ريشة واحدة P_1 القوى المؤثرة على كامل ريش القرص الدوار P . القوة P_1 ضرورية لحساب المتانة (تسبب فقدان الريش). لحساب استطاعة المرحلة وعزم دورانها يجب معرفة القوى P المؤثرة على كامل القرص.

بتحليل القوة $P_1 = -R$ بالاتجاه المحيطي والمحور نجد:

$$P_1 = P_{1u} + P_{1a} \quad (4-8)$$

بفرض أنه لا يوجد في الاتجاه المحيطي تأثير لقوى الضغط على الحدود الخارجية للكتلة M ، حيث توزع الضغط وفق الخط ac والخط bd نفسه، تهمل المركبة ΔF ، لريشة واحدة.

$$P_{1u} = \frac{m}{z_w}(w_{1u} - w_{2u}) \quad (5-8)$$

$$P_u = m(w_{1u} - w_{2u}) \quad \text{لكامل القرص}$$

وفي الاتجاه المحوري تظهر قوى الضغط الناتجة عن فرق الضغط على السطوح $ab (p_1)$ و $cd (p_2)$. فتكون القوة:

$$\Delta F = t_w l_w (P_1 - P_2) \quad (6-8)$$

بالتوافق مع علاقة القوى المؤثرة على ريشة محوريا

$$P_{1a} = \frac{m}{z_w} (w_{1a} - w_{2a}) + t_w l_w (P_1 - P_2) \quad (7-8)$$

$$P_a = m(w_{1a} - w_{2a}) + \Omega(P_1 - P_2) \quad \text{على كامل القرص}$$

حيث: $\Omega = 2\pi r l_w$ مساحة سطح القرص ذي القطر الوسطي r والارتفاع l_w .
من العلاقات السابقة نستنتج:

$$\Delta c_u = c_{1u} - c_{2u} = w_{1u} - w_{2u}$$

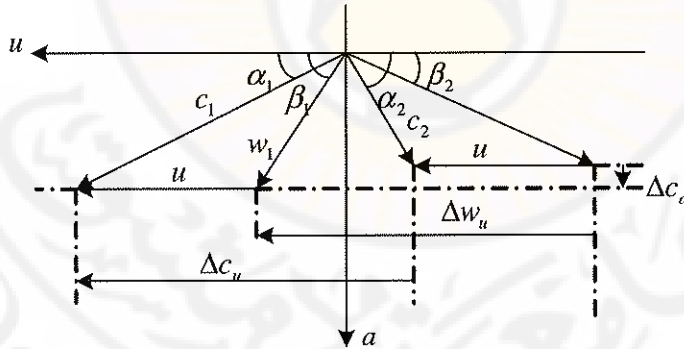
$$\Delta c_a = c_{1a} - c_{2a} = w_{1a} - w_{2a}$$

من ذلك نجد:

$$P_u = m \cdot \Delta c_u$$

$$P_a = m \cdot \Delta c_a + \Omega(P_1 - P_2) \quad (8-8)$$

فرق السرعات $\Delta c_u, \Delta c_a$ نقرؤه من مثلث السرعات مباشرة على الشكل (2-8).



الشكل (2-8) تغير مركبات السرعة المحيطة والمحورية

الشعاع $\Delta \vec{c}_a$ صغير جداً يمكن إهماله وتصبح مركبات القوة المحورية

$$P_a' = m \cdot \Delta c_a \quad \text{الذي يهمل عادة وتكون المركبة الثانية} \quad P_a'' = \Omega(P_1 - P_2)$$

في مرحلة الفعل حيث $\rho = 0$ تكون $P_1 = P_2$ ، وعندها تكون $P_a'' = 0$ ، بينما في مراحل رد الفعل هبوط الضغط يكون كبيراً، وبالتالي المركبة P_a'' كبيرة التي تؤدي لمشاكل تصميمية. عندما تكون الشفرة متماثلة والاحتكاك مهمل تكون $\beta_1 = \beta_2$ و $w_1 = w_2$ لكن بسبب الاحتكاك فإن السرعة النسبية تتناقص حسب العلاقة (معادلة

$$\text{أويلر)} \quad k = \frac{v_2}{v_1} \quad \text{فيكون العمل الناتج بالنسبة 1kg}$$

$$w_t = u \cdot (c_{u1} + c_{u2}) \quad (9-8)$$

وإذا كانت المركبات المحورية $c_{a1} \neq c_{a2}$ وبفرض أن $c_a = \text{const.}$ يكون اتجاه التدفق محوري والعمل الناتج

$$w_t = u \cdot c_a \cdot (\tan \beta_1 + \tan \beta_2) \quad ، \quad w_t = u \cdot c_a \cdot (\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2)$$

فيكون المردود مساوياً للعمل الناتج من واحدة الكتلة مقسوماً على العمل الكلي لواحدة الكتلة عندما تتغير Δc_u فإن القوة المطبقة على الدولاب الدائر $m \cdot c_u$ وجداء القوة بسرعة الشفرات يساوي معدل العمل الناتج على الدولاب

$$\text{power}_{out} = m \cdot u \cdot \Delta c_u \quad (10-8)$$

$$\Delta c_a = c_{a1} - c_{a2}$$

الدفع المحوري أو القوة المحورية

$$F_a = m \cdot \Delta c_a \quad (11-8)$$

$$c_1 = \sqrt{2 \cdot (h_o - h_1)} \quad \text{والسرعة الأعظمية للبخر على الشفرات}$$

وبإهمال سرعة الدخول عند الفوهة تكون الطاقة المعطاة للشفرات هي الطاقة الحركية

$$\text{ومردود الفوهة يكون:} \quad \frac{c_1^2}{2}$$

$$\eta_d = u \cdot \Delta c_w \cdot \frac{2}{c_1^2} \quad (12-8)$$

$$\text{وباستخدام معامل سرعة الشفرات} \quad k = \frac{v_2}{v_1} \quad \text{و} \quad \beta_1 = \beta_2$$

$$\Delta c_w = 2 \cdot v_1 \cdot \cos \alpha_1 - u \quad ، \quad \Delta c_w = 2 \cdot (c_1 \cdot \cos \alpha_1 - u)$$

معدل العمل الناتج لوحد الكتلة = $2 \cdot (c_1 \cdot \cos \alpha_1 - u) \cdot u$

$$\eta_d = \frac{4 \cdot (c_1 \cdot \cos \alpha_1 - u) \cdot u}{c_1^2} \quad , \quad \eta_d = 2 \cdot (c_1 \cdot \cos \alpha_1 - u) \cdot u \cdot \frac{2}{c_1^2}$$

$$\eta_d = \frac{4 \cdot u}{c_1} \cdot \left(\cos \alpha_1 - \frac{u}{c_1} \right) \quad (13-8)$$

حيث $\frac{u}{c_1}$ معدل سرعة الشفرة

$$\frac{u}{c_1} = \frac{\cos \alpha_1}{2} \quad , \quad \frac{d(\eta_d)}{d\left(\frac{u}{c_1}\right)} = 4 \cdot \cos \alpha_1 - \frac{8 \cdot u}{c_1} = 0$$

$$\eta_d = \cos^2 \alpha_1 \quad , \quad \eta_{d \max} = \frac{4 \cdot \cos \alpha_1}{2} \left(\cos \alpha_1 - \frac{\cos \alpha_1}{2} \right)$$

تكون طاقة الخرج

$$P = 2 \cdot u^2 \quad (14-8)$$

2-8- الاستطاعة الكلية، العمل النوعي والمردود الكلي، الداخلي و الفعال

بمعرفة القوى المحيطية على القرص الدوار P_u يمكن حساب القيم التالية:

— العزم على المحيط

$$M_u = P_u \cdot r = P_u \cdot \frac{d}{2} [Nm] \quad (15-8)$$

— الاستطاعة على المحيط

$$N_u = P_u \cdot u = \left[N \frac{m}{s} \right] = [W] \quad (16-8)$$

في نظرية العنفة من المهم معرفة العمل النوعي (الاستطاعة النوعية). وهي نسبة الاستطاعة على شدة الجريان في المرحلة. نحصل على العلاقة:

$$l_u = \frac{N_u}{m} = \Delta c_u \cdot u \quad , \quad N_u = m \cdot \Delta c_u \cdot u$$

من العلاقة السابقة العمل النوعي على محيط المرحلة، هو عمل واحد كيلوغرام من الجسم العامل. والقيمة البعدية هي:

$$\frac{W}{kg/s} = \frac{W \cdot s}{kg} = \frac{J}{kg}$$

القيمة $\frac{J}{kg}$ تعرف بعمل واحد كيلو غرام. أي يناسب مفهوم العمل النوعي. والقيمة

$\frac{W}{kg/s}$ تمثل الاستطاعة الناتجة عن تدفق واحد كيلو غرام خلال ثانية، الذي يعرف

بالاستطاعة النوعية N_{ju} . مفهوم العمل النوعي ومفهوم الاستطاعة النوعية لهما نفس

القيمة $l_u = N_{ju}$ أحيانا تستعمل الرموز l, N_j .

بفرض أننا قرأنا على مخطط i-s قيمة هبوط الانتالبي 100 kJ/kg هذا يعني أن واحد

كيلو غرام من الجسم العامل أعطى في المرحلة عملا 100 kg أو أن التدفق ذا شدة

الجريان واحد كيلو غرام في الثانية ينتج استطاعة 100 kW .

بمعرفة الاستطاعة النوعية أو العمل النوعي نحسب الاستطاعة على محيط المرحلة

حسب العلاقة:

$$N_u = l_u \cdot m = N_{ju} \cdot m$$

العمل النوعي على المحيط l_u يمكن تعيينه على المخطط. وهي أقل من العمل

الأديباتي l_s ، ذي الضياعات على المحيط Δl_u

$$l_u = l_s - \Delta l_u$$

نسبة العمل على المحيط إلى العمل الأديباتي يدعى المردود على المحيط (الكلي)

$$\eta_u = \frac{l_u}{l_s} = 1 - \frac{\Delta l_u}{l_s} \quad (17-8)$$

هذا المردود يتعلق بالضياعات على المحيط، وهي تؤثر على تصميم انسياب الريشة

واختيار البارامترات التصميمية الرئيسية للمرحلة.

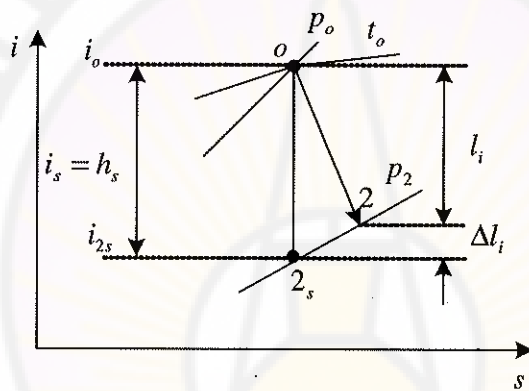
الضياعات على المحيط تدعى ضياعات على الشفرات: تظهر على الجريان الحقيقي

على شكل ضياعات في الدولاب الموجه Δl_k و الدوار Δl_w بالإضافة لضياعات

الخروج المرتبطة بعدم استخدام الطاقة الحركية عند مخرج المرحلة $\Delta l_{wyl} = c_2^2 / 2$:

$$\Delta l_u = \Delta l_k + \Delta l_w + \Delta l_{wyl} \quad (18-8)$$

مخطط الانتروبي الشكل (3-8).



الشكل (3-8) الضياعات الداخلية والعمل الداخلي

$$h_s = i_o - i_{2s} \quad \text{الاستطاعة الداخلية للمرحلة}$$

$$N_i = \eta_i \cdot h_s \cdot m \quad (19-8)$$

$$N_{IT} = \eta_{IT} \cdot H_s \cdot m \quad \text{ولكامل العنفة}$$

هذه العلاقة تمثل حالة خاصة عندما تكون شدة الجريان واحدة عبر كامل العنفة.

يمكن إيجاد شدة الجريان من العلاقة

$$m = \frac{N_{iT}}{\eta_{iT} H_s} \quad (20-8)$$

مثال: تعطى الاستطاعة الداخلية لعنفه بخارية $N_{iT} = 10000 \text{ kW}$ ، وليكن هبوط الانتالبي الأديباتي في العنف $H_s = 1000 \text{ kJ/kg}$ والمردود الداخلي للعنف $\eta_{iT} = 0.8$ يكون التدفق الكتلي حسب العلاقة

$$m = \frac{N_{iT}}{\eta_{iT} H_s} = \frac{10000}{0.8 \times 1000} = 12.5 \text{ kg/s}$$

بالإضافة للضياعات السابقة توجد ضياعات ميكانيكية ناتجة عن الاحتكاك في المضاجع والاستطاعات المستهلكة في تشغيل الأجهزة من العنف المساعدة مثل المضخات والمنظمات.... فتكون الاستطاعة الفعالة N_e الناتجة عن محور العنف أقل من الاستطاعة الداخلية بمقدار الضياعات الميكانيكية ΔN_m . $N_e = N_i - \Delta N_m$ نسبة الاستطاعة الفعالة إلى الاستطاعة الداخلية تدعى المردود الميكانيكي $\eta_m = \frac{N_e}{N_i}$ ونسبة الاستطاعة الفعالة إلى الاستطاعة النظرية تحدد المردود الفعال

$$\eta_e = \frac{N_e}{N_s} = \frac{N_e}{N_i} \cdot \frac{N_i}{N_s} = \eta_m \cdot \eta_i \quad (21-8)$$

3-8- نظرية آلية التمدد

3-8-1 المعادلات الأساسية لحركة جسم التشغيل

تحول الطاقة يحصل في مرحلة العنف نتيجة جريان جسم التشغيل في الريش الموجهة على القرص الثابت والريش العاملة على القرص الدوار. مسألة تصميم العنف هي تحقيق جريان، بأقل ضياعات وأعلى مردود للعنف. قوانين جريان السوائل اللزجة والقابلة للانضغاط لها معنى كبير في مسائل الجريان عبر ريش العنف. حيث تمثل مادة مهمة في ميكانيك الموائع. سوف ندرس بعض هذه المعادلات، الضرورية لحساب الأبعاد الرئيسية لنظام الشفرات ومردود المرحلة. بهدف الحصول على معادلات مفيدة نستخدم الفرضيات التالية:

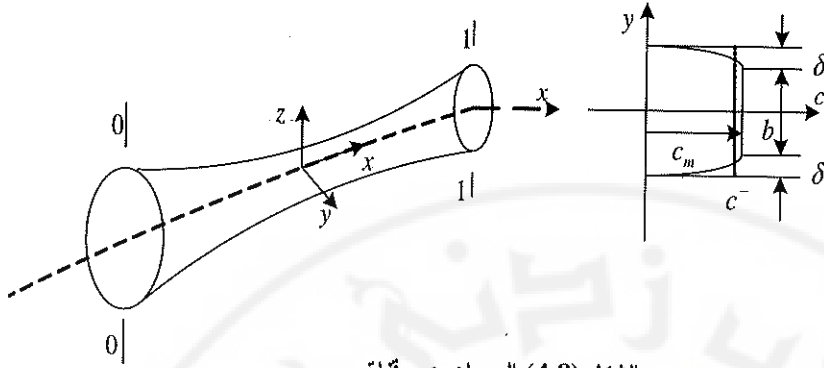
1- نفرض عادة، أن الجريان وحيد البعد، بارامتراتة وسطية في المقطع الخلفي لاتجاه الجريان. طبعي في كل نقطة من المقطع الخلفي تظهر عدة بارامترات $c, p, t, \dots$ الاختلافات بشكل عام ليست كبيرة وفي عدة حالات يمكن أخذ، بارامترات الجسم العامل لمقطع واحد متعامد مع محور القناة واحدة ومحددة بقيم وسطية مناسبة. في هذه الطريقة نحصل على جريان وحيد البعد، أي جريان تتغير بارامتراتة وفق محور القناة. لا يمكن استعمال هذه الفرضية دائماً وأحياناً من الضروري اعتبار الجريان ثنائياً أو ثلاثي البعد.

2- الفرضية الثانية هي أن الجريان مستقر أي أن بارامترات جسم التشغيل لا يطرأ عليها أي تغير مع الزمن. أيضاً هذه الفرضية لا تستعمل دائماً. في الواقع جريان الغاز في العنفة يكون مضطرباً أحياناً، ومرتبطة مع حركة الدائر بالنسبة لقرص الريش الموجهة. التحليل النظري للجريان يجب أن يكون دراسة تجريبية، تسمح بالتحكم بنتائج الحساب وتحديد معاملات الجريان، التي تؤدي إلى معادلات نظرية تسمح الحصول على حسابات بسيطة وسهلة في الريش الثابتة ومرحلة العنفة. لحساب جريان المائع القابل للانضغاط نستعمل ثلاث معادلات أساسية:

- معادلة الاستمرار
- معادلة كمية الحركة
- معادلة مصونية الطاقة

أ- معادلة الاستمرار

بفرض أن الجريان عبر القناة خطياً كما في الشكل (4-8)



الشكل (4-8) الجريان عبر قناة

بيد

ين على الشكل توزيع السرعة c في أية مقطع خلفي للقناة. في الجزء المركزي، العرض b ، سرعة الجريان تكون أقل من الواحد c_m . بينما في الطبقة بجانب الجدار تتغير السرعة δ بشكل كبير من الصفر على الجدار c_m . للحقل الجزئي من مقطع الجريان dA يكون $dA \perp c$ نستطيع أن نكتب معادلة الاستمرار

$$dm \cdot v = dA \cdot c \quad (22-8)$$

وحساب التدفق الجزئي dm للغاز المار في المقطع dA

$$dm = dA \frac{c}{v} \quad \text{ولكامل المقطع} \quad m = \int_{(A)} \frac{c}{v} dA \quad \text{يمكن كتابة هذه المعادلة}$$

$$\text{لأية مقطع مثل مقطع الدخول} \quad m = \int_{(A_0)} \frac{c_0}{v_0} dA \quad \text{وعند المخرج}$$

$$m = \int_{(A_1)} \frac{c_1}{v_1} dA \quad \text{وبفرض أن الكتلة ثابتة} \quad m_0 = m_1 = m = idem \quad \text{تصبح العلاقة}$$

$$\text{بالشكل:} \quad m = A \frac{c}{v} \quad \text{ومنه} \quad \ln m = \ln A + \ln c - \ln v \quad \text{وبالتالي:}$$

$$\frac{dA}{A} = \frac{dv}{v} - \frac{dc}{c}, \quad \frac{dA}{A} + \frac{dc}{c} - \frac{dv}{v} = 0$$

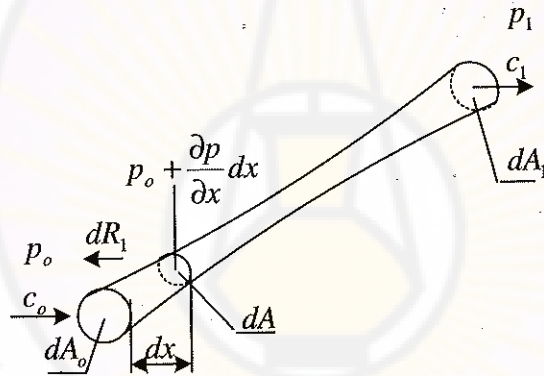
ينتج أن تغير مقطع القناة باتجاه محور الجريان يؤدي إلى تغير السرعة وفق المحور والحجم النوعي.

ب- معادلة كمية الحركة

نأخذ في القناة أنبوبة تيار جزئية الشكل (5-8) محددة بالمقطعين dA_o, dA_1 عند المخرج والمدخل للقناة. لننتذكر أن أنبوبة التيار تدعى المجال المقطع من الجريان، محددة المساحة المتوضعة على خط التيار، هذه المساحة حيث شعاع السرعة يكون دائماً مماساً لها. نقتطع الجزء o طوله dx ، الذي يحوي الكتلة dM تأثير القوى ناتج عن فرق الضغط في المقطعين والقوة dR_1 ناتجة عن الاحتكاك بين خطوط التيار، بالاتجاه المعاكس لاتجاه الحركة.

ميزان القوى على أنبوبة التيار:

$$dA_o \cdot p_o - dA \left(p_o + \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) - dR_1 = dM \frac{dc}{dt} \quad (23-8)$$



الشكل (5-8) الجريان عبر أنبوبة تيار

القيمة $\frac{dc}{dt}$ تمثل تسارع الكتلة dM . باعتبار أن مقطع الجريان ثابت $dA_o \approx dA$ ينتج $-dA \frac{\partial p}{\partial x} dx - dR_1 = dM \frac{dc}{dt}$ نقسم طرفي العلاقة على dM باعتبار أن

$$R = dR_1 / dM \quad \text{حيث} \quad -v \frac{\partial p}{\partial x} dx - R = \frac{dc}{dt} \quad \text{نحصل على} \quad dM = \frac{1}{v} dA \cdot dx$$

وتدعى قوة المقاومة منسوبة لواحدة الكتلة.

$$\text{يمكن كتابة المعادلة بالشكل:} \quad -v dp - R dx = \frac{dc}{dt} dx \quad \text{لكن} \quad \frac{dx}{dt} = c \quad \text{ومنه}$$

$$-v dp - R dx = c dc$$

ومستقر. بمكاملة هذه العلاقة بين المقطعين 0-1 نجد

$$\frac{1}{2} (c_1^2 - c_o^2) = \int_1^{p_o} v dp - \int_{x_o}^{x_1} R dx$$

الحد من اليسار يمثل زيادة الطاقة الحركية للتيار، ومن اليمين عمل تمدد الغاز منسوباً لعمل قوة الاحتكاك. وبمعرفة العلاقات $v = f(p)$, $R = f(x)$ يمكن حل الطرف اليميني من العلاقة، لكن للجريان الأديباتي بدون ضياعات يكون $R=0$ وعندها

$$\frac{c_{1s}^2 - c_o^2}{2} = i_o - i_{1s} \quad \text{ومنه} \quad \int (v dp)_s = i_o - i_{1s}$$

ج- معادلة مصونية الطاقة

حسب الشكل (4-8) بين المقطعين 0-1 يعطى تدفق حراري من الخارج Q وفي الوقت نفسه تنتج استطاعة N . الميزان الطاقى بين المقطعين يكون حسب الشكل

$$E_o + Q = E_1 + N \quad (24-8)$$

حيث: E_o, E_1 الجريان الطاقى الكلى في المقطعين

Q التدفق الحراري المعطى للجسم N ، الاستطاعة الناتجة لكن لدينا

$$\frac{E_o}{m} + \frac{Q}{m} = \frac{E_1}{m} - \frac{N}{m} \quad \text{نحصل على} \quad m_o = m_1 = m$$

$$e_o = i_o + \frac{c_o^2}{2}$$

$$e_o + q = e_1 + l \quad \text{الطاقة النوعية}$$

$$e_1 = i_1 + \frac{c_1^2}{2}$$

بفرض الجريان أديباتي بدون تبادل حراري

$$i_o + \frac{c_o^2}{2} = i_1 + \frac{c_1^2}{2} + l \quad (25-8)$$

وفي حالة الريش الموجهة يكون $l = 0$ ومنه $i_o + \frac{c_o^2}{2} = i_1 + \frac{c_1^2}{2}$ أو $\frac{c_1^2 - c_o^2}{2} = i_o - i_1$ وبدون ضياعات

2-3-8 حساب سرعة الجريان في الفوهة

من المعادلة السابقة ينتج:

$$i_1 \langle i_o \rightarrow c_1 \rangle c_o \quad \text{آ- عندما تتناقص الانتالبي الطاقة الحركية تزداد}$$

ب- إذا تمدد الجسم ولم تتغير الانتالبي $i_1 = i_o$ فإن العملية خنق والسرعة لن

$$c_1 = c_o \quad \text{تتغير}$$

ت- في حالة ازدادت الانتالبي $i_1 \langle i_o$ فإن $c_1 \langle c_o$ يدعى الجريان بالنفاث أو جريان مع انضغاط.

المعادلة السابقة تدل على أن كامل الطاقة النوعية عند الجريان الأديباتي الحقيقي في

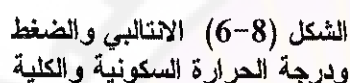
$$i_{oc} = i_o + \frac{c_o^2}{2}$$

الفوهة لن يتغير.

$$i_{1c} = i_1 + \frac{c_1^2}{2}$$

i_o, i_1 الانتالبي السكوني للجسم، i_{oc}, i_{1c} الانتالبي الكلي للجسم وهي توافق

قيم درجات الحرارة والضغط السكونية والكلية $p_o, p_1, p_{oc}, p_{1c}, t_o, t_1, t_{oc}, t_{1c}$ الحالة السكونية والكلية للجسم في أية مقطع يمكن تمثيلها في إحداثيات i-s الشكل (6-8).


$$c_1 = \sqrt{2(i_o - i_1) + c_o^2} = \sqrt{2(i_{oc} - i_1)} \quad (26-8)$$

وفي حالة جريان بدون ضياعات تكون السرعة

$$c_{1s} = \sqrt{2(i_o - i_{1s}) + c_o^2} = \sqrt{2(i_{oc} - i_{1s})}$$

$$c_{1s} = \sqrt{2h_s + c_o^2} = \sqrt{2h_{sc}} \quad (27-8)$$

في حالة وجود ضياعات فإن $\varphi = \frac{c_1}{c_{1s}}, \varphi < 1$

3-3-8 حساب مقطع الخروج

من معادلة الاستمرار ينتج أن في حالة الجريان المثالي بدون ضياعات

$$m_{id} = A_1 \frac{c_{1s}}{v_{1s}} \quad (28-8)$$

ومع ضياعات $m \langle m_{id} \rangle$ ، $m = \mu_1 m_{id}$ حيث μ_1 معامل التدفق للفوهة

وفي حالة الجريان الحقيقي معادلة الاستمرار

$$m = \mu_1 A_1 \frac{c_{1s}}{v_{1s}} \quad (29-8)$$

$$A_1 = \frac{mv_{1s}}{\mu_1 c_{1s}} \quad \text{فيكون مقطع الجريان}$$

4-3-8 معادلة الجريان عبر القرص الدوار

معادلة الجريان لفوهة بدون تغير في القرص الدوار إذا اعتمدنا السرعة النسبية

$$w_2 = \sqrt{2(i_1 - i_2) + w_1^2} \quad (30-8)$$

$$\frac{w_2}{w_{2s}} = \psi, \psi < 1 \quad \text{معامل السرعة النسبية}$$

$$w_2 = \psi w_{2s} = \psi \sqrt{2(i_1 - i_{2s}) + w_1^2}$$

ضباغات الطاقة الحركية في القرص الدوار

$$\Delta h_w = \frac{w_{2s}^2}{2} - \frac{w_2^2}{2} = \frac{w_{2s}^2}{2} [1 - (\frac{w_2}{w_{2s}})^2] = \frac{w_{2s}^2}{2} (1 - \psi^2) \quad (31-8)$$

$$\zeta_w = 1 - \psi^2 \quad \text{ويكون معامل الضياع}$$

$$\Delta h_w = \zeta_w \frac{w_{2s}^2}{2}$$

$$A_2 = \frac{mv_{2s}}{\mu_2 w_{2s}}$$

ومنه المقطع ومعامل التدفق في القرص الدوار

$$\mu_2 = \frac{m}{m_{id}}$$

4-4-8 نظرية المرحلة المحورية

1-4-8 نظرية المرحلة المحورية وحيدة البعد

تعرفنا سابقا على مبدأ عمل مرحلة العنف ذات الجريان المحوري، تأثير القوى على الريش الدوارة وطريقة حساب العمل واستطاعة المرحلة. سندرس الآن الحالة أكثر عمومية، حيث أن ارتفاع الريش ليس كبيرا بالمقارنة مع قطر المرحلة، وفي هذه الحالة لا يظهر فرق كبير في سرعة الجريان حسب ارتفاع الريشة ونكتفي بأخذ القيمة

الوسطية على نصف القطر الوسطي للدوار. يتم تحديد القطر الوسطي بمعرفة القطر الخارجي d_z والقطر الداخلي d_w للمرحلة في سطح التحكم 0-1-2.

$$d_{sr} \equiv d = \frac{1}{2}(d_w + d_z) \quad (32-8)$$

$$r_{sr} \equiv r = \frac{1}{2}(r_w + r_z) \quad \text{أو بدلالة نصف القطر}$$

الشعاع الوسطي يحدد كشعاع المساحة $\Omega = \pi(r_z^2 - r_w^2)$

$$r = \sqrt{\frac{r_w^2 + r_z^2}{2}} \quad \text{ومنه}$$

في العنقات المحورية القيمة المهمة هي طول الريشة l ، الذي يميز كقيمة لا بعدية

$$\frac{l}{d} \quad \text{أو} \quad \lambda = \frac{d}{l} \quad \text{أو كنسبة الأقطار} \quad Y = \frac{d_z}{d_w} \quad \text{من هاتين العلاقتين نجد:}$$

$$\frac{l}{d} = \frac{\frac{1}{2}(d_z - d_w)}{\frac{1}{2}(d_z + d_w)} = \frac{d_w(Y-1)}{d_w(Y+1)} \quad (33-8)$$

$$Y = \frac{\lambda+1}{\lambda-1}, \lambda = \frac{d}{l} = \frac{Y+1}{Y-1}, \frac{l}{d} = \frac{Y-1}{Y+1} \quad (34-8)$$

يؤخذ بالاعتبار الانحراف الوسطي لخط التيار بالنسبة لمحور العنفة في سطح التحكم

0-1-2 وفق القيم الوسطية $\varepsilon_0, \varepsilon_1, \varepsilon_2$ عند أنصاف الأقطار r_0, r_1, r_2 . وفي هذه الحالة

أشعة السرعات c, w لها ثلاث مركبات محيطية ومحورية ومماسية

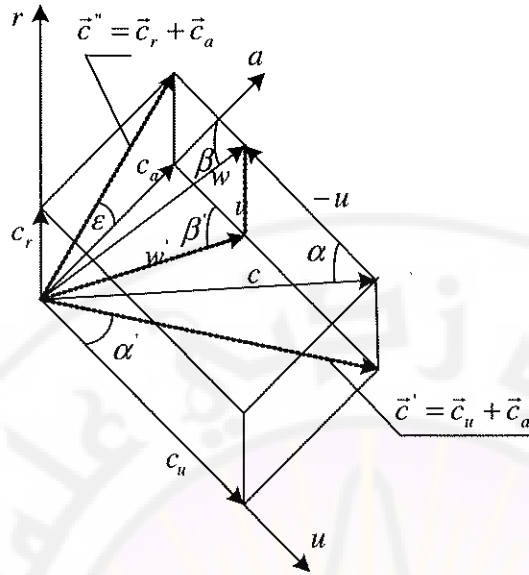
$$c^2 = c_u^2 + c_a^2 + c_r^2 \quad (35-8)$$

$$w^2 = w_u^2 + w_a^2 + w_r^2$$

يبين الشكل (7-8) العلاقة بين المركبات والزوايا بالنسبة للمحاور وانحرافاتهما. واضح

على الشكل الانحراف ε ومسقط c في المستوي (u, a) هو c' وفي المستوي

(r, a) هو c'' . وبشكل مشابه بالنسبة لمسقطي w هما $w' = c'', w'' = c''$.



الشكل (7-8) أشعة السرعة ومركباتها
في جملة الاحداثيات الثلاثية

الزاوية α بين الشعاع c والاتجاه u ، والزاوية α' مسقطها في المستوي (u, a) وبشكل مشابه بالنسبة للزاوية β في المستوي (w, u) التي مسقطها β' في المستوي (w', u) . من الشكل نجد:

$$c = \frac{c''}{\sin \alpha} = c_a \frac{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \epsilon}}{\sin \alpha}, \quad c_r = c_a \operatorname{tg} \epsilon,$$

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{c_a}{c_u}, \quad c_u = c_a \operatorname{ctg} \alpha',$$

$$c'' = \sqrt{c_r^2 + c_a^2} = c_a \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \epsilon},$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{c''}{c_u} = \frac{c_a}{c_u} \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \epsilon},$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \alpha' \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \epsilon}$$

الفرق بين α و α' يتعلق بدرجة انحراف خط التيار ε . يمكن إهمالها عندما $\varepsilon < 10^\circ$ من معادلة مصونية الطاقة لجزء القيادة $i_o + \frac{c_o^2}{2} = i_1 + \frac{c_1^2}{2}$ فيكون هبوط الانتالبي السكوني $i_o - i_1 = h_k$ ومنه $\frac{c_1^2}{2} = h_k + \frac{c_o^2}{2}$ هذه العلاقة مهمة للجريان الحقيقي مع احتكاك، وللجريان المثالي بدون ضياعات حيث h_{ks} هبوط الانتالبي بدون ضياعات وتكون c_1, c_{1s} سرعة الجريان المثالي $\frac{c_{1s}^2}{2} = h_{ks} + \frac{c_o^2}{2}$ وباستخدام درجة رد الفعل $\rho = \frac{h_{ws}}{h_s}$ هبوط الأديباتي في الجزء القائد والدوار يكون $h_{ks} = (1 - \rho)h_s, h_{ws} = \rho h_s$ الحركة في الحالة المثالية والحقيقية:

$$\Delta h_k = \frac{c_{1s}^2}{2} - \frac{c_1^2}{2} = \frac{c_{1s}^2}{2} \left[1 - \left(\frac{c_1}{c_{1s}} \right)^2 \right] = \frac{c_{1s}^2}{2} (1 - \varphi^2), \quad (36-8)$$

$$\Delta h_k = (1 - \varphi^2) \left[(1 - \rho)h_s + \frac{c_o^2}{2} \right]$$

$$u_1 = r_1 \cdot w, \quad (37-8)$$

$$\vec{w}_1 = \vec{c}_1 - \vec{u}_1$$

$$u_1 = r_1 \cdot w, \quad (38-8)$$

$$\vec{w}_1 = \vec{c}_1 - \vec{u}_1$$

وبشكل منطقي فإن معادلة الطاقة للدوار تكون:

$$i_2 + \frac{w_2^2}{2} = i_1 + \frac{w_1^2}{2} + l_c,$$

$$l_c = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2}$$

حيث l_c العمل الناتج عن قوى الطرد المركزي في النظام وباعتبار أن تكون الطاقة الحركية النسبية عند مخرج الدوار هي:

$$\frac{w_2^2}{2} = h_w + \frac{w_1^2 + u_2^2 - u_1^2}{2}$$

$$\frac{w_{2s}^2}{2} = h_{ws} + \frac{w_1^2 + u_2^2 - u_1^2}{2}$$

وللجريان المثالي

الضباغات في الدوار

$$\Delta h_w = \frac{w_{2s}^2}{2} - \frac{w_2^2}{2} \quad (39-8)$$

بمعرفة الحالة النهائية بعد الجزء القائد نحدد النقطة 1 التي تحدد الهبوط الأديباتي $h'_{ws} = h_{ws}$ والحالة النهائية المثالية بعد الدوار 2_s وبإضافة Δh_w نحدد الحالة النهائية 2. وبمعرفة الزاوية β_2 وشعاع السرعة النسبية w_2 نحدد السرعة المطلقة c_2 عند المخرج.

$$\vec{c}_2 = \vec{w}_2 + \vec{u}_2,$$

$$u_2 = r_2 \cdot \omega$$

وبهذه الطريقة نحدد مثلث السرعات للمرحلة الشكل (8-8).

العمل الناتج عن التمدد في المرحلة يكون:

$$l_u = \frac{1}{2} (c_1^2 - c_2^2 + w_2^2 - w_1^2 + u_1^2 - u_2^2) \quad (40-8)$$

وتدعى المعادلة الرئيسية للعنفة.

عمليا تستخدم بشكل لحساب w_1, w_2 من مثلث السرعات

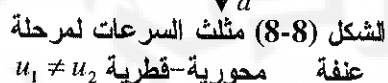
$$w_1^2 = c_1^2 + u_1^2 - 2.u.c_1 \cos \alpha_1,$$

$$w_2^2 = c_2^2 + u_2^2 - 2.u.c_2 \cos \alpha_2$$

$$l_u = u_1.c_1 \cos \alpha_1 - u_2.c_2 \cos \alpha_2 \quad \text{ومنه}$$

$$c_{1u} = c_1 \cdot \cos \alpha_1,$$

$$c_{2u} = c_2 \cdot \cos \alpha_2 \quad \text{لكن}$$


$$l_u = u_1 \cdot c_{1u} - u_2 \cdot c_{2u},$$
$$l_u = u \cdot \Delta c_u$$
$$h_{sc} = h_s + \frac{c_o^2}{2} \quad \text{حيث أن} \quad l_u = i_{oc} - i_{2c} = (h_s + \frac{c_o^2}{2}) - \Delta h_u = h_{sc} - \Delta h_u$$
$$\Delta h_u = \Delta h_k + \Delta h_w + \Delta h_{wyf} \quad (42-8)$$

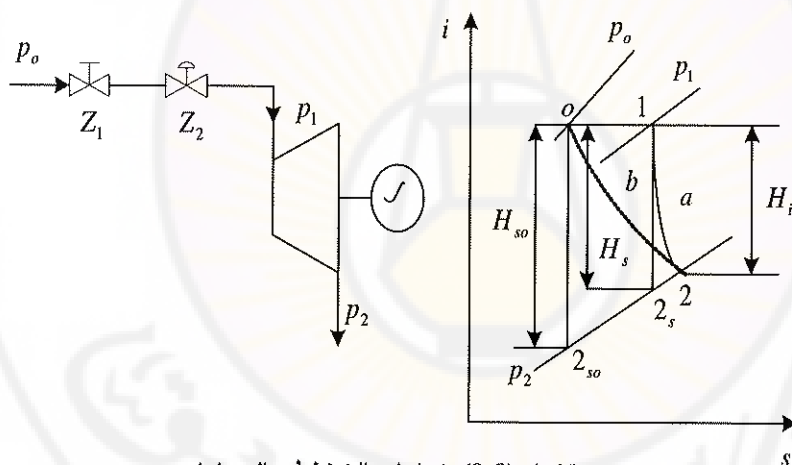
الضياعات عند مخرج المرحلة هي $\Delta h_{wyl} = \frac{c_2^2}{2}$

تم تحديد المردود الداخلي للعنفة كنسبة الاستطاعة الداخلية، (أي الاستطاعة المقدمة للدوار من جسم التشغيل)، إلى الاستطاعة المثالية بدون ضياعات. وهي الاستطاعة الكلية، التي هي مجموع الاستطاعة المقاسة على محور العنفة N_e (ضياعات التسرب)، والاستطاعة الميكانيكية N_m (الضياعات الميكانيكية)

$$N_i = N_e + N_m \quad (43-8)$$

تحديد الاستطاعة المثالية للعنفة بدون ضياعات يتعلق بالمسألة المحددة. المشكلة الأولى هي التساؤل التالي: هل يجب أخذ ضياعات التسرب الخارجية في العنفة المثالية عند تحديد تدفق جسم التشغيل في الآلة المدروسة؟ يمكن اعتبار استطاعة الآلات المثالية منسوبا إلى التدفق الأعظمي الذي يمر عبر الآلة الحقيقية. رغم أن هناك جزءاً منه يتسرب إلى الخارج من خلال الوصلات والصمامات ... حقيقة التدفق الفعلي في نظام الريش يكون أقل. بهدف تجنب ذلك يجب من البداية تحديد كيفية حساب مردود العنفة. وهذا مهم في حالة العنفة مع فتحات استنزاف استرجاعية. المشكلة الأخرى هي تحديد الحالة الابتدائية والنهائية للعنفة المثالية. الذي يعتمد في العنفات البخارية. يتدفق البخار إلى العنفة عبر صمامين على التسلسل: صمام تدفق 1 وصمام تنظيم 2 الشكل (9-8). في هذه الصمامات تظهر ضياعات الضغط

$$\Delta p_z = p_o - p_1 \quad (44-8)$$



الشكل (9-8) ضياعات الضغط في الصمامات وتأثيرها على تحديد مردود العنفة

تكون حالة جسم التشغيل بعد الصمامات وقبل العنفة وفق التمدد $0 \rightarrow 1$ الايزوانتالبي (خنق البخار).

هبوط الانتالبي الأديباتي H_{so} في العنفة يحصل وفق التمدد $2_{so} \rightarrow 0$, أي منسوباً إلى حالة البخار قبل الصمامات, بينما هبوط الانتالبي الأديباتي H_s منسوباً وفق التمدد $2_s \rightarrow 1$ ومنه ينتج أن $H_s < H_{so}$ بحيث نستطيع أن نكتب ما يلي:

$$H_s = \frac{H_s}{H_{so}} H_{so} = \eta_{dl} H_{so}, \quad (45-8)$$

$$\eta_{dl} = (1 - \zeta_{dl}) = \frac{H_s}{H_{so}}$$

حيث: η_{dl}, ζ_{dl} الضياعات في الصمامات, مردود الخنق في الصمامات. وبمعرفة هبوط الانتالبي في العنفة H_i نستطيع تحديد مردودها الداخلي بطريقتين:

$$\eta_{io} = \frac{H_i}{H_{so}}, \quad (46-8)$$

$$\eta_i = \frac{H_i}{H_s}$$

من العلاقتين نجد أن $\eta_{io} < \eta_i$, لأن $H_s < H_{so}$. تقييم نوعية الآلة يتم من هذه الزاوية, كتحديد الهبوط الأديباتي للآلة المثالية. مردود العنفة الإجمالي يبين, أن المشكلة نفسها عند تحديد مردود المرحلة η_u , التي تعرف بمردود الريشة. وهي تأخذ بالاعتبار الضياعات في نظام الريش, مع إهمال الضياعات خارج الريش. بشكل عام يحسب

$$\eta_u = \frac{l_u}{l_s} \quad \text{المردود الكلي من العلاقة كما لاحظنا سابقاً}$$





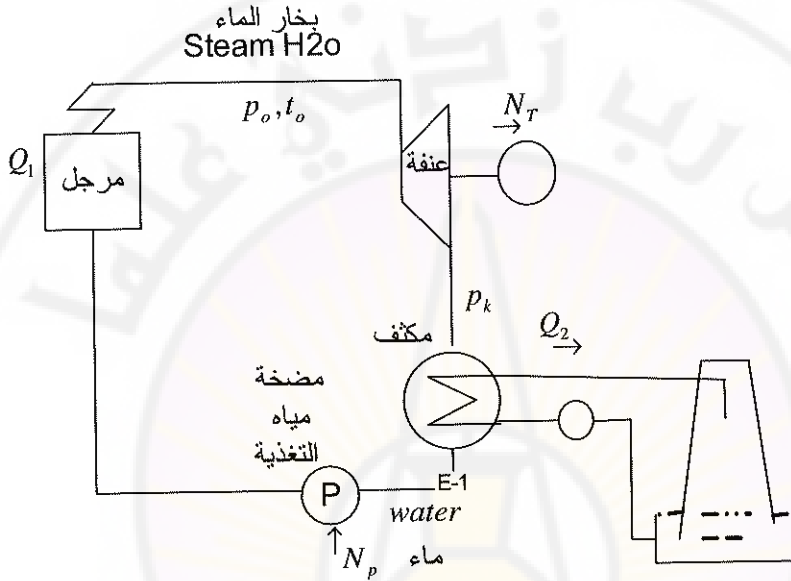
الفصل التاسع
تطبيقات الآلات الحرارية العنفية



تطبيقات الآلات الحرارية العنقية

1-9 محطات توليد الطاقة ذات العنقات البخارية

الدورة المثالية الأساسية لمحطة بخارية هي دورة كلاوزيوس - رانكين. يبين الشكل (1-9) المخطط المبسط لوحدة توليد الطاقة البخارية،



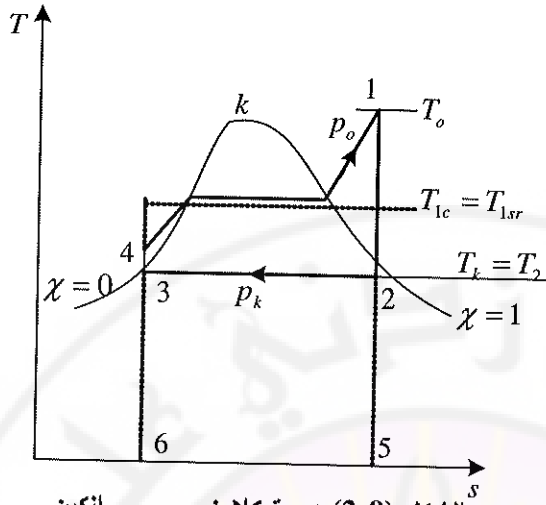
الشكل (1-9) المخطط الحراري لمحطة طاقة بخارية

و يبين الشكل (2-9) تمثيل الدورة على مخطط T-s. العناصر الرئيسية للوحدة هي: المرجل، العنفة، المكثف ومضخة مياه التغذية. في المرجل تحصل عملية تسخين مياه التغذية، وتبخيرها ثم تحميص البخار حسب التحول 4-1، عند قيمة ثابتة للضغط p_o . كمية الحرارة المعطاة في المرجل لإنتاج 1kg بخار عند ضغط p_o ودرجة حرارة T_o تكافئ المساحة المحددة على المخطط (6-4-1-5-6) وتساوي:

$$(i_o \equiv i_1, i_{wz} \equiv i_4) \quad q_i = i_o - i_{wz} \quad (1-9)$$

حيث: i_o انتالبي البخار بعد المحمص

$i_{wz} = i_4$ انتالبي مياه تغذية المرجل



الشكل (2-9) دورة كلاوزيوس - رانكين
النظرية على احداثيات (T-s)

يتمدد البخار في العنفة أديباتيا من الحالة $1(p_o, T_o)$ إلى الحالة $2(p_k, T_k)$ مقدما للوسط الخارجي عملا نوعيا (استطاعة نوعية).

$$(i_k \equiv i_2) \quad l_T = i_o - i_k \quad (2-9)$$

في المكثف تحصل عملية التكاثف عند ضغط ثابت وتعطى كمية حرارة إلى الوسط الخارجي تساوي:

$$(i'_k \equiv i_3) \quad q_2 = i_k - i'_k \quad (3-9)$$

المياه المتكاثفة ذات الضغط p_k تذهب إلى المرجل عن طريق مضخة مياه التغذية. ضاغطة المياه إلى قيمة الضغط في المرجل p_o . العمل النوعي اللازم للمضخة يساوي:

$$l_p = i_{wz} - i'_k = i_4 - i_3$$

عمل دورة كلاوزيوس - رانكين يساوي الفرق بين عمل العنفة وعمل المضخة

$$l = l_T - l_p = (i_o - i_k) - (i_{wz} - i'_k) \quad (4-9)$$

هذه القيمة تكافئ المساحة المحددة 3-4-1-2-3 على المخطط.

المؤشر الطاقى المهم هو مردود الدورة النظري الذي يحدد بنسبة العمل الناتج عن الدورة إلى كمية الحرارة المقدمة حسب العلاقة:

$$\eta_{cr} = \frac{l}{q_1} = \frac{(i_o - i_k) - (i_{wz} - i_k)}{i_o - i_{wz}} \quad (5-9)$$

بإهمال عمل المضخة نحصل على العلاقة التقريبية التالية:

$$\eta_{cr} \approx \eta'_{cr} = \frac{l_r}{q_{1o}} = \frac{(i_o - i_k)}{i_o - i_k}$$

حيث أن النسبة $\frac{l_p}{l_r} \approx (1-2)\%$ التي تؤدي إلى فرق صغير بين قيمتي المردود.

انتالبي بخار الماء لا يمكن حسابه بسهولة، ولكن يمكن قراءته من جداول البخار أو مخطط الانتروبي كتابع للضغط ودرجة الحرارة أو الضغط وكسر الجفاف χ .

$$i = i(p, \chi) \quad \text{أو} \quad i = i(p, t) \quad (6-9)$$

أو حسابه باستخدام البرامج الحاسوبية.

انتالبي المياه المتكاثفة يمكن حسابها من العلاقة:

$$i'_k = c_w \cdot t_k$$

حيث: t_k درجة حرارة المياه المتكاثفة بدرجة سيلزيوس وكمية الحرارة النوعية

$$\cdot c_w = 4.18 \text{ kJ / kg } \cdot ^\circ \text{C}$$

العمل اللازم لمضخة مياه التغذية يحسب من العلاقة:

$$l_p = i_{wz} - i'_k = \int_3^4 v \cdot dp \approx v'_k (p_o - p_k) \quad (7-9)$$

حيث: $v'_k = 0.001 \text{ [m}^3 / \text{kg]}$ وفي حالة العنفات التكثيفية $p_k \ll p_o$ و

$$l_p \approx v'_k \cdot p_o \quad \text{تحدد قيمة } p_o [\text{MPa}] \text{ فيكون عمل المضخة في } [\text{kJ / kg}]$$

مثلاً: عندما $p_o = 100 [\text{bar}] = 10 [\text{MPa}]$ يكون عمل المضخة مساوياً

$$\cdot l_p \approx 10 [\text{kJ / kg}]$$

من علاقة المردود بنتج، أن مردود دورة كارنو يكون تابعا للانتالبي i_o, i_k, i'_k حيث:

$$i'_k = i'_k(p_k), \quad i_k = i_k(p_k, p_o, t_o), \quad i_o = i_o(p_o, t_o) \quad (8-9)$$

$$\eta_{cr} \approx \eta'_{cr} = f(p_o, t_o, p_k) \quad \text{ومنه}$$

أي يتعلق بالبارامترات الأولية المقاسة p_o, t_o وقيمة الضغط النهائي p_k .
 بتحليل تأثير هذه البارامترات على المردود النظري للدورة، بهدف الحصول على
 دورة رانكين المكافئة من حيث المردود لدورة كارنو. وفي حالة المحطات البخارية
 التكميلية فإن طرح الحرارة من المكثف يتم عند درجة حرارة ثابتة، تساوي درجة
 حرارة الإشباع عند الضغط p_k ، $t_k = t_n(p_k)$ ، وهذا ما يتناسب مع شروط دورة
 كارنو. إعطاء الحرارة في المرجل يتم ايزو باريا مع تغير درجة الحرارة من t_{wz} إلى
 t_o وفق الخط 1-4 على الشكل II2. درجة الحرارة العليا المكافئة لدورة كارنو (التي
 تدعى درجة الحرارة الوسطية في دورة كلاوزيوس رانكين) تحسب من العلاقة:

$$q_1 = i_o - i_{wz} = T_{1c}(s_5 - s_6) \quad (9-9)$$

$$T_{1c} = T_{sr} \quad , \quad T_{1c} = \frac{i_o - i_{wz}}{s_5 - s_6}$$

T_{1c} تكافئ ارتفاع المستطيل ذي المساحة المساوية للحقل المحدد بالايزوبار p_o .
 فيكون مردود دورة كارنو

$$\eta_c = 1 - \frac{T_k}{T_{1c}} = 1 - \frac{T_k}{T_{1sr}} \quad (10-9)$$

ومنه ينتج أنه عند درجة حرارة معينة T_k يكون المردود أكبر كلما كانت درجة
 الحرارة الوسطية العليا للدورة T_{1c} أكبر.

يمكن تحسين مردود دورة كلاوزيوس- رانكين كما يلي:

أ- تخفيض ضغط التكاثف

ب- زيادة درجة حرارة البخار عند مدخل العنفة

ت- استخدام المسخنات الاسترجاعية

إن تأثير التسخين الاسترجاعي على تصميم المحطة وعناصرها الرئيسية: المرجل،
 العنفة، المكثف، مضخة التغذية. نبين أدناه الصفات المميزة للمسخن الاسترجاعي.

1- زيادة مردود الدورة من خلال زيادة درجة الحرارة العليا الوسطية التي يتم عندها
 إعطاء الحرارة في المرجل.

2- يؤدي الاسترجاع إلى زيادة تدفق البخار المنتج في المرجل وازدياد استطاعة مضخة مياه التغذية. وفي الوقت نفسه ترتفع درجة حرارة مياه التغذية ما يؤدي إلى الحصول على درجة حرارة منخفضة لغازات الاحتراق، التي لها تأثير كبير على مردود المرجل. كلا الحالتين تخفضان الربح الناتج في المردود من الاسترجاع ويخفض عدد مراحل التسخين المثالية.

3- مع ازدياد عدد المبادلات ترتفع كلفة المحطة وتزداد التعقيدات في التجهيزات. لذلك في المحطات صغيرة الاستطاعة من 10-20 MW تستعمل بشكل عام من 2-4 مرحلة تسخين، بينما في المحطات كبيرة الاستطاعة حتى 100 MW يكون $z=6-9$ مراحل.

4- تأثير الاسترجاع مفيد للمردود الداخلي للعنفة، لأن في جزء العنفة عالية الضغط WP يزداد تدفق البخار، بينما في الجزء منخفض الضغط NP التدفق ينقص مقارنة مع النظام بدون استرجاع. هذا يسهل من تصميم نظام الريش ويؤدي لزيادة مردود المرحلة. ومن جهة ثانية استنزاف البخار من بين مراحل العنفة يعقد التصميم وله عدة تأثيرات سلبية، حيث تؤدي إلى ضياعات في الجريان عبر العنفة.

5- يتدفق إلى المكثف جريان بخار أقل من النظام بدون استرجاع، وفي النتيجة التدفق الحراري المعطى لمياه التبريد ينخفض. وتنقص مساحة المكثف، وتكون تجهيزات مياه التبريد أقل وأرخص .

في المحطات ذات التسخين بين المراحل غالباً تستعمل مسخنات لتسخين مياه التغذية حتى الدرجة المناسبة لدرجة حرارة الإشباع للبخار، عند الضغط المسيطر قبل المسخن بين المراحل $t_n(p_{po})$.

2-9 محطات توليد الطاقة المستخدمة في السفن

الوحدات البخارية لتوليد الطاقة الكهربائية في السفن هي بشكل عام وحدات ذات استطاعات عالية. حوالي 300MW وأكبر، مصممة عند بارامترات للبخار النقي عالية. المردود الحراري بشكل عام يتجاوز 40%، يستخدم وقود ذو قيمة حرارية

$w_d=41900[\text{kJ/kg}]$ (وقود سائل) $q_p < 215 [\text{g / kW .h}]$ الوحدة البخارية تستعمل

في تشغيل تجهيزات السفينة ذات الاستطاعات التي لا تتجاوز: $N_e=10000-50000$ [kW] ويرتبط ذلك بقيمة ضغط البخار النقي، الذي يحدد حسب الشروط الاقتصادية، بحيث تكون أقل ما يمكن. عملياً تستعمل البارامترات التالية:

1- $p_1=60-64$ [bar] , $t_1=500-510$ [c] بدون محمص ثانوي وحدة

استهلاك الوقود لهذه المحطة تبلغ:

$$q_p = (265 - 280) [\text{g / kW .h}]$$

2- $p_1=100$ [bar] , $t_1=510$ [c] مع محمص ثانوي مع خمس مسخنات

استرجاعية. في مجال استطاعة $N_e=20000$ [kW] استهلاك الوقود يكون

$$q_p = (238 - 245) [\text{g / kW .h}]$$

3- استثنائياً نجد $p_1=(80-90)$ [bar], $t_1=510$ [c] بدون تحميص بين

المراحل أو تحميص إلى $t_p=t_1$.

4- العنفات المقترحة الجديدة وبشكل رئيسي لعنفات السفن هي عنفات Stal-

Laval السويدية و General Electric (USA) التي تؤدي لارتفاع بارامترات

البخار وهي أكثر إمكانية لاستخدام النظام الاسترجاعي:

استعملت العنفات البخارية في تشغيل السفن التجارية الصغيرة في الثمانينات على رغم

ارتفاع سعر الوقود السائل وارتفاعها مقارنة مع محركات الديزل. حالياً يتم البحث عن

وقود بديل مع انخفاض الوقود النفطي في العالم.

9-3 المحطات النووية لتوليد الطاقة

المخطط الحراري المبسط لمحطة نووية يتعلق بشكل رئيسي بنوع المفاعل. هذا

المخطط يؤدي دوراً رئيسياً في تصميم العنفة وتجهيزاتها. أكثر المفاعلات انتشاراً في

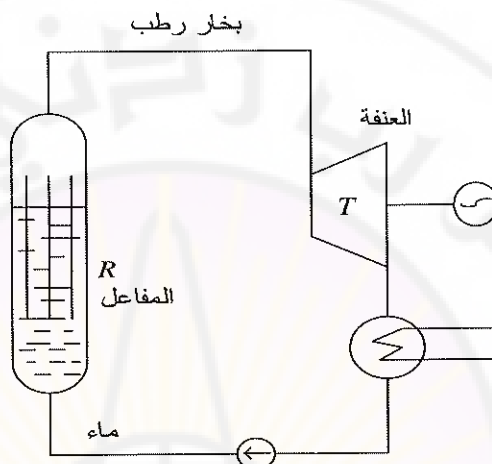
الوقت الحاضر هي المفاعلات التي تعمل على النيوترونات الحرارية، التي تشكل

حوالي 99% من مجموع المفاعلات. منها 80% مفاعلات ذات تبريد ماء خفيف.

التي تعمل وفق نظامين:

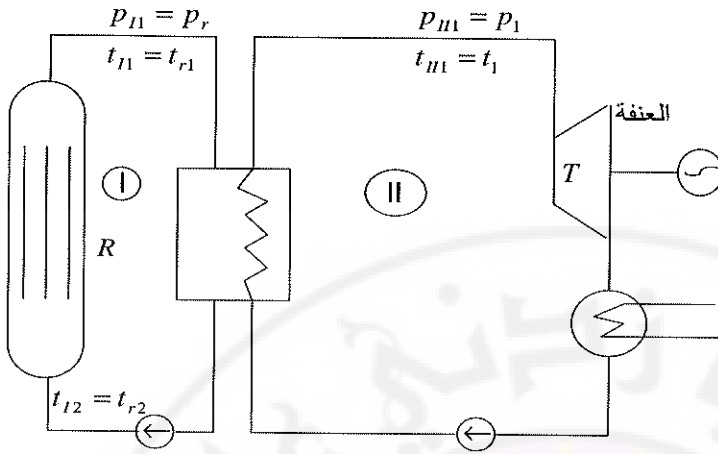
1- نظام وحيد الدورة الشكل (3-9) وفيه مياه تبريد المفاعل تتحول إلى حالة الغليان داخل المفاعل. البخار الرطب المنتج في المفاعل يحمل الإشعاع الذي يذهب مباشرة إلى العنفة.

2- نظام ثنائي الدورة وهو الأكثر استخداما. الدورة الأولى I لتبريد المفاعل وهي دورة الماء. يسخن الماء في المفاعل إلى درجة حرارة أقل من حالة الغليان ليذهب إلى



الشكل (3-9) المخطط الحراري لمحطة نووية ذات مفاعل ماء غالي

مولدة البخار، حيث ينتج بخار خالي من الإشعاع يدور في الدورة الثانوية II. الشكل (4-9).



الشكل (4-9) المخطط الحراري لمحطة نووية
ثنائية الدورة (دورة تبريد المفاعل ودورة ثانوية)

بدء تطور المفاعلات ذات التبريد بالماء الخفيف في الولايات المتحدة الأمريكية. في العام 1957 بني أول مفاعل ضغط مبرد بالماء.

أُقيمت أول محطة وحيدة الدورة ذات مفاعل (BWR boiling water reactor) في العام 1960 في Shippnigport. في العام 1960 أُلغيت أول محطة وحيدة الدورة ذات مفاعل (BWR boiling water reactor) في درسدن.

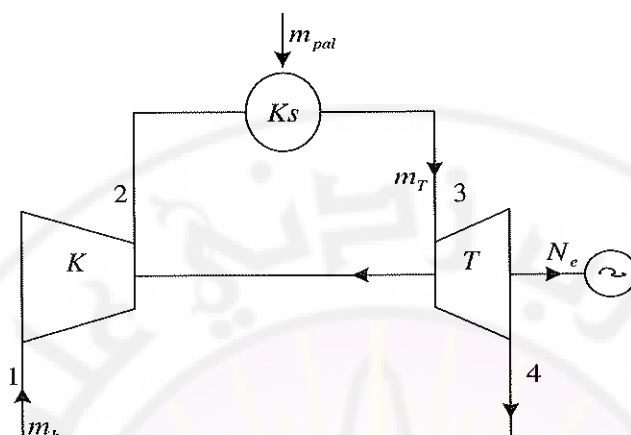
استخدام المفاعل BWR أقل تكلفة حيث أن كلفته حوالي 40% مقارنة مع استخدام المفاعل PWR لاستطاعة المنوبة نفسها.

4-9 المحطات الغازية لتوليد الطاقة

1- الدورات المفتوحة البسيطة

المحرك العنفي الغازي في أبسط تصميم يتألف من: ضاغط هواء، حجرة احتراق وعنفة الشكل (5-9). يسحب الضاغط الهواء ذا البارامترات p_1, t_1 مباشرة من الوسط المحيط ويضغطه حتى الضغط p_2 . يجري الهواء المضغوط إلى حجرة

الاحتراق، حيث يسخن إلى درجة حرارة عالية t_3 . يتمدد الغاز الساخن المضغوط في العنفة حتى الضغط الجوي ويخرج إلى الوسط المحيط.



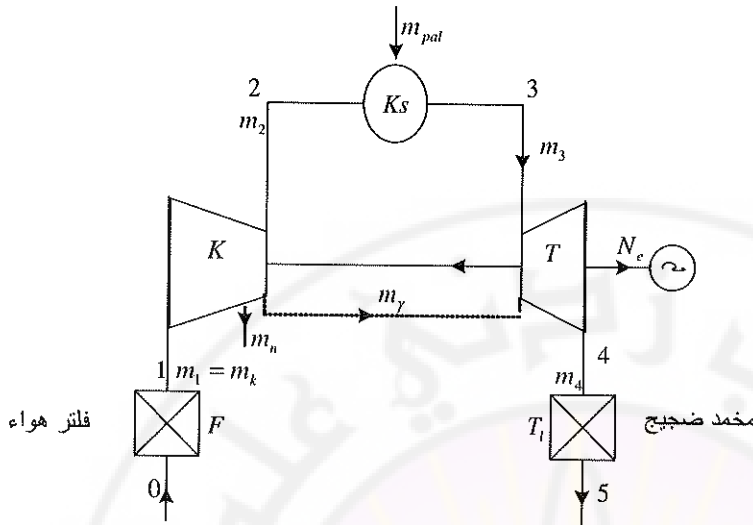
الشكل (5-9) المخطط الحراري لمحطة
عنفة غازية ذات دورة مفتوحة

الاستطاعة الناتجة من العنفة جزء منها يدير الضاغط، والجزء المتبقي يمثل الاستطاعة المفيدة المستهلكة لتوليد الطاقة الكهربائية، أو لتدوير تجهيزات في السفينة لأن الهواء المسحوب من الوسط المحيط هو جسم التشغيل وبنفس الوقت يعود للوسط المحيط على شكل غازات تدعى بالدورة المفتوحة.

مقارنة مع دورة بخار الماء، لدينا هنا تغير في المركبات الكيميائية للجسم العامل: في الضاغط هواء، وفي العنفة تتمدد نواتج الاحتراق. لذلك هناك صعوبة في تمثيل الدورة المفتوحة على مخطط الانتروبي.

2- الدورة المفتوحة الحقيقية

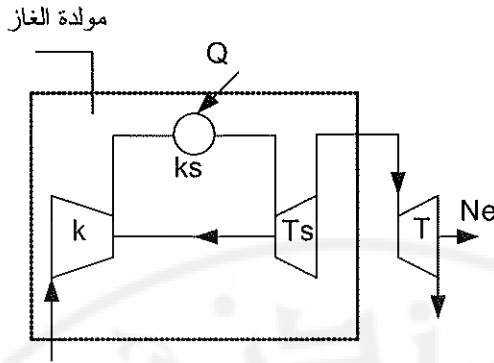
يبين الشكل (6-9) الدورة الحقيقية المفتوحة. يسحب الهواء إلى الضاغط عبر مصفاة معقدة مع مخدم ضجيج، مما يؤدي لضياعات ضغط عند مدخل حجرة الاحتراق. حيث يكون الضغط قبل الضاغط أقل من الضغط الجوي، بالإضافة لضياعات بين مخرج الضاغط ومدخل العنفة وبين مدخل الضاغط ومخرج العنفة.



الشكل (6-9) المخطط الحراري لمحطة عنفة غازية ذات دورة مفتوحة حقيقية

أ- النظام ثنائي المحور الشكل (7-9) عنفة غازية ثنائية المحور. العنفة الأولى تدير الضاغط نتيجة تمدد نواتج الاحتراق وتدعى عنفة الضاغط TS. العنفة الثانية تحول الجزء المتبقي من الطاقة الحرارية إلى عمل لتدوير المنوبة وتدعى عنفة القيادة TN. عملياً نادراً ما يستعمل نظام ثنائي المحور كما هي الحال في الطائرات والسفن والسيارات. العنفات ثنائية المحور سهلة التصميم. حيث تسمح باختيار سرعة الدوران في جزء الضاغط لا تتعلق بسرعة دوران عنفة القيادة، بالإضافة لظروف عمل أفضل عند تغير سرعة دوران مأخذ الاستطاعة.

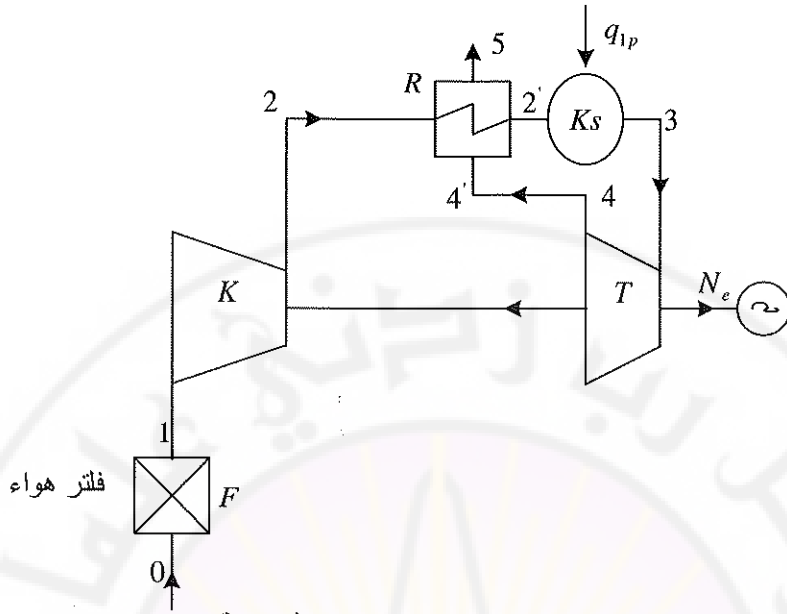
تجهيزات النظام ثنائي المحور أكبر وأكثر تعقيداً منها في الأحادي. في النظام الثنائي مجموعة الضاغط وحجرة الاحتراق وعنفة الضاغط تؤدي دور إنتاج الغاز. التي تتمدد في عنفة القيادة وتتحول طاقتها الحرارية إلى عمل مفيد.



الشكل (7-9) المخطط الحراري لمحطة غفلة
غازية ثنائية المحور

ب- الدورة المفتوحة المعقدة - دورة مع استرجاع

في بداية تطور العنفات الغازية ظهرت صعوبات رفع مردود الدورة من خلال زيادة درجة حرارة نواتج الاحتراق t_3 . نتيجة ذلك استخدمت الدورة المعقدة، هذه الطرق تعتمد على رفع درجة الحرارة الوسطية للدورة T_{1sr} عند درجة الحرارة العظمى t_3 وتخفيض درجة الحرارة الوسطية الدنيا T_{2sr} عند درجة حرارة الوسط المحيط t_0 . الدورة المثالية المناسبة لهذه الشروط دورة اريكسون مع إعطاء وفقد حرارة عند درجة حرارة ثابتة. حالياً تعمل العنفات وفق دورة مفتوحة أسهل الشكل (8-9) يبين المخطط الحرارية لدورة مفتوحة مع استرجاع حراري.

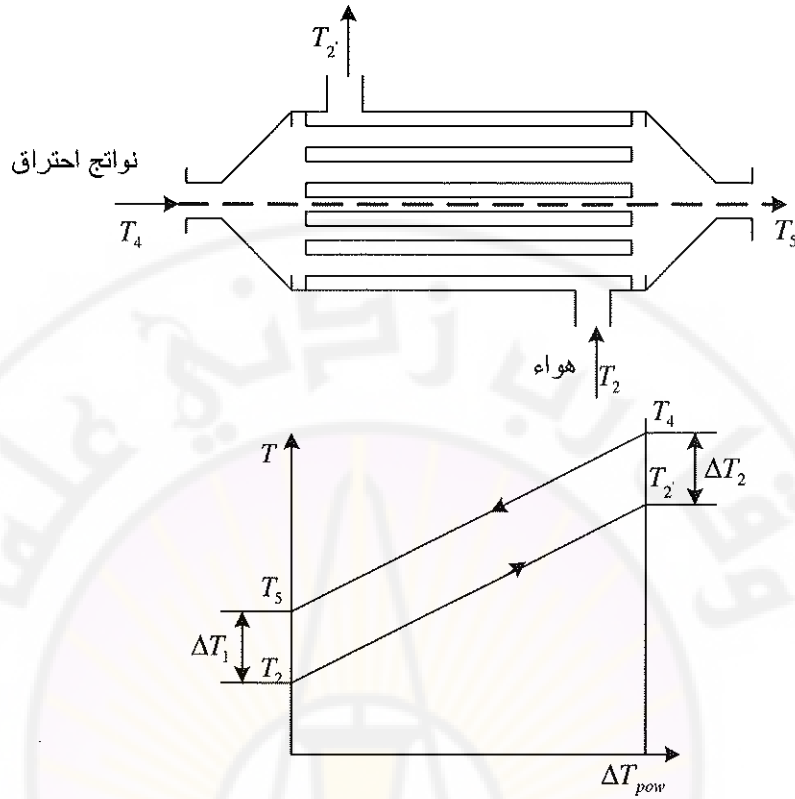


الشكل (8-9) المخطط الحراري لمحطة غازية
مع تسخين استرجاعي

والشكل (9-9) يبين مخطط المبادل الحراري المستخدم في عملية الاسترجاع الحراري الذي يؤدي لتخفيض التدفق الحراري q_1 الناتج في حجرة الاحتراق بمقدار تسخين الهواء المضغوط من خلال نواتج الاحتراق.

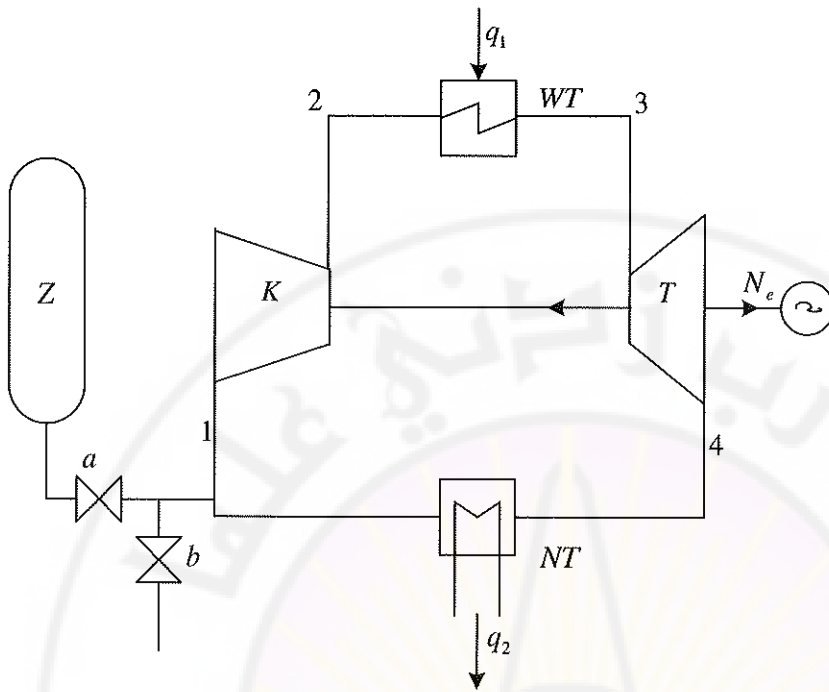
3- الدورات المغلقة

في العام 1939 شركة Escher-Wyss السويسرية وضعت أول عنفة غازية حسب تصميم Ackereta and Keller في نظام مغلق. المخطط المبسط للدورة المغلقة مبين على الشكل (9-10). يتألف النظام من ضاغط K وعنفة T ومبادلين حراريين مسخن ذو درجة حرارة عالية WT ومبردة ذات درجة حرارة منخفضة NT. العمليات الترموديناميكية في هذا النظام هي نفسها في النظام المفتوح. الاختلاف يكمن في أن الغاز لا يغير تركيبه الكيميائي.



الشكل (9-9) مخطط المسخن الاسترجاعي

النظام المغلق يكون فيه الحجم كاملاً، حيث توجد كتلة الغاز. مع الانتباه إلى إهمال ضياعات تسرب الكتلة. لهذا الهدف يجب استعمال تجهيزات خاصة بإضافة خزان ضغط مملوء بالهواء المضغوط من الضاغط كما في الشكل. يستعمل لشحن النظام الصمام a وللتفريغ الصمام b فتتغير كتلة جسم التشغيل في الدورة، ونسبة الانضغاط $\pi = \frac{p_2}{p_1}$. تنظيم عملية تسخين الغاز في المسخن WT مشابهة للمرجل في محطة الطاقة البخارية. نحصل على درجة حرارة ثابتة t_3 من خلال تدفق مناسب للوقود. ودرجة الحرارة الدنيا تتجاوز درجة حرارة مياه التبريد قليلاً، وهي ثابتة. من خلال تنظيم الضغط p_2 نحصل على قيمة ثابتة لمردود العملية الذي لا يتعلق بحمولة الآلة. الصفات الرئيسية التي تميز النظام المغلق عن المفتوح هي:

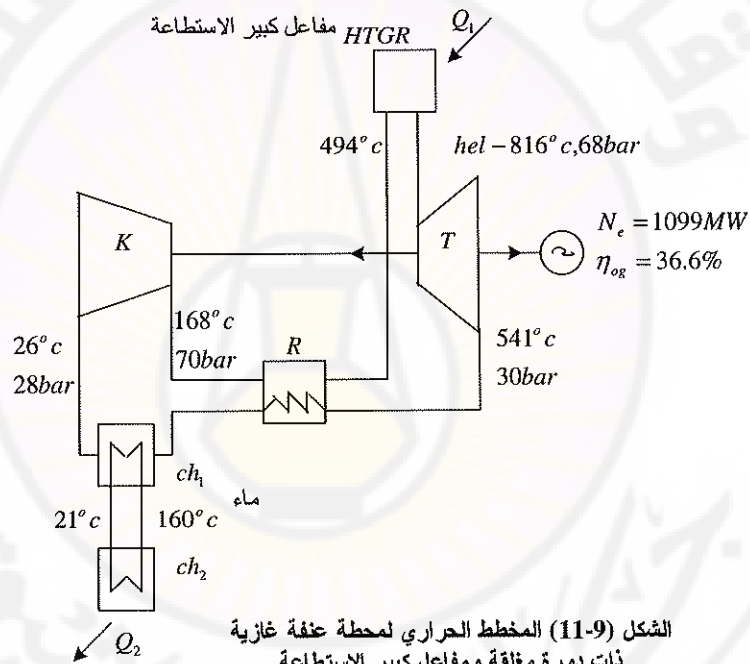


الشكل (10-9) المخطط الحراري لمحطة عنفة غازية ذات دورة مغلقة

- 1- إمكانية احتراق أي نوع من الوقود
- 2- إمكانية استعمال ضغط عالي عند مدخل الضاغط
- 3- إمكانية استعمال أي نوع من الغاز في الدورة

في النظام المفتوح يستخدم الوقود الغازي أو السائل، هذا يؤدي لنواتج احتراق غير ملوثة تسيء لعمل العنفة. لذلك يجب استخدام وقود ذو نوعية جيدة. في النظام المغلق لا تمتزج نواتج الاحتراق مع جسم التشغيل ولا تسبب تلوث. مما يسمح استخدام وقود ذو نوعية سيئة ورخيص. يمكن أن يكون الوقود غاز أو سائل أو صلب. مما يسمح باستخدام مسخن سطحي للغاز. تكون غرفة الاحتراق صغيرة وبسيطة ورخيصة. ومسخن كبير وثقيل وغالي الثمن مما يؤدي لارتفاع التكاليف في بناء المحطة ذات العنفة الغازية. ومبرد الغاز السطحي يزيد الكلفة أيضا. بالنتيجة

النظام المغلق لا يستخدم في الطائرات. الميزة المهمة في النظام المغلق إمكانية استعمال ضغط عالٍ قبل الضاغط، فتتناقص أبعاد الضاغط والعنفة (صغر الكثافة الوسطية) مما يؤدي الحصول على استطاعة أكبر مقارنة مع النظام المفتوح. حديثاً ظهر استعمال العنفة الغازية في المحطات النووية ذات مفاعل عالي درجة الحرارة لتبريد الهيليوم HTGR. حيث يتم في المفاعل تسخين الغاز. الهيليوم المضغوط يتمدد في العنفة، ثم يبرد في المبردة، يضغط في الضاغط ويوجه كعنصر لتبريد المفاعل. يمكن الحصول على استطاعة 1000MW وأكثر في هذا النظام. الشكل (9-11) يبين المخطط الحراري لوحدة نووية كبيرة الاستطاعة مع مفاعل



ذي درجة حرارة عالية للهيل وضغط منخفض بعد إعادة توليد غاز التبريد المبرد بالماء منخفض الضغط. يصل المردود الحراري لهذا النظام إلى 36.6% واستطاعة

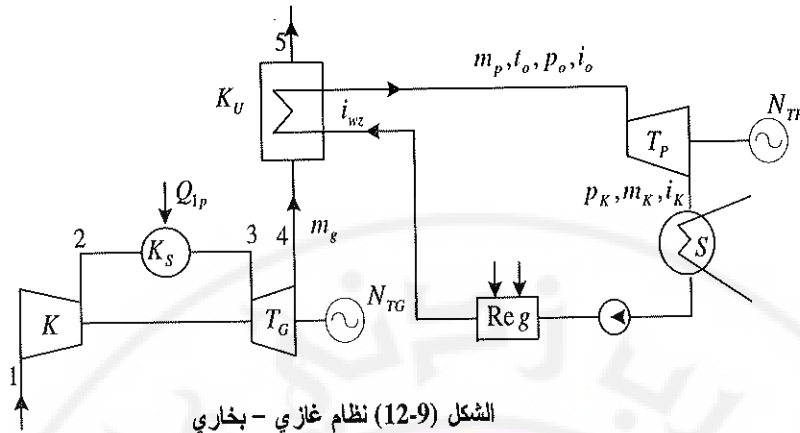
1099 MW مقارنة مع المحطة النووية ذات المفاعل PWR و BWR الذي يصل إلى 32-34%.

تستعمل العنفات الغازية في الطائرات، والسفن لتدوير المولدات الكهربائية والآلات العاملة وفي السيارات. في معظم الحالات تكون العنفات الغازية اقتصادية، وسهلة الإقلاع ورخيصة مقارنة مع المحركات الأخرى. الاتجاه الرئيسي لتطور العنفات الغازية يعتمد على رفع المردود الحراري من خلال زيادة درجة الحرارة العليا t_3 . وذلك باستعمال مواد جديدة وتحسين نظام التبريد. وأفضل وسيط تبريد هو مزيج الهواء وبخار الماء أو تبخير الماء في هواء بارد.

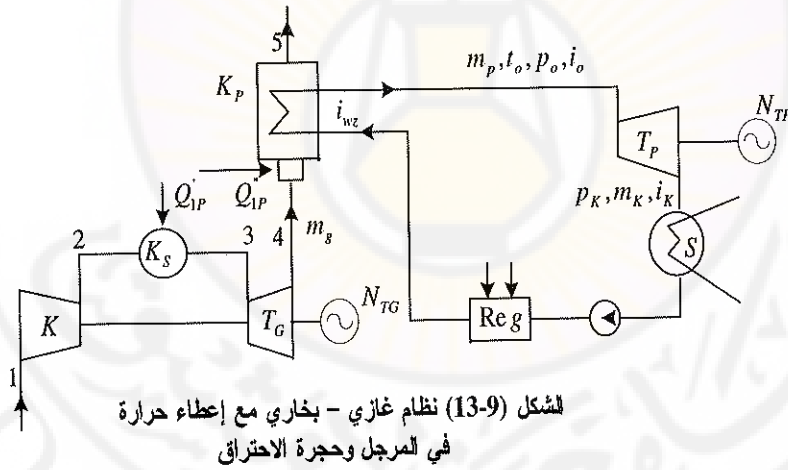
9-5 المحطات ذات الدورات المركبة (البخارية- الغازية)

في العنفات الغازية TG يمكن استعمال درجة حرارة للمنبع الحار في الدورة أعلى منها في العنفات البخارية. دورة العنفة البخارية TP تتميز بانخفاض متوسط درجة حرارة المنبع البارد. بدمج الميزتين للمحطتين نحصل على طريقة تحقق دورة ترموديناميكية ترفع المردود. الدورة المركبة غازية - بخارية GP وصل مجموعة نواتج الاحتراق ووحدة العنفة البخارية درجة الحرارة الوسطية للمنبع الحار أعلى منها في دورة البخار المستقلة، ومتوسط درجة حرارة المنبع البارد أقل. مردود الدورة المركبة أكبر من مردود دورة العنفة البخارية. عملية الاحتراق في حجرة العنفة الغازية تحتاج لفائض هواء كبير، نتيجة ذلك غازات الاحتراق تحوي كمية كبيرة من الأكسجين حوالي 16-17%. التي تستعمل كهواء ساخن لعملية احتراق الوقود في المرجل للمحطة البخارية. المخطط الحراري للدورة المركبة الغازية - البخارية يتميز بنوعين : - عنفة غازية تعمل مع مرجل بدون موقد احتراق - عنفة غازية تعمل مع وحدة بخارية لها موقد خاص.

في الحالة الأولى تستخدم الطاقة الحرارية للغاز الخارج من العنفة الغازية لإنتاج البخار في المرجل الشكل (9-12).



يتم استهلاك الوقود فقط في حجرة الاحتراق. البخار المنتج في المرجل يستخدم في العنفة البخارية، الاستطاعة الفعالة للدورة المركبة التي يمكن الحصول عليها من كمية الوقود نفسها أكبر منها باستخدام العنفة الغازية وحدها. في الحالة الثانية لا تستخدم فقط الطاقة الحرارية للغازات الخارجة من العنفة الغازية، الشكل (13-9).



لكن أيضاً الأكسجين الموجود فيها يسمح باحتراق إضافي للوقود في المرجل بكمية أكبر من كمية الاحتراق في حجرة الاحتراق TG وموقد المرجل.

يمكن مقارنة مردود الدورة المركبة مع مردود دورة العنفة الغازية أو مع مردود دورة العنفة البخارية. يؤخذ في المراجع عادة المقارنة مع مردود دورة العنفة الغازية.

مسائل محلولة:

المسألة الأولى:

يتمدد أديباتيا بخار مشبع ضغطه $p_1 = 2[MPa]$ عند مدخل فوهة ويغادرها عند ضغط $p_2 = 0.2[MPa]$. أوجد درجة كسر الجفاف وسرعة الخروج على اعتبار أن سرعة الدخول مهملة.

الحل:

من جداول بخار الماء عندما $p_1 = 2[MPa]$ نجد أن:

$$i_1 = 2799.5[kJ/kg], s_1 = 6.3409[kJ/kg.k]$$

في التمدد الأديباتي $s_1 = s_2$

وعندما $p_2 = 0.2[MPa]$ نجد أن:

$$s'' = 7.127[kJ/kg.k], s' = 1.5301[kJ/kg.k],$$

$$i'' = 2707[kJ/kg], i' = 504.7[kJ/kg]$$

حساب كسر الجفاف

$$\chi_2 = \frac{s_2 - s'}{s'' - s'} = \frac{6.3409 - 1.5301}{7.127 - 1.5301} = 0.8595$$

$$\chi_2 = \frac{i_2 - i'}{i'' - i'},$$

$$i_2 = i' + \chi_2(i'' - i'),$$

$$i_2 = 504.7 + 0.8595(2707 - 504.7) = 2397.57[kJ/kg]$$

سرعة الخروج

$$c_2 = \sqrt{2 \times (i_1 - i_2)},$$

$$c_2 = \sqrt{2 \times (2799.5 - 2397.57)} = 896.6[m/s]$$

المسألة الثانية:

يتمدد 1 kg من بخار الماء أديباتيا في فوهة متقاربة - متباعدة من الضغط عند المدخل $p_1=0.8 \text{ MPa}$ وحتى الضغط عند المخرج $p_3 = 0.15 \text{ MPa}$. بفرض أن الأس الأديباتي $\gamma=1.35$ أوجد التدفق الأعظمي لنسبة مقطع الاختناق إلى مقطع الخروج.
الحل:

$$p_c = p_2 = p_1 \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma+1}}$$

$$p_2 = 0.8 \left(\frac{2}{1.35+1} \right)^{\frac{1.35}{1.35+1}} = 0.462 \text{ MPa}$$

ومن مخطط $i-s$ عندما $p_1 = 0.8 \text{ MPa}$, $p_2 = 0.462 \text{ MPa}$, $p_3 = 0.15 \text{ MPa}$ نجد أن:

$$i_1 = 2769 \text{ kJ/kg}, i_2 = 2659 \text{ kJ/kg}, i_3 = 2452 \text{ kJ/kg}$$

$$i'_3 = 467.2 \text{ kJ/kg}, i''_3 = 2693 \text{ kJ/kg}$$

$$i'_2 = 623.4 \text{ kJ/kg}, i''_2 = 2744 \text{ kJ/kg}$$

$$v''_2 = 0.4139 \text{ m}^3/\text{kg}, v''_3 = 1.159 \text{ m}^3/\text{kg}$$

فيكون هبوط الانتالبي عبر الفوهة:

$$\Delta i_{1-3} = i_1 - i_3$$

$$\Delta i_{1-3} = 2769 - 2452 = 317 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta i_{1-2} = i_1 - i_2$$

$$\Delta i_{1-2} = 2769 - 2659 = 110 \text{ kJ/kg}$$

كسر الجفاف χ_2, χ_3

$$\chi_2 = \frac{i_2 - i_2'}{i_2'' - i_2'}, \chi_3 = \frac{i_3 - i_3'}{i_3'' - i_3'}$$

$$\chi_2 = \frac{2659 - 623.4}{2744 - 623.4} = 0.954$$

$$\chi_3 = \frac{2452 - 467.2}{2693 - 467.2} = 0.902$$

حساب السرعات c_2, c_3

$$c_2 = \sqrt{2 \cdot (i_1 - i_2)} = \sqrt{2 \Delta i_{1-2}}, c_3 = \sqrt{2 \cdot (i_1 - i_3)} = \sqrt{2 \Delta i_{1-3}}$$

$$c_3 = \sqrt{2 \cdot 1000 \cdot (317)} = 796 \text{ m/s}$$

$$c_2 = \sqrt{2 \cdot 1000 \cdot (110)} = 469 \text{ m/s}$$

التدفق m_2, m_3

$$m_2 = \frac{A_2 c_2}{\chi_2 v_2}, m_3 = \frac{A_3 c_3}{\chi_3 v_3}$$

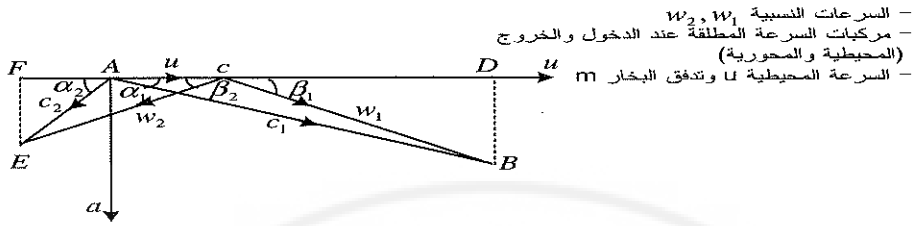
$$m_2 = m_3$$

$$\frac{A_2 c_2}{\chi_2 v_2} = \frac{A_3 c_3}{\chi_3 v_3}$$

$$\frac{A_3}{A_2} = \frac{c_2}{c_3} \cdot \frac{\chi_3 v_3}{\chi_2 v_2} = \frac{469}{796} \cdot \frac{0.902(1.159)}{0.954(0.4139)} = 1.599$$

المسألة الثالثة:

عنفة بخارية استطاعتها $p=2000[\text{kW}]$ وسرعة دخول البخار $c_1=500[\text{m/s}]$ وزاوية الدخول $\alpha_1 = 25^\circ$ ، بينما زوايا السرعة النسبية عند الدخول والخروج $\beta_1 = \beta_2 = 35^\circ$ ، فإذا كانت السرعة النسبية عند الدخول تزيد بمقدار 12% عن السرعة النسبية عند الخروج المطلوب احسب:



الحل: من المثلث ACD

$$c_{a1} = c_1 \sin \alpha_1 = 500 \sin 25 = 24 \text{ m/s}$$

ومن المثلث ADB

$$c_{a1} = w_1 \sin \beta_1,$$

$$w_1 = \frac{24}{\sin 35} = 367.8 \text{ m/s}$$

$$c_{u1} = c_1 \cos \alpha_1 = 500 \cos 25 = 453 \text{ و}$$

$$BD = c_{u1} - u = w_1 \cos \beta_1,$$

$$u = 453 - 367.8 \cos 35 = 151.7 \text{ m/s}$$

$$w_2 = (1 - 12\%) \times w_1,$$

$$w_2 = 0.88 \times 367.8 = 323.7 \text{ m/s}$$

ومن المثلث AEF

$$c_{a2} = w_2 \sin \beta_2 = 323.7 \sin 35 = 185.7 \text{ m/s}$$

ومن المثلث ABF

$$c_{u2} = w_2 \cos \beta_2 - u = 323.7 \cos 35 - 151.7 = 34 \text{ m/s},$$

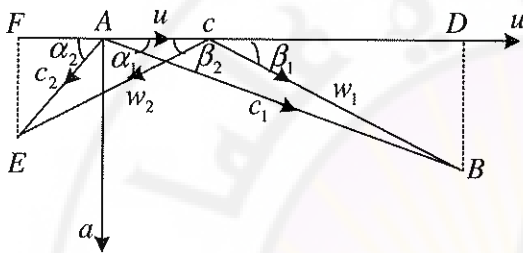
$$\Delta c_u = c_1 + c_{u2} = 453 + 34 = 487 \text{ m/s}$$

$$p = m \cdot u \Delta c_u,$$

$$m \cdot = \frac{p}{u \Delta c_u} = \frac{2000 \times 10^3}{151.7 \times 487} = 27 [\text{kg/sec}] \quad \text{التدفق:}$$

المسألة الرابعة:

السرعة المطلقة لدخول البخار $c_1 = 925[m/s]$ بزاوية $\alpha_1 = 20^\circ$ فتكون السرعة المحيطية للريشة $u = 250[m/s]$ فإذا كان التدفق الكتلي للبخار $\dot{m} = 0.182[kg/s]$ وبفرض أن $\beta_1 = \beta_2$ ومعامل السرعة $k=0.7$ المطلوب:
احسب:



- السرعة النسبية للدخول والخروج
- مركبتي السرعة المطلقة (للدخول والخروج)
- بالاتجاه المحيطي والمحوري
- القوة المحورية والمحيطية
- المؤثرة على الشفرة
- الزاوية

الحل:

من المثلث ABC

$$w_1^2 = u^2 + c_1^2 - 2uc_1 \cos \alpha_1,$$

$$w_1^2 = (250)^2 + (925)^2 - 2 \times 250 \times 925 \times \cos 20,$$

$$w_1 = 695.35[m/s]$$

$$k = \frac{w_2}{w_1},$$

$$w_2 = 0.7w_1 = 0.7 \times 695.35 = 487[m/s]$$

$$c_{u1} = c_1 \cos \alpha_1 = 925 \cos 20 = 869.22 [m/s]$$

$$c_{a1} = c_1 \sin \alpha_1 = 925 \sin 20 = 316.32 [m/s]$$

$$\tan \beta_1 = \frac{c_{a1}}{c_{u1} - u} = \frac{316.37}{869.22 - 250} = 0.511,$$

$$\beta_1 = \beta_2 = 27.06$$

$$c_{u2} = w_2 \cos \beta_2 - u = 487 \cos 27.06 - 250 = 183.69 [m/s]$$

$$c_{a2} = EF = (u + c_{u2}) \tan \beta_2,$$

$$c_{a2} = (250 + 183.69) \tan 27.06 = 221.548[m/s]$$

$$P_u = m^* (c_{u1} + c_{u2}),$$

$$P_u = 0.182(869.22 + 183.69) = 191.63[N]$$

$$P_a = m^* (c_{a1} - c_{a2}),$$

$$P_u = 0.182(316.32 - 221.548) = 17.26[N]$$

$$L = p_u \cdot u$$

$$L = \frac{191.63(250)}{1000} = 47.91kW$$

العمل

$$\eta_d = \frac{L}{\frac{1}{2} c_1^2}$$

المردود

$$\eta_d = \frac{2(47.91)}{0.182 \cdot (925)^2} = 0.6153$$

المسألة الخامسة:

تدفق البخار في مرحلة عنفة $m = 111[kg/s]$ والسرعة المطلقة عند الدخول $u = 158[m/s]$ $c_1 = 311.9[m/s]$ بزاوية ميل $\alpha_1 = 15^\circ$ ، بينما السرعة المحيطية $w_2 = 182.16[m/s]$ على القرص الدوار حيث والنسبية عند الخروج $\beta_1 = 29.5^\circ, \beta_2 = 23^\circ, \alpha_2 = 82.4^\circ$ إذا علمت أن فرق الضغط بين المدخل والمخرج وارتفاع الريشة وقطر المرحلة كما يلي:

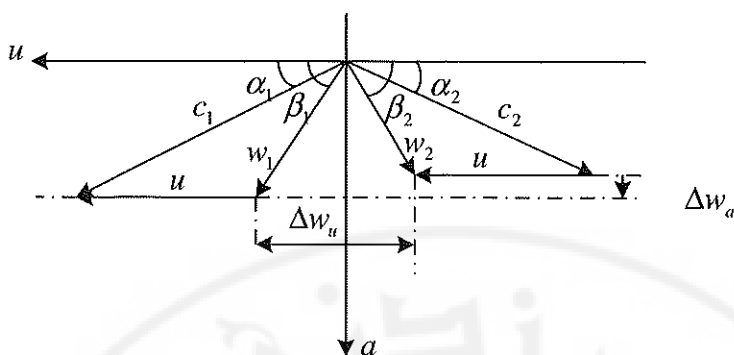
$$d = 1.006[m], l_z = 0.0574[m], \Delta p = 63.8 \times 10^3 [Pa]$$

القوة المحيطية والقوة المحورية المؤثرة في مرحلة العنفة

الضياعات على القرص الدوار والريش الموجهة والخروج

رسم مثلث السرعات

الحل:



$$w_1^2 = u^2 + c_1^2 - 2uc_1 \cos \alpha_1,$$

$$w_1^2 = (311.9)^2 + (158)^2 - 2 \times 311.9 \times 158 \times \cos 15,$$

$$w_1 = 164.4 [m/s]$$

ضیاعات على القرص الدوار

$$\Delta h_w = \frac{w_2^2}{2} = \frac{(182.16)^2}{2} = 16591.132 [J/kg]$$

$$c_2^2 = w_2^2 + u^2 - 2w_2u \cos \beta_2,$$

$$c_2^2 = (182.16)^2 + (158)^2 - 2 \times 182.16 \times 158 \times \cos 23,$$

$$c_2 = 72.1 [m/s]$$

ضیاعات الخروج والضیاعات على الريش الموجهة

$$\Delta h_{wy} = \frac{c_2^2}{2} = \frac{(72.1)^2}{2} = 2599.2 [J/kg],$$

$$\Delta h_k = \frac{c_1^2}{2} = \frac{(311.9)^2}{2} = 48640.8 [J/kg]$$

القوة المحیطیة

$$p_u = m \cdot \Delta w_u,$$

$$\Delta w_u = w_1 \cos \beta_1 + w_2 \cos \beta_2,$$

$$\Delta w_u = 164.4 \times \cos 29.5 + 182.16 \times \cos 23 = 310.64 [m/s],$$

$$p_u = 111 \times 310.64 = 34.48 \times 10^3 [N]$$

القوة المحورية:

$$p_a = m \cdot \Delta w_a + \pi \cdot d \cdot l_z \cdot \Delta p,$$

$$\Delta w_a = w_1 \sin \beta_1 - w_2 \sin \beta_2,$$

$$\Delta w_a = 164.4 \times \sin 29.5 - 182.16 \times \sin 23 = 9.29 [m/s],$$

$$p_a = 111 \times 9.29 \times 1.006 \times 0.0574 \times 63.8 \times 10^3 = 12605 [N]$$







الباب الثاني

الآلات الهيدروليكية



The background of the page features a large, faint watermark of the Damascus University logo. The logo is circular, with the Arabic text "جامعة دمشق" (University of Damascus) at the top and "Damascus University" at the bottom. In the center is a stylized lamp with rays emanating from it.

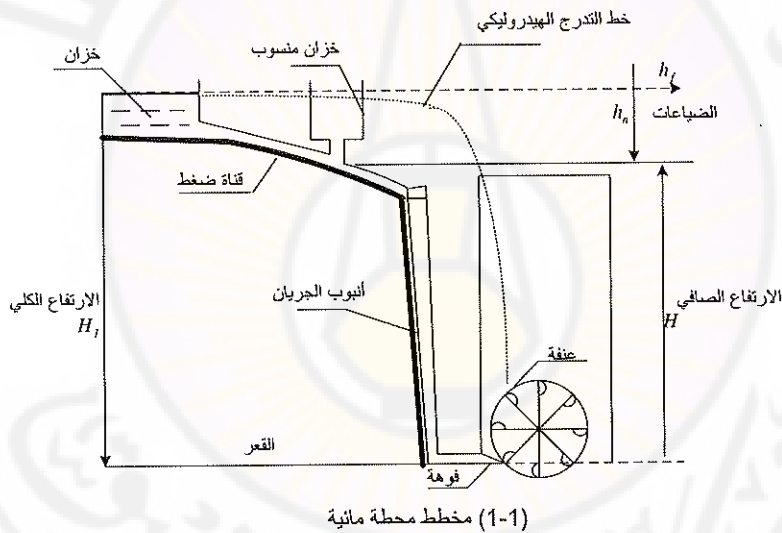
الفصل الأول العنفات المائية



العنفات المائية

1-1 مقدمة

يستخدم الماء في العنفة المائية كمصدر للطاقة، حيث تقوم بتحويل الطاقة الكامنة والحركية للماء إلى طاقة ميكانيكية. تعتبر العنفات الهيدروليكية مدموجة مع المولدات الآلية الرئيسية للاستفادة من طاقة الماء في توليد الطاقة الكهربائية. تنتقل الطاقة لتدوير العنفة نتيجة تدفق الماء عبر العنفات. يتصل العمود الدائر للعنفة مباشرة بمحور المولدة، لتنتقل الطاقة الميكانيكية إليها. لذلك تحتل العنفات المركز المهم في الهندسة الهيدر وكهربائية والكلفة الكلية للتصميم. تاريخياً تستخدم الطاقة الهيدروليكية لتدوير العجلة المائية الشكل (1-1) حيث تستعمل منذ أربعمائة سنة في المطاحن وغيرها. مع وجود اختلاف بسيط بين العجلات المائية الحالية والقديمة.



2-1 الأنواع الرئيسية للعنفات: الأنواع الرئيسية للعنفات فعلية (دفعية)، وعنفات رد فعل. النوع الأول يمثل دولاب بيلتون ويعمل في المجال (150 – 200) m للضاغط، بينما العنفة ذات رد الفعل تستخدم لارتفاعات أعلى، ومنها عنفة فرنسيس التي تتميز بأن الجريان فيها قطري على الجزء الدوار، أما عنفة كابلان فهي آلة جريان محورية

من النوع الدفعي المروحي. عملياً: الأنواع الرئيسية للعنفات التي تستخدم حالياً في الهندسة الهيدروكهربائية هي:

1- عنفة فرنسيس، براءة اختراع 1849

2- عنفة بلتون، براءة اختراع 1889

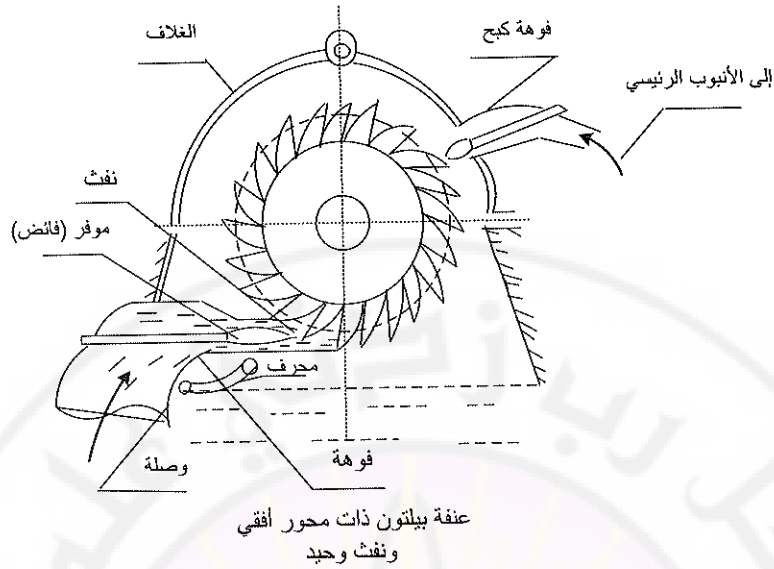
3- عنفات كابلان الدفعية، براءة اختراع 1913

4- عنفة داريوس، براءة اختراع 1945

إن مبدأ عمل كل من الأنواع الأربعة أعلاه هو نفسه رغم وجود اختلاف في التصميم. كل عنفة فيها جزء دائر مغطى بالشفرات أو المراوح التي توجه الماء عند المخرج بحيث يتشكل عزم على الدولاب ويجعله يدور حول محور الدوران. الشكل الهندسي للجزء الدوار يختلف مع مراوحه حسب نوع العنفة. يغلف الجزء الدوار بغلاف يمثل الدليل الميكانيكي للماء من أعلى الدائر.

أ- دولاب بيلتون

اكتشف المهندس الأميركي بيلتون في 1880 عنفة تعمل مع ضياعات قليلة نسبياً في الجريان (الماء). ينفث السائل من فوهة على المغارف (سطول) لعنفة الدفع ويتوزع بسرعة عالية. هذه المغارف مثبتة على دولاب دائري حلزوني (الدوار) المثبت بدوره عادة على محور أفقي. كانت الغاية من التصميم الأول للعنفة الدفعية الدفع وإنتاج الطاقة. يؤدي الدفع لانحراف بواسطة حركة الدوار الناتجة عن اصطدام الماء بالمغارف مما يؤدي لتوليد طاقة ميكانيكية. ونتيجة انحراف المغارف ينحرف الدفع (النفث) بزاوية 160-165 درجة في مستوي الدفع (النفث) نفسه. يتفرغ الماء في المجرى بعد المغرف وتنتقل كامل الطاقة من الفوهة إلى المجرى حتى يستقر السائل عند ضغط ثابت. تكون المغارف مصممة بشكل يدخل فيها الماء وينحرف في الوسط ثم يفرغ بشكل عكسي لينحرف الجريان ثانية في كلا الاتجاهين وذلك لتجنب الدفع القوي على الدولاب. لا يقوم غلاف دولاب بيلتون بأي عمل هيدروليكي لكنه يحمي الجزء الدائر ويمنع تطاير الماء ويوجهه إلى المجرى.



- مثلث السرعات في دولاب بيلتون

يبين الشكل (1-2) مثلث السرعات لدولاب بيلتون حيث زاوية دخول النفط صفر ويكون عند الدخول خطوط أفقية (مستقيمة) وإذا كانت المغرفة في حالة سكون فإن السرعة النسبية تعطى بالعلاقة:

$$\vec{w}_1 = \vec{c}_1 - \vec{u} \quad (1-1)$$

زاوية الدوران تتغير في حالة النفط الأفقي عبر الممر على سطح المغرفة α وسرعة الخروج النسبية w_2 والسرعة المطلقة C_2 وعند الخروج تصبح

$$\vec{c}_2 = \vec{w}_2 + \vec{u}$$

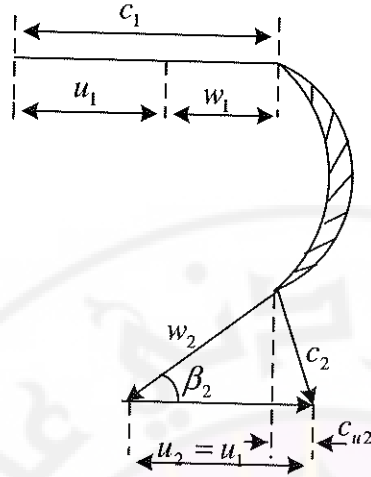
حيث: $u_1 = u_2$ السرعة المحيطية ، c_1, c_2 السرعة المطلقة عند الدخول والخروج،

w_1, w_2 السرعة النسبية عند الدخول والخروج

وباستعمال معادلة أويلر للعنفة نحسب الاستطاعة (الطاقة الناتجة):

$$W = u_1 \cdot C_{u1} - u_2 \cdot C_{u2} \quad (2-1)$$

وتكون C_{u1} في الاتجاه المعاكس للمحور x حيث: α زاوية الدوران على سطح المغرفة



الشكل (2-1) مثلث السرعات في دولاب بليتون

$$W = u \{ (u + w_1) + [w_1 \cdot \cos(180 - \alpha) - u] \}$$

بإهمال الضياعات $w_1 = w_2$

$$W = u(w_1 - w_1 \cdot \cos \alpha)$$

$$E = \frac{u(c_1 - u) \cdot (1 - \cos \alpha)}{g} \quad \text{الطاقة المنقولة للجريان}$$

$$\frac{dE}{du} = \frac{(c_1 - 2u) \cdot (1 - \cos \alpha)}{g} = 0$$

$$c_1 = 2 \cdot u \quad \text{أو} \quad u = c_1 / 2$$

عندما $\alpha = 90^\circ$

$$E_{\max} = \frac{c_1^2 \cdot (1 - \cos \alpha)}{4 \cdot g}$$

عملياً يوجد احتكاك على السطح وبالتالي $w_1 \neq w_2$ و $k = \frac{w_2}{w_1}$ معامل

السرعة

$$E = \frac{u(c_1 - u) \cdot (1 - k \cos \alpha)}{g}$$

ويكون المردود الهيدروليكي = الطاقة المنقولة على الطاقة المتاحة

$$\eta_h = \frac{E}{\frac{c_1^2}{2.g}} \quad (3-1)$$

عندما $\alpha = 180^\circ$ فإن $\eta_h = 100\%$ عملياً تؤخذ في المجال $\alpha = (160 - 165)^\circ$

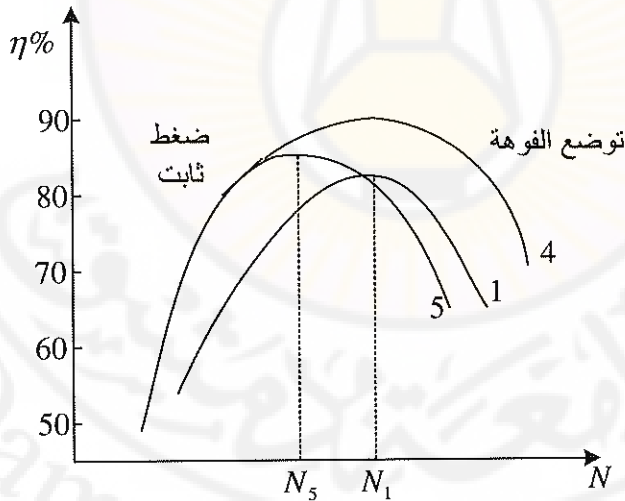
- الضياعات والمراديد لدولاب بيلتون

تحدث الضياعات الرئيسية (الاحتكاك) في خطوط التفريغ وتترافق مع الماء حتى الفوهة مباشرة التي يعبر عنها بمعامل السرعة c_v .

مردود النفط η_i يعبر عن الضياعات في الفوهة، والمردود الميكانيكي η_m يعبر عن الضياعات في المضاجع والحشوات. والمردود العام η لأجل عنفة بيلتون كبيرة ويكون في المجال لدولاب بيلتون (85-90%).

المردود التالي يعبر عن مردود دولاب بلتون

مردود أنابيب النقل = الطاقة في نهاية الأنبوب / الطاقة المتاحة عند الخزان الشكل (3-1).



الشكل (3-1) علاقة المردود بالسرعة في أماكن مختلفة لتوضع الفوهة 1 فوهة واحدة، 4 فوهات، 5 فوهات

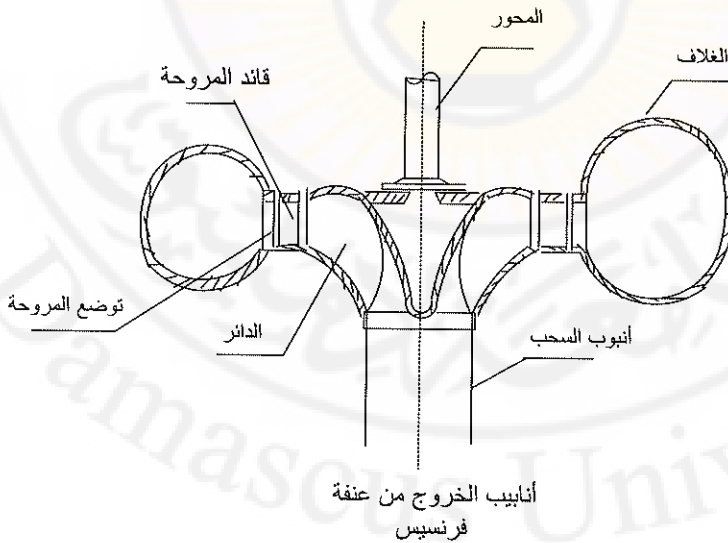
$$\eta_{trans} = \frac{H_1 - h_f}{H_1} = \frac{H}{H_1}$$

$$\eta_j = \frac{c_1^2}{2gH}$$

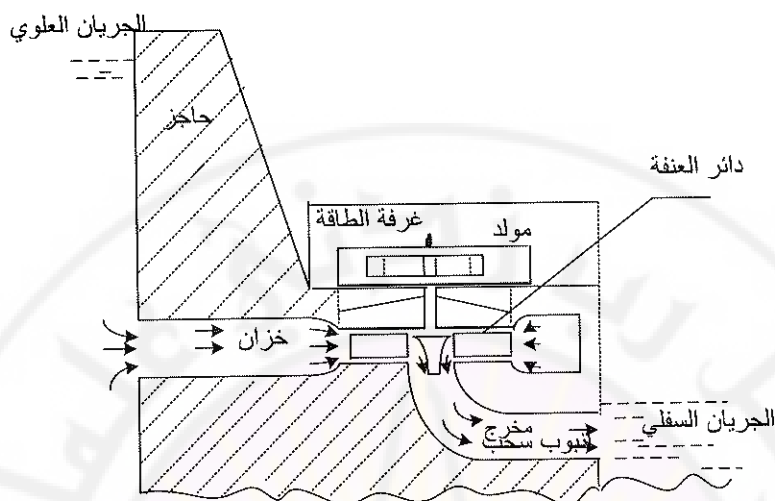
لكن معامل سرعة النفط $c_v = \frac{c_1}{\sqrt{2gH}}$ فيصبح المردود بالشكل $\eta_j = c_v^2$

ب- عنفة فرنسيس (عنفة رد الفعل)

عنفة فرنسيس أو عنفة الجريان القطري هي آلة رد فعل، حيث يكون الجزء الدوار مغلفاً بغلاف. يتدفق الماء فوق الشفرات بضغط أكبر من الضغط الجوي فيتحول الضغط الرئيسي إلى سرعة رئيسية، فيغادر الماء الشفرات بسرعة نسبية كبيرة وسرعة مطلقة صغيرة مما يؤدي لزيادة الطاقة الداخلية للماء التي تدير الجزء الدوار. في عنفات رد الفعل يغادر الماء الجزء الدوار عند ضغط يساوي الضغط الجوي. وفرق الضغط بين مدخل ومخرج الجزء الدوار يعرف بضغط رد الفعل. الفرق الأساسي بين آلة رد الفعل وآلة الفعل (الدفع) هو في التصميم، تتحول طاقة الضغط التي يملكها الماء نتيجة الارتفاع إلى طاقة حركية في فتحة الخروج، جزء من العمل

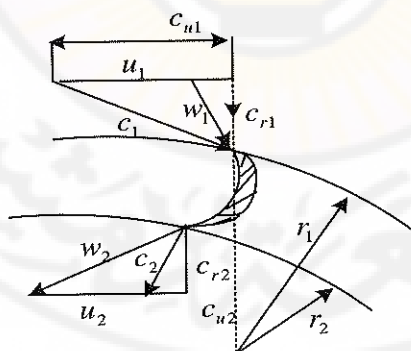


الناتج عن تدوير الدوار يطابق رد الفعل الناتج عن هبوط الضغط، بينما الجزء الآخر من العمل يذهب لتغيير الطاقة الحركية وعملية الدفع.



عنفة (رد فعل) فرنسيس
توزع الطاقة

يبين الشكل (4-1) مثلث السرعات عند الدخول والخروج لريشة عنفة. في عنفة رد الفعل يدخل الماء إلى غلاف العنفة ويكون الضاغط الكلي مساويا للضغط الرئيسي والسرعة الرئيسية لذلك يدخل الماء إلى الدائر أو يعبر خلاله إلى المراوح المثبتة حول الدائر ويتحرك قطريا ابتداءً من الوسط ويخرج من شفرات الدائر عند قطر أصغر، ثم



الشكل (4-1) مثلث السرعات لعنفة رد فعل
(عنفة فرنسيس)

يدور 90 درجة داخل أنبوب السحب وهو ذو قطر متدرج مما يساعد في زيادة العمل الناتج عن العنفة من خلال تناقص ضغط الخروج.

C_1, C_2 السرعة المطلقة عند الدخول والخروج

D_1, D_2 القطر الخارجي والداخلي للدوار

N سرعة الدوران في الدقيقة

U_1, U_2 السرعة المماسية عند المدخل والمخرج

w_1, w_2 السرعة النسبية عند المدخل والمخرج

C_{r1}, C_{r2} السرعة القطرية عند المدخل والمخرج

α_1 الزاوية بين السرعة المطلقة ومحور الدوران

β_1 الزاوية بين السرعة النسبية ومحور الدوران

H الضاغط الكلي

في معادلة أويلر عندما $C_{u2} = 0$ فإن $E = E_{max}$ عندها السرعة المطلقة عند الدخول والخروج وسرعات التدفق تكون نفسها.

- الضياعات في العنفة

إذا كانت P_s استطاعة الخرج و P_m ضياعات الطاقة الميكانيكية و P_r ضياعات الطاقة في الجزء الدوار و P_c ضياعات أنبوب السحب والغلاف و P_l ضياعات التسرب و P الاستطاعة المتاحة للماء فإن:

$$P_h = P_r + P_c + P_l$$

إن ضياعات الطاقة للجزء الدوار ناتجة عن الاحتكاك عند مدخل الجزء الدوار وانفصال الجريان. إذا كانت h_f ضياعات الضاغط وكانت Q معدل التدفق عبر

الجزء الدوار تكون:

$$P_s = \rho \cdot g \cdot Q_r \cdot h_f [N.m / s] \quad (4-1)$$

والتدفق الكلي حيث q معدل التدفق

$$Q = Q_r + q$$

$$P_l = \rho \cdot g \cdot H_r \cdot q [N.m / s]$$

$$P_c = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot Q [N.m / s]$$

الميزان الطاقي:

$$\rho \cdot g \cdot Q \cdot H = P_m + \rho \cdot g (h_f \cdot Q_r + h_c \cdot Q + H_r \cdot q + P_s) \quad (5-1)$$

$$\eta_o = \frac{P_s}{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H} \quad \text{المردود الكلي:}$$

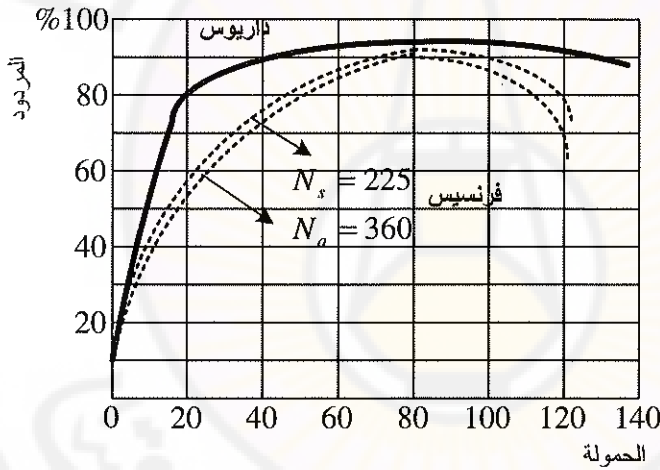
$$\eta_h = \frac{P_s + P_m}{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H} \quad \text{المردود الهيدروليكي}$$

المردود الأعظمي

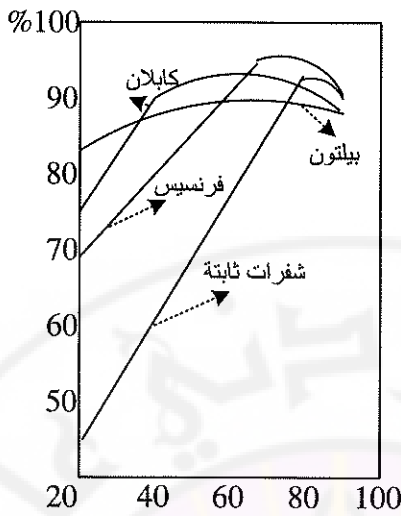
$$\eta_h = \frac{U_1 \cdot C_{w1}}{g \cdot H} \quad (6-1)$$

- مميزات العنفة

مميزات عنفة فرنسيس عند الحمولة الزائدة والسرعات (225-360) R.p.m مبنية على الشكل (5-1)، والشكل (6-1) يبين تغير الحمولة في مجال واسع لعنفة كابلان



الشكل (5-1) تغير المردود بالنسبة لتغير الحمولة (عنفة فرنسيس وداريوس)

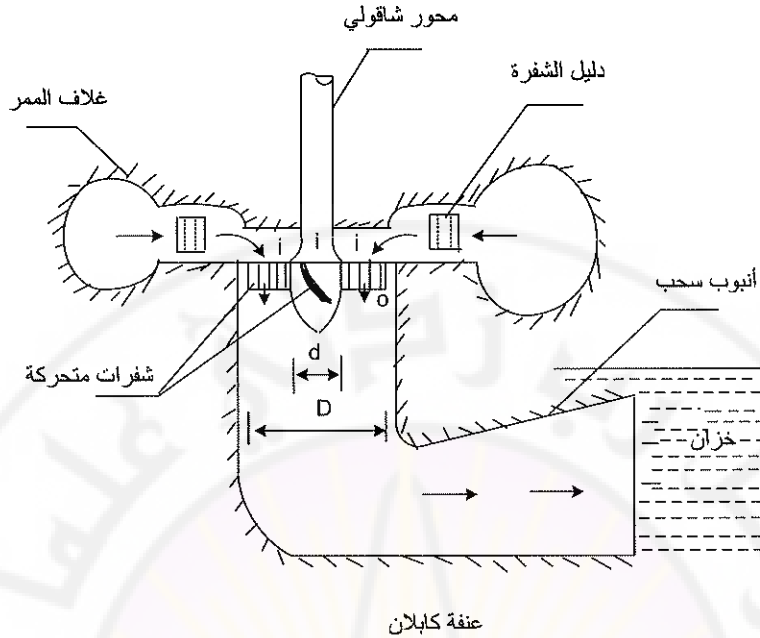


الشكل (6-1) تغير المردود بالنسبة لتغير نوع العنفة

وبلتون. حيث أن الآلات ذات السرعات المنخفضة مردودها أعلى. ومن خلال التجربة لعنفة فرنسيس فإن عدم الاستقرار عند فتح البوابة بين (30-60) % الذي يسبب اهتزاز عند المخرج وتموج بالضغط في المجرى. لكن استطاع باول داريوس التغلب على هاتين المشكلتين من خلال تصميم دوار مشابه لدوار فرنسيس ولكنه ذو شفرات معدلة.

ت- عنفة التدفق المحوري (عنفة كابلان)

تعرف عنفة التدفق المحوري (رد فعل) بعنفة كابلان حيث تدفق الماء يكون موازياً لمحور الدوران. تستعمل عنفة كابلان حيث الكميات الكبيرة من المياه والارتفاعات الصغيرة لأن الشفرات يجب أن تكون طويلة وأوتارها ضخمة لذلك فهي قوية بشكل



كاف لنقل العزم الكبير عند ازدياده. يتدفق الماء من الحلزون فوق الشفرات ويدور عليها حيث دليل الدوران عند المدخل مثبت بمكان أعلى من الشفرات الدائرية، لذلك يدور السائل بزاوية 90 درجة ليدخل إلى الجزء الدوار في الاتجاه المحوري. حركة السائل على الدليل الدوار تساعد في توزيعه قطرياً عند السرعة نفسها على شكل دوامة حرة.

3-1- الميزات الهيدروليكية للعنفات

تصنف العنفات الهيدروليكية حسب ما يلي:

آ- **الضغط** يتدفق الماء عبر الجيوب بحيث يسيطر عليه دائماً الضغط الرئيسي، إلى جانب الطاقة الحركية. عند مدخل الجزء الدوار للعنفة يتحول الضغط بشكل كامل إلى طاقة حركية خلال نفث الماء من فوهة أو عدة فوهات ويصطدم بريش (المراوح) الدولاب. النفث الحر سيكون عند الضغط الجوي، قبل وبعد اصطدام الشفرات. العنفات المأخوذة وفق هذا التصميم تعرف بعنفات هبوط الضغط أو العنفات الدفعية. يصنف وفق هذه الفئة دولاب بلتون ودولاب تورغو الدفعي. يمكن للعنفة أن تدور

بتأثير جريان الماء تحت ضغط عبر الدائر، (المجرى بين مراوح الدائر)، بحيث يستمر الضغط بالتناقص من المدخل وحتى المخرج. الجزء الدائر للعنفة يحول مباشرة كلا من الطاقة الحركية وطاقة الضغط إلى طاقة ميكانيكية. لذلك تدعى عنفات فعل أو عنفات ضغط. فرق الضغط بين المدخل والمخرج للجزء الدوار يدعى زيادة الضغط على العنفة.

ب- الضاغط فرق الارتفاع بمنسوب الماء بين الخزان العلوي والخزان السفلي للعنفة يكون ضاغط العنفة. الفرق بين الطاقات الكلية على جانبي العنفة يعطي الضاغط. إن عمل العنفات في مجال للضاغط من 2m إلى 2000m. يعتبر واحد من التصنيفات المشهورة للعنفات على أساس مجال الضاغط:

2-15m ضاغط منخفض

15-50m ضاغط متوسط

أكثر من 50m ضاغط مرتفع

وهناك تصنيف آخر

2-15m ضاغط منخفض

16-70m ضاغط متوسط

71-500m ضاغط مرتفع

أكثر من 500m ضاغط مرتفع جداً

بناء على مجالات الضاغط أعلاه تصنف العنفات كما يلي:

- للضواغط المنخفضة تستخدم عنفات كابلان الدفعية.

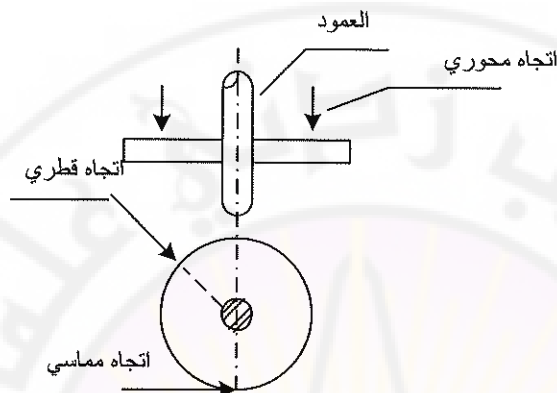
- للضواغط المتوسطة تستخدم عنفات فرنسيس وكابلان.

- للضواغط العالية تستخدم عنفات فرنسيس وبلتون.

- للضواغط العالية جداً تستخدم عنفات بلتون.

يمكن أن تستعمل عنفات داريوس للضواغط 300m (تستخدم في محطات التوليد الكهرومائية التخزينية حيث تعمل العنفة والمضخة) وهي أكثر كلفة من عنفة فرنسيس.

ت- اتجاه الجريان ثلاثة أبعاد تحدد اتجاهات الجريان في العنفة تؤخذ بالاعتبار أثناء التصميم، الاتجاه القطري، والمحوري، والمماسي، وهي تتعلق بالدولاب. محور العمود يحدد الاتجاه المحوري. المخطط العلوي من الشكل (7-1) يبين التدفق المحوري في



الشكل (7-1) اتجاهات الجريان في العنفات

العنفة، أحياناً يتغير اتجاه الجريان بين المدخل والمخرج. حيث يمكن أن يكون التدفق قطعياً عند المدخل ومحورياً عند المخرج. وهذا يعرف بالجريان المختلط. إذا كان الجريان غير مواز للمحور ولا يتعامد معه ولكن عموماً يصنع زاوية مع المحور عندها يدعى جرياناً منحرف وتكون اتجاهات الجريان في العنفات المستعملة كما يلي:

عنفة فرنسيس	تدفق قطري نحو المركز أو تدفق مختلط
عنفة بلتون	تدفق مماسي
عنفة كابلان و الدفعية	تدفق محوري
عنفة داريوس	تدفق منحرف

ث- التدفق يمكن أن نقول عن العنفات إنها ذات تفريغ منخفض، متوسط ومرتفع. هذه فقط مصطلحات نوعية. عنفات بلتون مقارنة بالحجوم تكون عنفات ذات تفريغ

منخفض نسبياً، عنفات كابلان تكون عالية التفريغ بينما عنفات فرنسيس تأخذ موضع الوسط.

ج- الطاقة تعطى قدرة العنفة بالحضان بالعلاقة:

$$p = \frac{w \cdot Q \cdot h}{75} \eta_o \quad [hp] \quad (7-1)$$

حيث: η_o المردود النظري للعنفة

$Q[m^3/sec]$ التدفق

$h[m]$ الضاغط الفعال

$w = 1000[kg/m^3]$ الوزن النوعي للماء

أحياناً يصل مردود العنفات حتى 90% فتصبح العلاقة السابقة بالشكل

$$p = 12 \cdot Q \cdot h$$

القدرة الناتجة تتعلق بقيمة Q وقيمة h وتكون عادة قدرة

عنفة بلتون أعلى من $p = 330000[hp]$

عنفة كابلان أعلى من $p = 150000[hp]$

عنفة فرنسيس أعلى من $p = 820000[hp]$.

لأجل قدرة كبيرة جداً عنفات فرنسيس الآلية.

ح- السرعة تشكل العنفة والمولدة مجموعة واحدة معدل سرعة العنفة يكون نفسه

معدل سرعة المولدة الذي يعطى بالعلاقة:

$$N = \frac{60 \cdot f}{P} \quad (8-1)$$

حيث: $N[R \cdot P \cdot M]$ سرعة الدوران

$f = 50[hertz]$ التردد في المولدة

P عدد أزواج الأقطاب في المولدة

تحدد سرعة العنفة من سرعة المولدة. وتكون قيم P, f ثابتة لأي مولدة، لذلك تكون

قيمة N ثابتة بغض النظر عن الخرج.

خ- العدد النوعي للدورات (السرعة النوعية للعنفة) هي سرعة أية آلة تنتج 1[hp] عند ضاغط 1[m].

وتحدد السرعة النوعية للعنفة بالعلاقة:

$$N_s = \frac{N \cdot \sqrt{P}}{h^{\frac{5}{4}}} \quad (9-1)$$

P عدد أزواج الأقطاب في المولدة

لهذا البارامتر قيمة بعدية مهمة أثناء التصميم. وتعتبر السرعة النوعية، والقدرة، والضاغط من أهم البارامترات الأساسية للعنفة. ويكون المجال الكلي للسرعة النوعية للعنفات الهيدروليكية بين [4-1100]. السرعة النوعية المنخفضة للآلة تدل على دوران بطيء، بينما السرعة النوعية العالية للدوران السريع. أحياناً، تستعمل العلاقات التجريبية في تحديد هذا البارامتر بين الضاغط والسرعة النوعية الموافقة له. ولأجل عنفات رد الفعل تعطى العلاقة بالشكل:

$$N_s = \frac{A}{h^B}$$

$$N_s = \frac{A}{h+B} + C \quad \text{أو}$$

حيث: A, B, C ثوابت تجريبية

$$N_s = \frac{1750}{\sqrt{h}} \quad \text{لأجل دوائر فرنسيس}$$

$$N_s = \frac{13000}{h+20} + 50 \quad \text{الاتحاد الياباني للتقنيات الإلكترونية}$$

$$N_s = \frac{1475}{h^{1/3}} \quad \text{لأجل الضاغط أقل من 18[m] (عنفة دفعية)}$$

$$N_s = \frac{1540}{\sqrt{h}} \quad \text{من أجل ضاغط بين 18[m] و 300[m]}$$

إن قيمة A تكون ثابتة في العلاقات السابقة.

العلاقات أعلاه تستعمل كدليل لاختيار السرعة النوعية للعنفة أو الحجم.

4-1- تحليل عناصر العنفات المائية

إن تحليل العناصر الهيدروليكية في العنفات المائية ضروري لتقييم الأداء الذي له علاقة بأبعاد العناصر للعنفة. أداء العنفات يحدد المردود العالي لها. الذي يعطى بالعلاقة:

$$\eta_o = \frac{P}{w \cdot Q \cdot h / 75} \quad (10-1)$$

المردود يساوي نسبة القدرة بالحصان على محور العنفة إلى قدرة الماء بالحصان الداخلة للعنفة.

$$\begin{aligned} h &= H - h_f & \text{حيث:} \\ h &= \eta_i \cdot H & (11-1) \end{aligned}$$

h الضاغط الفعلي (الصافي)

الارتفاع الحقيقي هو الفرق بين ارتفاع الخزان ونهاية مستوى الماء المتدفق H . لكن أثناء نقل المياه تؤخذ بالاعتبار الضياعات h_f .

η_i مردود النقل في الأنابيب بين العنفة والخزان (penstock) يتعلق بالنموذج أو بمردود المولدة، لتحديد مردود العنفة. يصل أعلى مردود للعنفات الحديثة ذات الحجم الكبير إلى حوالي 92% ، حيث أن ضياعات الطاقة تحصل في العنفة وهي:

1- ضياعات الطاقة نتيجة الاحتكاك والاضطراب في الممرات إلى الجزء الدوار.

2- ضياعات الطاقة نتيجة احتكاك الماء المتدفق على الجزء الدوار.

3- ضياعات الطاقة في أنبوب السحب (عنفات رد الفعل فقط).

4- ضياعات الطاقة الحركية عند مخرج الماء من العنفة مع سرعة محددة.

5- ضياعات الطاقة نتيجة تسرب الماء الذي لم يؤد عملاً.

6- ضياعات الطاقة نتيجة احتكاك الأجزاء الميكانيكية عند المضاجع.

الضياعات الأربع الأولى تحدد ضياعات الاحتكاك، والخامس ضياعات التسرب والسادس ضياعات ميكانيكية. يعطى المردود العام للعنفة بالعلاقة:

$$\eta_o = \eta_h \cdot \eta_q \cdot \eta_m \quad (12-1)$$

حيث: η_h, η_q, η_m المردود الميكانيكي، مردود التفريغ، مردود التحويل

ضياعات التسرب تقع في المجال $(0.25-0.5)\%$

ضياعات التفريغ تقع في المجال $(99.5-99.75)\%$

تدعى بمجموعها ضياعات هيدروليكية وتحدد المردود الهيدروليكي حسب العلاقة:

$$\eta_{hyd} = \eta_h \cdot \eta_q$$

$$\eta_o = \eta_{hyd} \cdot \eta_m$$

$$\eta_{hyd} = \eta_h \quad \text{فيكون} \quad \eta_q = 1 \quad \text{عادة تؤخذ}$$

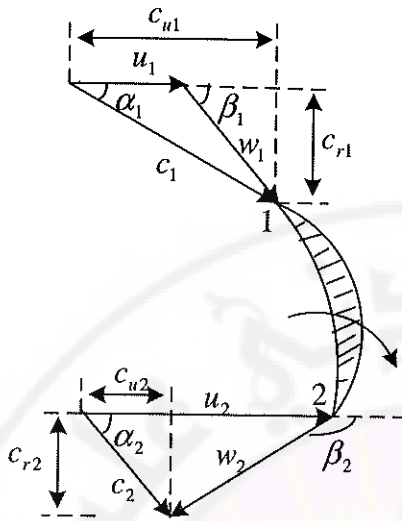
المردود الهيدروليكي = نسبة الارتفاع المفيد للجزء الدوار إلى الارتفاع الصافي المقدم - مثلثات السرعة ومصطلحاتها في دوائر العنفات يبين الشكل (1-8) مثلثي السرعة عند الدخول والخروج، حيث يتدفق الماء في العنفات على الدائر ويديره بسرعة محددة ويغادره عند نقطة المخرج. تدعى سرعة تدفق الماء على الدائر بشعاع السرعة النسبية عند الخروج والدخول على التوالي $\vec{w}_1, \vec{w}_2$ وزوايا ميلها β_1, β_2 بالنسبة للسرعة المحيطية ولكل منها مركبتان:

$$\vec{c}_1, \vec{c}_2 \text{ السرعة المطلقة للماء عند المخرج والمدخل للجزء الدوار وزوايا ميلها}$$

$$\alpha_1, \alpha_2 \text{ بالنسبة للسرعة المحيطية.}$$

$$\vec{u}_1 = \vec{u}_2 = \vec{u} \text{ السرعة المحيطية عند المخرج والمدخل}$$

$$w_1 = c_{r1}, w_2 = c_{r2} \text{ السرعة النسبية للماء عند المخرج والمدخل}$$



الشكل (8-1) مثلث سرعات الدخول والخروج في ريشة عنفة مائية

الحركة النسبية للعناصر الميكانيكية تحدد بالسرعة النسبية عند المدخل والمخرج وفق العلاقات الشعاعية:

$$\vec{w}_1 = \vec{c}_1 - \vec{u}_1$$

$$\vec{w}_2 = \vec{c}_2 - \vec{u}_2$$

المعادلات أعلاه تعبر عن مثلثات السرعة لثلاث مركبات للسرعة عند المدخل والمخرج.

من مثلثات السرعة العلاقات بين السرعات المختلفة يمكن أن تكون ثابتة. مركبات c_1, c_2 في الاتجاه القطري وفي اتجاه الدوران (المحيط) مبنية على المثلثات كما يلي:

$$c_{r1} = c_1 \cdot \sin \alpha_1$$

$$c_{r2} = c_2 \cdot \sin \alpha_2$$

$$c_{u1} = c_1 \cdot \cos \alpha_1$$

$$c_{u2} = c_2 \cdot \cos \alpha_2$$

مركبات السرعة c_{u1}, c_{u2} تدعى سرعات الدوران و المركبات c_{r1}, c_{r2} تدعى سرعات التدفق.

تؤخذ قيمة $\beta_1 < 90^\circ$ للعنفات البطيئة وللسرعية $\beta_1 > 90^\circ$. وبشكل مشابه لكل من عنفة فرنسيس وكابلان خروج الجريان من الجزء الدوار يكون قطرياً. وهذا يتطابق مع $\alpha_2 = 90^\circ$ أو $c_{u2} = 0$ و $c_{r2} = c_2$

لأجل عنفة بلتون $\alpha_1 = 0$ ويكون التدفق باتجاه المحيط أي باتجاه السرعة u_1 . والنقاط 1 و 2 متساوية البعد عن محور الدوران عندئذ $u_1 = u_2$.
لأجل عنفة كابلان اتجاه الجريان محوري، وبعد خط التيار عن المحور لا يتغير وعندئذ يكون $u_1 = u_2$.

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{r_1}{r_2} \text{ لأجل عنفة فرنسيس مع جريان قطري}$$

حيث: r_1, r_2 البعد القطري للنقاط 1, 2. والشيء نفسه لكل من عنفة كابلان و فرنسيس يكون للتصميم العملي $c_{r1} = c_{r2}$.

1-5- معادلات الجريان الأساسية

إن المعادلات التي تحدد العلاقة بين بارامترات العنفة هي معادلة الاستمرار، معادلة الطاقة، معادلة العزوم.

- معادلة الاستمرار

تعطى معادلة الاستمرار البعدية بالشكل

$$Q = a_1 \cdot c_1 = a_2 \cdot c_2 \quad (13-1)$$

حيث: a, c تمثل السرعة ومساحة المقطع الجريان في النقاط 1, 2.

لأجل عنفة بلتون تستعمل المعادلة عند مخرج الفوهة لأنبوب الوصل بين الخزان والعنفة

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot c_p = n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot c_1 \quad (14-1)$$

حيث: D قطر الأنبوب، n عدد الفوهات، c_p سرعة جريان الماء في الأنبوب، d قطر النافورة، c_1 سرعة جريان الماء عبر النافورة. لأجل الجزء الدائر لعنفه فرنسيس، تستخدم المعادلة عند المدخل والمخرج لمحيط الدولاب ومخرج أنبوب السحب.

$$Q = K_1 \cdot \pi \cdot D_1 \cdot b_1 \cdot c_{r1} = K_2 \cdot \pi \cdot D_2 \cdot b_2 \cdot c_{r2} = a_d \cdot c_d$$

حيث: D_1, D_2, b_1, b_2 أقطار وعرض الجزء الدائر عند المخرج والمدخل على التوالي.

c_{r1}, c_{r2} سرعات الجريان عند المخرج والمدخل وعادة $c_{r1} = c_{r2}$. معاملات تصحيح نتيجة عدم تساوي ثخانة الشفرة.

a_d, c_d سرعة الجريان ومساحة المقطع عند مخرج أنبوب السحب.

وتحدد الطاقة الحركية المفقودة عند الخروج من أنبوب السحب بالعلاقة $\frac{c_d^2}{2 \cdot g}$

لأجل عنفة كابلان تؤخذ المعادلة للجريان عند مساحة مقطع الحلقة لمدخل الجزء الدائر.

$$Q = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_h^2) \cdot c_{r1} = a_d \cdot c_d \quad (15-1)$$

حيث: D_1, D_h قطر المحور والقطر عند مدخل الشفرة

- معادلة الطاقة (معادلة برنولي)

معادلة الطاقة بين مدخل ومخرج الدولاب الدائر تعطى بالشكل

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{c_{r1}^2}{2 \cdot g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{c_{r2}^2}{2 \cdot g} + z_2 + \frac{u_1^2}{2 \cdot g} - \frac{u_2^2}{2 \cdot g} + h_l \quad (16-1)$$

وتدعى بمعادلة برنولي.

حيث: p_2, p_1 الضغط عند المدخل والمخرج

γ الوزن النوعي، z_2, z_1 الارتفاع الستاتيكي عند المدخل والمخرج عادة $(z_1 - z_2)$ يهمل

h_l تمثل ضياعات الاحتكاك على الشفرة

أولاً: السرعات النسبية تستعمل في نفس المكان مع السرعات المطلقة.

ثانياً: الطاقة التي تحدد الارتفاع النابذي $\frac{u_2^2 - u_1^2}{2 \cdot g}$ تضاف لتصحيح الدوران.

تصبح المعادلة بالشكل

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{c_{r2}^2 - c_{r1}^2}{2 \cdot g} + \frac{u_1^2 - u_2^2}{2 \cdot g} + h_l$$

وبالتالي يمكن أن نكتب الصيغة التالية للعنفات ذات الضغط العالي، عملياً عنفة فرنسيس:

$$h = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2 \cdot g} = \frac{c_{r2}^2 - c_{r1}^2}{2 \cdot g} + \frac{u_1^2 - u_2^2}{2 \cdot g} + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2 \cdot g} + h_l$$

لأجل عنفة كابلان يوجد صيغة مشابهة من أجل أي خط تيار حيث $u_1 = u_2$ تصبح المعادلة من الشكل

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{c_{r2}^2 - c_{r1}^2}{2 \cdot g} + h_l \quad (17-1)$$

وبمقارنة المعادلتين يتضح أنه عند الضغط العالي لعنفة كابلان سيكون نسبياً أقل من عنفة فرنسيس.

لأجل عنفة بلتون فرق الضغط يساوي الصفر فتصبح المعادلة بالشكل

$$\text{أو} \quad \frac{c_{r2}^2}{2 \cdot g} = \frac{c_{r1}^2}{2 \cdot g} + h_l$$

$$c_{r2} = K \cdot c_{r1}$$

حيث: K معامل تصحيح لضياعات الاحتكاك على الشفرة وتحدد قيمته في

المجال (0.9-0.95).

يستفاد من هذه المعادلة في مثلثات السرعة عند الدخول والخروج. ويمكن أن تكون للضغط العالي والمعادلة المشابهة لا تكتب لعنفة فرنسيس.

- معادلة قوة الدفع

تعرف بمعادلة أويلر للعنفة، عزم الدوران يساوي معدل تغير انحراف القوة الدفعية للسائل، لكن العمل المفيد يساوي جداء عزم الدوران بزاوية الدوران أو العمل المفيد خلال ثانية يساوي جداء عزم الدوران بالسرعة الزاوية. إذا كان بالإمكان حساب العمل المفيد الناتج عن جريان الماء عبر العنفة يمكن أن يكون شكل العلاقة كالتالي:

$$\text{العمل المفيد في الثانية} = \frac{\gamma \cdot Q}{g} (c_{u1} \cdot r_1 - c_{u2} \cdot r_2) \cdot \omega$$

$$\text{أو العمل المفيد بالنسبة لواحد كيلو غرام} = \frac{1}{g} (c_{u1} \cdot u_1 - c_{u2} \cdot u_2)$$

حيث: ω السرعة الزاوية لكن $\omega \cdot r_2 = u_2, \omega \cdot r_1 = u_1$

r_2, r_1 نصف القطر عند المدخل والمخرج

$$= \frac{\gamma \cdot Q}{g} \text{ كتلة الماء المتدفق خلال ثانية}$$

$$= \frac{\gamma \cdot Q}{g} c_{u1} \text{ قوة الدفع الناتجة عن الانحراف الزاوي لجريان الماء خلال ثانية}$$

$$= \frac{\gamma \cdot Q}{g} c_{u1} \cdot r_1 \text{ قوة الدفع الآنية (عزم كمية الحركة)}$$

الشيء نفسه بالنسبة لقوة الدفع عند المخرج

$$= \frac{w \cdot Q}{g} c_{u2} \text{ قوة الدفع عند خروج الماء بانحراف زاوي}$$

$$= \frac{w \cdot Q}{g} c_{u2} \cdot r_2 \text{ قوة الدفع الآنية (عزم كمية الحركة)}$$

معدل تغير قوة الدفع الزاوية تساوي التغير في قوة الدفع الآنية خلال ثانية تساوي

$$= \frac{\gamma \cdot Q}{g} (c_{u1} \cdot r_1 - c_{u2} \cdot r_2) \text{ عزم الدوران}$$

$$\text{تصبح العلاقة} = \frac{\gamma \cdot Q}{g} (c_{u1} \cdot u_1 - c_{u2} \cdot u_2) \text{ العمل المفيد خلال ثانية}$$

هذه المعادلة هي المعادلة العامة للعنفة، لها الشكل نفسه لعنفات فرنسيس وكابلان، بينما عنفة بلتون يكون

$$u_1 = u_2, c_{r1} = c_1 - u_1$$

$$c_{r2} = K \cdot c_{r1}, c_1 = c_{u1}$$

$$c_{u2} = u_2 - c_{r2} \cdot \cos \beta_2$$

يصيح العمل

$$\text{العمل المفيد لوحد كيلو غرام} = \frac{(c_1 - u_1) \cdot (1 + K \cdot \cos \beta_2) \cdot u_1}{g}$$

$$\frac{d}{du_1} \frac{(c_1 - u_1) \cdot (1 + K \cdot \cos \beta_2) \cdot u_1}{g} = 0$$

عند المدخل

حيث: d العمل المفيد لوحد كيلو غرام

هذا الاشتقاق تم بافتراض أن معامل الاحتكاك له قيمة ثابتة.

عملياً: المؤشرات التجريبية لأجل الخرج والمردود الأعظمي

$$u_1 = (0.46 - 0.47) \cdot c_1$$

$$c_1 = K_{v1} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad \text{و} \quad u_1 = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{60} \quad \text{هذا يفترض عند التصميم}$$

من أجل القيم المعلومة لارتفاع ولعدد دورات المولد ولقطر الدولاب تكون ثابتة أكبر أو أقل. K_{v1} معامل التدفق، K_{u1} تدعى معدل السرعة وقيمتها يمكن أن تكون مختلفة جداً في عنفات رد الفعل مثل عنفات فرنسيس وكابلان. من جهة أخرى إضافة لبارامترات العنفة يحدد معدل التدفق حسب العلاقة:

$$K_{v1} = \frac{c_{r1}}{\sqrt{2 \cdot g \cdot h}} \quad (18-1)$$

معدل التدفق يؤدي لزيادة السرعة النوعية التي تزيد درجة رد الفعل. العلاقة بين

بارامترات العنفة والسرعة النوعية لعنفات رد الفعل تعطى بالشكل:

$$N = \frac{60 \cdot u_1}{\pi \cdot D_1} = \frac{60 \cdot K_{u1} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}}{\pi \cdot D_1} \quad \text{و} \quad N_s = \frac{N \cdot \sqrt{P}}{h^{5/4}} \quad (19-1)$$

$$P = \eta_o \cdot \frac{w \cdot Q \cdot h}{75} = \eta_o \cdot \frac{w \cdot h}{75} \cdot K_1 \cdot \pi \cdot D_1 \cdot b_1 \cdot V_{rlc} \quad \text{ومنه}$$

$$c_{r1} = K_{v1} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad \text{و} \quad \frac{b_1}{D_1} = K_{b1} \quad \text{إذا كانت}$$

$$P = \eta_o \cdot \frac{\gamma \cdot h}{75} \cdot K_1 \cdot \pi \cdot D_1^2 \cdot K_{b1} \cdot K_{v1} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad \text{عندئذ}$$

بالتعويض

$$N_s = \frac{60 \cdot K_{u1} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}}{\pi \cdot D_1} \cdot \frac{\sqrt{\eta_o \cdot \frac{\gamma \cdot h}{75} \cdot K_1 \cdot \pi \cdot D_1^2 \cdot K_{b1} \cdot K_{v1} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}}}{h^{5/4}}$$

$$N_s = 1178 \cdot K_{u1} \cdot \sqrt{\eta_o \cdot K \cdot K_{b1} \cdot K_{v1}} \quad \text{أو}$$

المعادلة السابقة تبين زيادة السرعة النوعية حيث تزداد سرعة العنفات، وتحمل كمية مياه أكبر وتصبح أعرض (أوسع). نستنتج منها المعادلة المشابهة التي تصلح لعنفه بلتون، الشكل النهائي لها يكون:

$$N_s = 579 \cdot \frac{K_{u1}}{m} \cdot \sqrt{K_{v1} \cdot \eta_o} \quad (20-1)$$

حيث: $m = \frac{D}{d}$ معدل النفط من النافورة.

رأينا سابقاً أن السرعة النوعية تتعلق بشكل وبارامترات العنفة. المعادلة السابقة تبين هذه الحالة. في حالة الجزء الدائر السريع لعنفة فرنسيس مع سرعة نوعية أعظمية جميع المعاملات (K_{u1}, K_1, K_{vr}) تكون مطابقة للقيم الأعظمية والنسبة $m = \frac{D}{d}$ ستكون أكبر، وسرعة التدفق c_r تكون أكبر أيضاً، لذلك ستكون زوايا الشفرة أكبر وقيمة السرعة المحيطية u_1 أكبر. ولهذه الأسباب فإن شكل العنفة سيتغير مع السرعة النوعية. يبين الجدول التالي قيم المعاملات للجزء الدوار.

الدائر البطيء	الدائر المتوسط	الدائر السريع
$N_s = 60 - 120$	$N_s = 120 - 180$	$N_s = 180 - 400$
$\alpha_1 = 15^\circ - 25^\circ$	$\alpha_1 = 25^\circ - 32^\circ$	$\alpha_1 = 32^\circ - 40^\circ$
$\beta_1 = 60^\circ - 80^\circ$	$\beta_1 = 90^\circ$	$\beta_1 = 120^\circ - 135^\circ$

$$K_{u1} = 0.72 - 0.76$$

$$K_{u1} = 0.68 - 0.72$$

$$K_{u1} = 0.62 - 0.68$$

$$K_{b1} = \frac{1}{2}$$

$$K_{b1} = \frac{1}{8} - \frac{1}{4}$$

$$K_{b1} = \frac{1}{25} - \frac{1}{30}$$

6-1 أنابيب السحب

تكون أنابيب السحب عادة مخروطية مع مقطع دائري وتزايد تدريجي للمقطع. يتغير الشكل من دائري عند مقطع الدائر إلى شكل مستطيل عند مقطع الخروج. أنابيب السحب لعنفة فرنسيس وكابلان تحقق عملاً للحالتين:

1- الوصول إلى السرعة المطلوبة عند مخرج الدائر، مع انخفاض ضياعات الخروج.

2- العنفة جهاز يعمل عند ارتفاعات عالية بدون ضياعات فرق المنسوب.

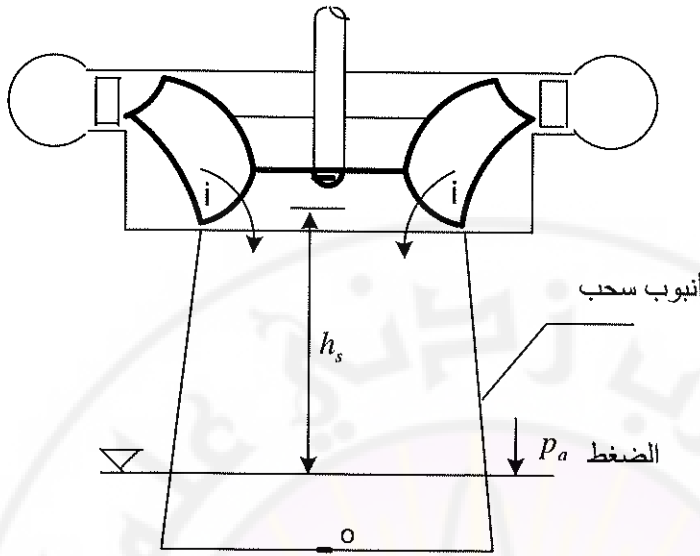
الشكل (9-1) يبين مخطط أنبوب السحب للعنفة ومعادلة الطاقة بين المقطعين $i-o$

$$\frac{p_i}{\gamma} = -h_s - \frac{V_i^2 - V_o^2}{2 \cdot g} + h_{i-o}, \quad \frac{p_i}{\gamma} + \frac{V_i^2}{2 \cdot g} + h_s = \frac{V_o^2}{2 \cdot g} + h_{i-o}$$

حيث h_{i-o} الضياعات الرئيسية بين المقطعين $i-o$

h_s ارتفاع السحب، p_i الضغط في المقطع i

V_i, V_o سرعة الجريان في المقطعين $i-o$



الشكل (9-1) أنبوب السحب للعنفة

يحدد مردود أنبوب السحب بالعلاقة:

$$\eta_d = \frac{\frac{V_i^2 - V_o^2}{2g} - h_{i-o}}{\frac{V_i^o}{2g}}$$

$$\frac{P_i}{\gamma} = -h_s - \eta_d \cdot \frac{V_i^2}{2 \cdot g}$$

ومنه نجد

مردود أنبوب السحب عادة يكون في المجال (85-90)%.

P_i الضغط عند مخرج الدائر، الذي يزداد في العنفات عالية الضغط بشكل كبير وقيمته سالبة. وتتعلق قيمة الضغط السالب الأعظمي بمميزات التكهف للجزء الدوار. عادة يكون مردود أنبوب السحب مؤشراً على المردود العالي للدوار. يجري الماء من الدائر إلى داخل أنبوب السحب على نمط دوامة، تنتج عنها ضياعات بسبب الجريان

الدوامي (تظهر الضياعات أينما وجدت الدوامات). ففي حالة عنفة كابلان مردود أنبوب السحب والمردود العام يكون أفضل.

أنبوب السحب المخروطي سهل التصميم لكن يمكن استعماله في عدة حالات فقط. لأن فعالية استرداد السرعة الأساسية، في مقطع الخروج تحتاج لوقت. من أجل جريان دوامي حر، زاوية التوسع التدريجي للأنبوب تقع في المجال (4-8) درجات. عندئذ يكون طول الأنبوب مناسباً.

الزيادة في قيمة h_s أكبر من الحدود الممكنة (التجهيزات جيدة)، يؤدي لزيادة عمق الحفر في نهاية القناة. مما يسبب عدم استقرار عند استعمال الدوار ذي السرعة المتوسطة والسريعة، لأن سرعة الخروج من الدوار تكون أعلى من جهة وتكون قيمة h_s محددة حسب شروط التكيف من جهة أخرى. لهذا السبب وفي جميع الحالات استعمال الشكل المخروطي لأنبوب السحب يكون أفضل.

1-7- التكيف

ظاهرة التكيف من أكبر المشاكل في العنفات المائية وهي ظاهرة فيزيائية واضحة في جريان السائل، حيث تسيطر ضغوط قريبة من ضغط التبخر. عندما ينخفض الضغط إلى ضغط التبخر، يبدأ الماء بالتبخر وفي الوقت نفسه تتبدد الغازات وتتطلق إلى الوسط المحيط حيث الضغط أقل. يدعى تكيفاً في الجريان، عندما الفقاعات المتشكلة في الجريان تحوي بداخلها الغازات والأبخرة. ومع استمرار تشكل الفقاعات تصل إلى السطوح الصلبة مع تزايد في الضغط حتى قيمة كافية تؤدي لانفجارها الذي يسبب تآكل السطح. يعتبر التكيف عاملاً مهماً في تصميم العنفات الهيدروليكية، عندما تزداد سرعة الخروج C_2 فإن الضغط p_2 يتناقص وعندما تنخفض قيمة الضغط إلى قيمة أقل من ضغط التبخر تتشكل ظاهرة التكيف. يعطى بارامتر توما في حدود السرعة النوعية وللنفات ذات السرعات العالية تكون قيمته الحرجة عالية $\eta_h = \frac{NPSH}{H}$.

يمكن حماية العنفات من ظاهرة التكيف أثناء التصميم بالأخذ بعين الاعتبار ما يلي:

- 1- دقة تصميم خطوط التيار لممرات الجريان في القرص الدوار وأنبوب السحب
- 2- المحافظة على ضغط جوي عند مخرج القرص الدوار لمنع الوصول إلى ضغط التبخر.
- 3- بعض المعادن مقاومة لظاهرة التآكل



مسائل محلولة

المسألة الأولى:

يقاد مولد بواسطة دولاب بيلتون بمعدل تفريغ [l/s] 145 وضغط
H=220[m] سرعته u=14[m/s] وزاوية خروج $\alpha_2 = 20^\circ$ أوجد الاستطاعة
الناتجة.

$$l = c_{w1} \cdot u_1 - c_{w2} \cdot u_2 \quad \text{الحل: من معادلة أويلر}$$

$$c_{w1} = c_1, H = \frac{c_1^2}{2g} \quad \text{إن إشارة } c_{w2} \text{ سالبة لعنفه بيلتون و}$$

$$l = c_{w1} \cdot u_1 + c_{w2} \cdot u_2$$

$$c_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 220} = 65.7 [m/s]$$

$$V_1 = c_1 - u_1 = 65.7 - 14 = 51.7 [m/s]$$

$$V_1 = V_2 \text{ الاحتكاك } V_1 = V_2$$

$$u_2 + c_{w3} = V_2 \cos \beta_2, c_{w2} = V_2 \cos \beta_2 - u_2$$

$$c_{w2} = 51.7 \cos 20 - 14 = 34.58 [m/s]$$

$$l = c_{w1} \cdot u_1 + c_{w2} \cdot u_2$$

$$l = (65.7 \cdot 14) + (34.58 \cdot 14) = 1403.97 [N.m] \quad \text{الاستطاعة P:}$$

$$P = \frac{l \cdot m}{1000} = \frac{1403.97 \cdot 145}{1000} = 203.57 [kW]$$

المسألة الثانية:

عنفه كابلان استطاعتها P=9000[kW] عند ضغط H=5.5[m] بفرض أن
معدل السرعة 2.08 ومعدل التدفق 0.68 والمردود الميكانيكي 0.85 وقطر المحور
يساوي 1/3 قطر الدوار. المطلوب أوجد قطر الدوار وسرعته وعدد الدورات.

الحل:

إيجاد السرعات

$$u_1 = 2.08 \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

$$u_1 = 2.08 \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 5.5} = 21.61 [m/s]$$

$$c_{r1} = 0.68\sqrt{2.g.H}$$

$$c_{r1} = 0.68\sqrt{2*9.81*5.5} = 7.06[m/s]$$

$$Q = \frac{P}{g.H.\eta_m}$$

الغزارة:

$$Q = \frac{9000}{9.81*5.5*0.85} = 196.24[m^3/s]$$

$$Q = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)c_{r1}$$

$$d = \frac{D}{3}$$

القطر :

$$D = \sqrt{\frac{196.24*4*9}{\pi*7.08*8}} = 6.31[m]$$

$$N_s = \frac{65\sqrt{P}}{H^{\frac{5}{4}}} = \frac{65\sqrt{9000}}{5.5^{\frac{5}{4}}} = 732[r.p.m] \text{ عدد الدورات :}$$



الفصل الثاني

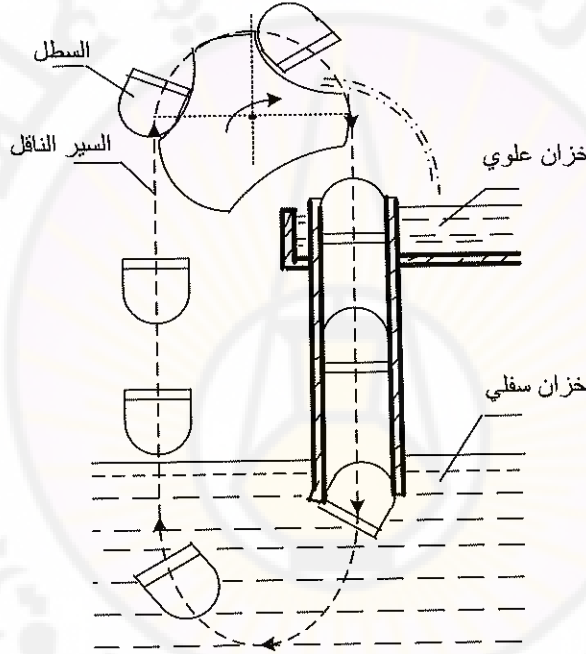
المضخات الهيدروليكية



المضخات الهيدروليكية

1-2 لمحة تاريخية

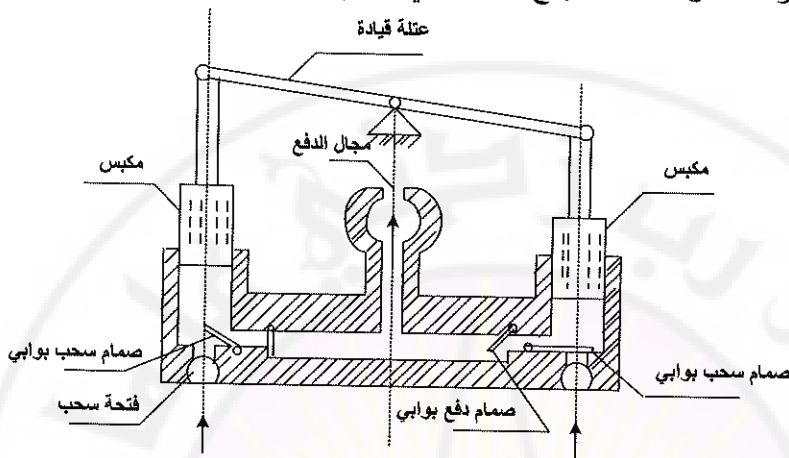
كانت المشكلة الأساسية منذ القدم هي كيفية نقل المياه للشرب أو للري. وقد تم نقل الماء من المرتفعات إلى الأحياء السكنية من خلال السقوط الحر للماء. مثلاً طول خط النقل وصل إلى 90km في القرن الخامس. إن رفع المياه من مستوى منخفض إلى مرتفع غير ممكن، باستعمال السقوط الطبيعي، وإنما استخدمت تجهيزات خاصة تدعى حالياً ناقلات السوائل. الشكل (1-2) يبين أقدم هذه التجهيزات التي ظهرت في العام



الشكل (1-2) الوعاء السطلي المستمر

1700 وتدعى وعاء سطلي مستمر يرفع الماء من أعماق الآبار (حوالي 91.5m عمق بئر في القاهرة). أما التجهيزات الأخرى كانت عجالات مع سطول دائرية ترفع الماء إلى 3-4m بتدفق $10\text{m}^3/\text{h}$. منذ حوالي 1000 سنة بنيت سطول حلزونية، عرفت أيضاً بحلزون أرخميدس للجريان المستمر. هذه التجهيزات رفعت المياه إلى

ارتفاع 5-6m وكانت تستخدم للري. حالياً تستعمل السطول الحلزونية في رفع السوائل. ومنذ حوالي 200 سنة بنيت في الإسكندرية مضخة استخدمت للحريق الشكل (2-2) وكانت أول مضخة رفع مكبسية في العالم.

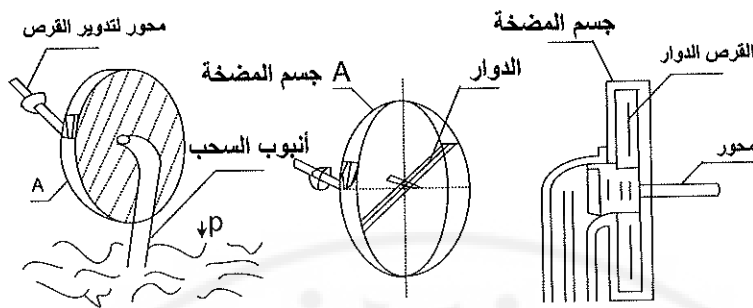


الشكل (2-2) مضخة حجمية في الاسكندرية العام 200 قبل الميلاد

تتألف من أسطوانتين عاملتين بالإضافة للعناصر الأساسية المستعملة في المضخات المكبسية الحالية. يعتمد مبدأ عملها على تغير حجم الأسطوانتين العاملتين، وهو يتغير حسب كمية السائل. أول مضخة ذات قرص دوار استعملت في مناجم الفحم في البرتغال في القرن الخامس. دوائر المضخة خشبي وموجود في متحف باريس عليه شفرات مجنحة ومواصفاته مشابهة للمضخات المصنعة حالياً.

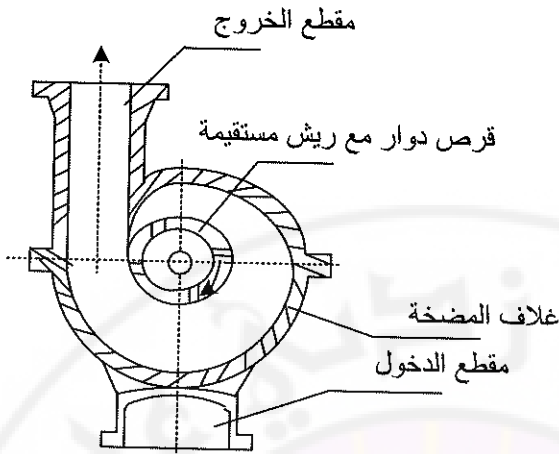
- في نهاية القرن الخامس عشر نفذ ليوناردو دافنشي نموذجاً لمضخة ذات قرص دوار. يعتمد مبدأ عملها على القوة الطاردة المركزية في قناة دورانية. ليس معروفاً أن هذه الفكرة قد نفذت أم لا. لكن عام 1588 بنى رامبلي مضخة ذات ريش وتعتبر أول مضخة دورانية.

- في العام 1687 دينيس بابين بنى نموذج مضخة ذات قرص دوار طارد مركزي يستعمل القوة الطاردة المركزية للماء الدائر في حجرة مغلقة الشكل (2-3).

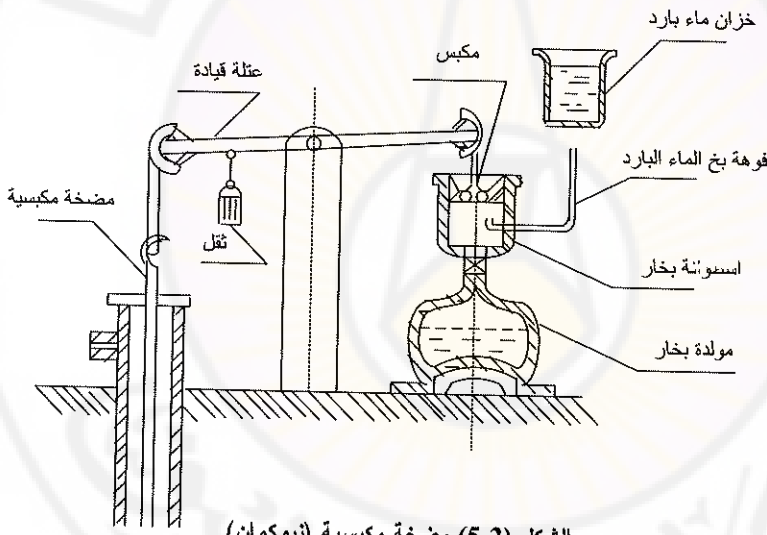


الشكل (2-3) مضخة طاردة مركزية
(Denis Papina 1689)

- العام 1705 حسن بابين المضخة من خلال استعمال قرص دوار متعدد الشفرات الموزعة قطرياً، وتدور في غلاف حلزوني (لولبي).
- العام 1785 حصل سكيكس على براءة اختراع بأول مضخة دفعية من خلال تحسين المضخة الطاردة المركزية. في العام 1818 بدأ على التوالي إنتاج مضخات الطرد المركزي الشكل (2-4) شركة مضخات ماساشوتي. هذه المضخات تتكون من قرص دوار ذي صفيين من الريش القطرية.
- العام 1846 استعمل أندريه الريش المجنحة، وفي العام 1851 بنى أول مضخة طرد مركزي متعددة المراحل، بدون شفرات توجيه.
- العام 1875 استعمل رينولدز الموجهات من وإلى المركز في مضخات الطرد المركزي متعددة المراحل وهي تعتبر أفضل تصميم حتى الآن.
- القرن الثامن عشر ظهر نوع من الآلات الهيدروليكية يدعى مضخة ذات قرص دوار لكنها لا تستعمل محركات مرتفعة الدورات. وفي الوقت نفسه ظهر نوع المضخات الحجمية.
- العام 1805 اكتشف توماس المضخة المكبسية المقادة ببخار الماء الشكل (2-5).



الشكل (4-2) مضخة طاردة مركزية (ماساشوستي)



الشكل (5-2) مضخة مكبسية (نيوكممان) مع قيادة بخارية

يعتمد مبدأ العمل على فترة امتلاء الأسطوانة بالبخر، ثم بخ الماء البارد الذي يسبب تكاثف البخر، هبوط الضغط في الأسطوانة ونتيجة تأثير الضغط الجوي على المكبس ينشأ فرق ضغط على طرفيه سيكون كبيراً حسب قطر المكبس، يؤدي لنشوء قوة دفع كبيرة على المكبس. تستعمل ضغوط حرجة للبخر في الأسطوانة في تصاميم أخرى.

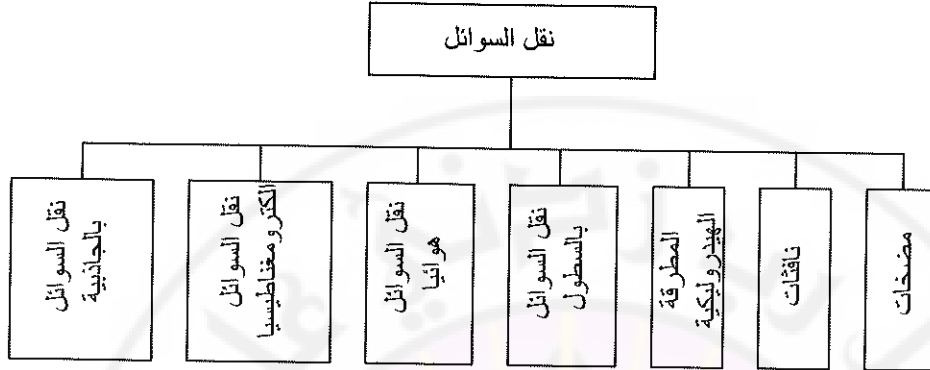
- العام 1860 استعملت أكبر مضخة من هذا النوع في شبكة مياه لندن. بارامتراتهما كانت $Q=1365 \text{ m}^3/\text{h}$ وارتفاع الضخ $H=52\text{m}$.

- العام 1840, 1850 اكتشف ورتينتون المضخة المكبسية بدون عمود مرفق مقادة بواسطة آلة بخارية مكبسية، تدعى Simplex , Duplex. فيما بعد استمر تطور بناء المضخات في جميع أنواعها ذات الأنظمة الأفقية والعمودية ومتعددة الأسطوانات. في نهاية القرن التاسع عشر استعملت المحركات الكهربائية لتدوير المضخات ذات القرص الدوار. وفي العام 1870 ظهرت شركة كلاين لإنتاج المضخات، وشركة سولزر السويدية التي أنتجت أنظمة لاختبار عمل المضخات. بالإضافة لشركات ألمانية أخرى مثل وايس ومونسك اللتين بدء العمل فيهما 1910-1915 من خلال إنتاج مضخات دفعية ومائلة. في العام 1910 أنتجت شركة يوفادا الألمانية مضخة ذات قرص دائر بمردود %82-84. حالياً وصلت استطاعة تدوير المضخة إلى 237 [MW] عند تدفق $80000 \text{ [m}^3/\text{h}]$ وضغط 5000 at [MPa] 500 وأعلى. تتميز المضخات ذات القرص الدائر والضغط العالي بالتدفق الكبير، بينما المضخات الحجمية ذات تدفق قليل.

يهتم علم الهيدروليك بجريانات السوائل في الأنابيب. وتستعمل المضخة غالباً لرفع الماء من مستوى منخفض إلى مستوى أعلى لتخزينه في خزانات. إن أكثر المقالات النظرية للمضخات الهيدروليكية مستنبطة من استعمال الماء كجسم تشغيل. لكن يمكن استعمال السوائل الأخرى. سنفترض أن جميع السوائل غير قابلة للانضغاط. هذا يعني أن كثافة السوائل ستعتبر ثابتة وليس لها علاقة بقيمة الضغط المطبق. وهذا الافتراض لا يسبب خطأ كبير في العمليات الحسابية. في السنوات الأخيرة بعد الحرب العالمية الثانية تطورت المضخات المستخدمة في محطات الطاقة وخاصة مضخات التغذية وفي المحطات النووية مضخات دورة المفاعل التي لها تصميم خاص.

2-2 نقل السوائل

المضخات تعرف بناقلات السوائل. وناقلات السوائل هي آلات أو تجهيزات



الجدول (1-2) مجالات نقل السوائل بالنسبة لطريقة العمل

عاملة تصلح لنقل السوائل ومزيج السوائل من مستوى منخفض إلى مستوى أعلى أو لضخها من مجال ذي ضغط منخفض إلى مجال ذي ضغط أعلى، أو للتغلب على مقاومات الجريان في الأنابيب. على الأغلب تصادف حالتين أو ثلاث حالات متشابهة. العمل اللازم لنقل السوائل يقدم من الخارج. يبين الجدول (1-2) مجال نقل السوائل بالنسبة لطريقة العمل.

1-2-2 نقل السوائل بالجاذبية

وهو ما يعرف أيضاً بالنقل بسطول لزيادة الطاقة الكامنة للسوائل. ويتبع لها:
 آ- سطول ذات أوعية مستمرة الشكل (1-2) وجودها حالياً محدود بوجود الحلول التصميمية الحديثة.

ب- سطول ذات أوعية حلقة مبنية على الشكل (2-6). حالياً استخدامها قليل.

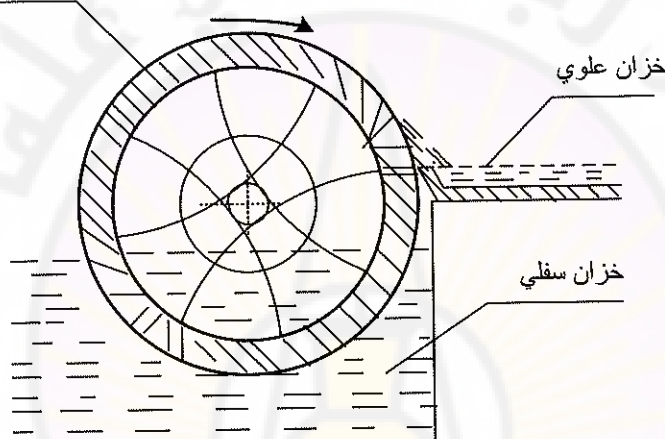
أ- سطول مسننة أكثر استخداماتها في عمليات الضخ في الأراضي المستصلحة والصرف الصحي، الميزة الرئيسية لها: كفاءة في ضخ السوائل، عملياً لا تحتاج لإحكام كبير ولسرعات دوران عالية لا تتجاوز 150 r.p.m، بساطة ووثوقية في التصميم، سهولة في الاستعمال وكلفة قليلة. وحيدة الدوار أو ثنائية وهو ينحرف بزاوية

أقل من (20-35) درجة، تدور في أفقية بيتونية مفتوحة أو معدنية. قطر الدوار يصل إلى 2900mm، والتدفق إلى 8000m³/h وأكثر، عند ارتفاع رفع حتى 6m. يمكن حساب تدفق السطل المسنني من العلاقة:

$$Q = 60\phi.s.n \frac{(D_z^2 - D_w^2)}{4} [m^3 / h] \quad (1-2)$$

حيث: $\phi = 0.25 - 0.40$ (تكون القيمة أكبر عند زاوية انحراف أقل وعدد عمليات أكبر) معامل حجمي يأخذ بالاعتبار امتلاء الفراغ بين عمليتين متجاورتين.

إطار مع أعصاب بين الريش

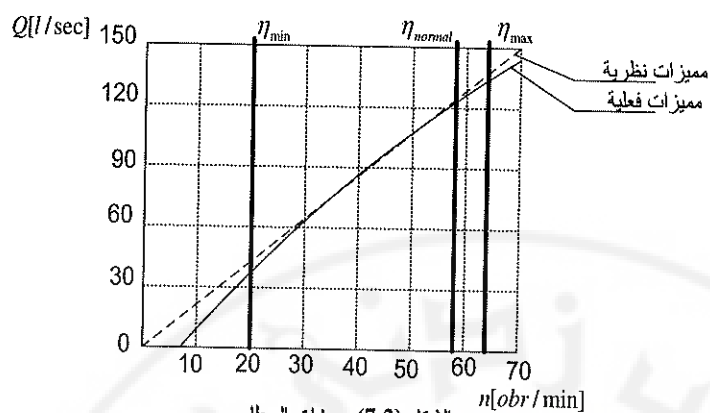


الشكل (6-2) إطار سطلي للرفع

عادة ($s = 0.8 - 1.0D_z$) شوط العملية الواحدة وتقاس بالمتر، $n[r.p.m]$ عدد دورات القرص الدوار، $D_z, D_w[m]$ القطر الداخلي والخارجي للقرص الدوار. تبين الأشكال (7-2) و (8-2) مميزات السطول المسننة. وهي كبيرة الأبعاد ومردود صغير حوالي 50-75%.

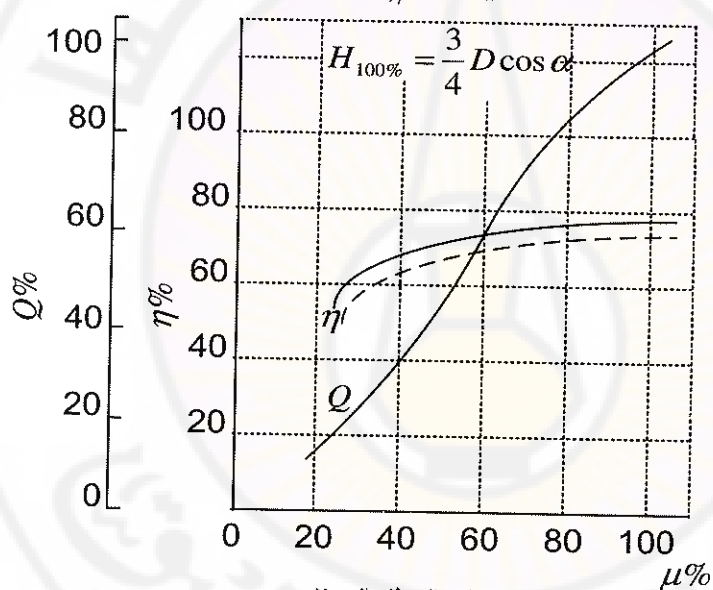
ث- السطول الدودية، مبينة على الشكل (9-2) نادراً ما تستعمل حالياً.

ج- حمل السوائل الكهرومغناطيسي عمل هذه النواقل يتعلق بإحداث ظاهرة كهرومغناطيسية في السوائل الناقلة للتيار الكهربائي (بشكل أساسي جريان في المعدن)، كما في الشكل (10-2).



الشكل (7-2) مميزات السطل
المسنني

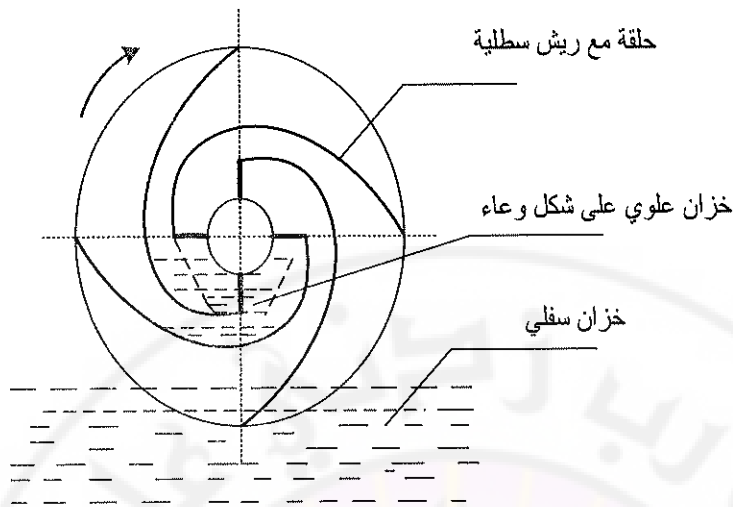
$$Q = f(n), \alpha = 35^\circ, \phi = 800 \text{ mm}$$



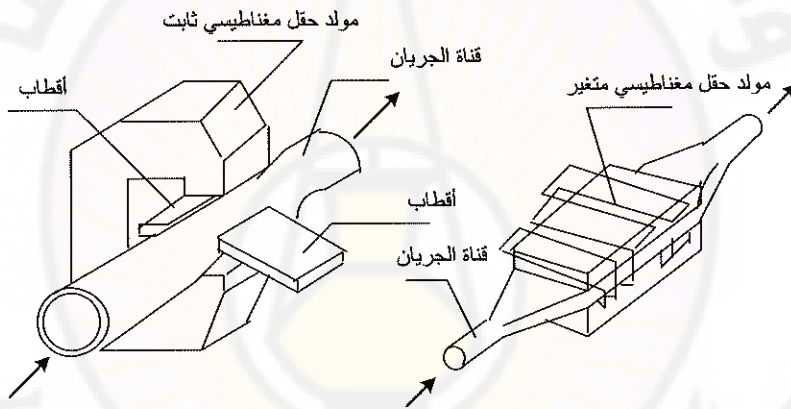
الشكل (8-2) مميزات السطل المسنني

$$Q = f(H), \eta = f(H)$$

مردود المضخة η —
مردود المسنن مع سير القيادة η ----



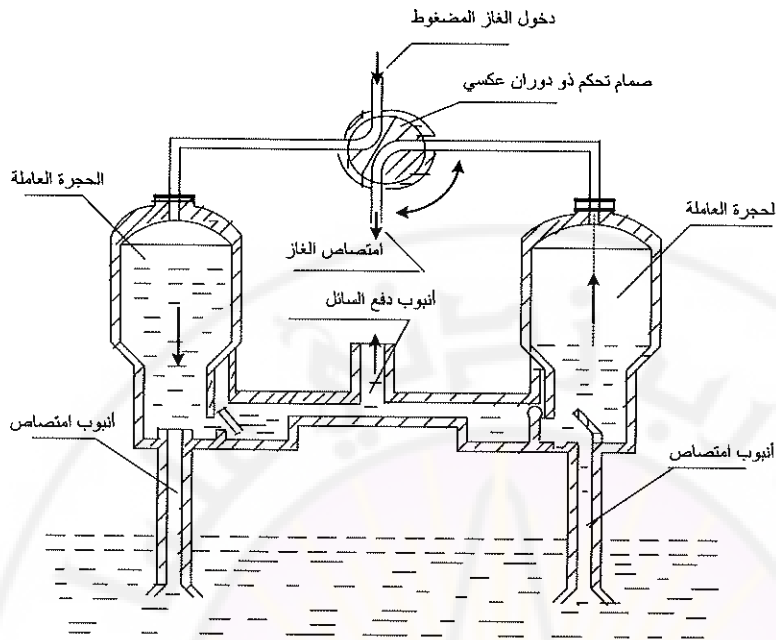
الشكل (9-2) سطل دووي



الشكل (10-2) نقل السوائل كهرومغناطيسيا

ح- نقل السوائل بالغاز

في هذه النواقل يدفع غاز متغير الضغط على السائل المضغوط على التوالي في كل حجرة الشكل (2-11). صمام التحكم 3، بحركة دورانية وإرجاعية توجه اتوماتيكيا الغاز المضغوط إلى كل حجرة. يستعمل نقل السوائل هوائياً بشكل رئيسي في المخابر لضخ السوائل قسرياً في الأنابيب التي تتآكل وتصدأ بسرعة.



الشكل (11-2) رفع السوائل باستخدام الغاز

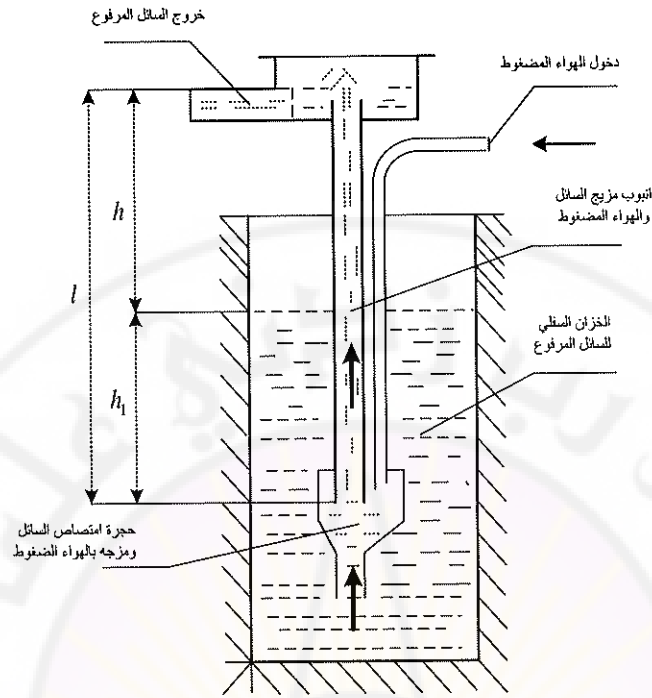
خ- نقل السوائل هوائياً

مبدأ عمل هذه الناقل يعتمد على فرق الكثافة للسوائل المنقولة 2 ومزجها مع الهواء 3. الشكل (12-2). تتعلق كمية الماء المضخوخ بكمية الهواء المستخدم وفي الوقت نفسه، عند قيم مختلفة ε مبينة في الشكل (13-2).

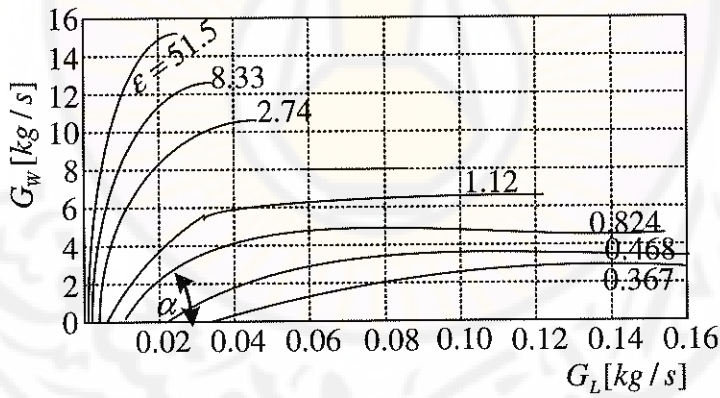
$$\varepsilon = \frac{h_1}{h} \quad (2-2)$$

h_1 , ارتفاع الرفع الهندسي، العمق المغمور

تدفق الرفع الأعظمي الهوائي يصل إلى $7500 \text{ m}^3 / \text{h}$ ، وارتفاع الرفع الأعظمي يصل إلى 600m. أفضل مردود يصل إلى 60%، ينصح أن تكون قيمة $\varepsilon = 1-3$. ناقل السوائل الهوائي، لا يستعمل على العموم، حالياً تستخدم جزئياً مضخات مع أقراص دوارة غاطسة. الناقل تستعمل أيضاً لرفع السوائل التي تحتاج لإحكام في الآبار صغيرة الأقطار والمتعرجة حيث لا يمكن استعمال المضخات الغاطسة. سهولة تصميم وسهولة الاستخدام والإقلاع.



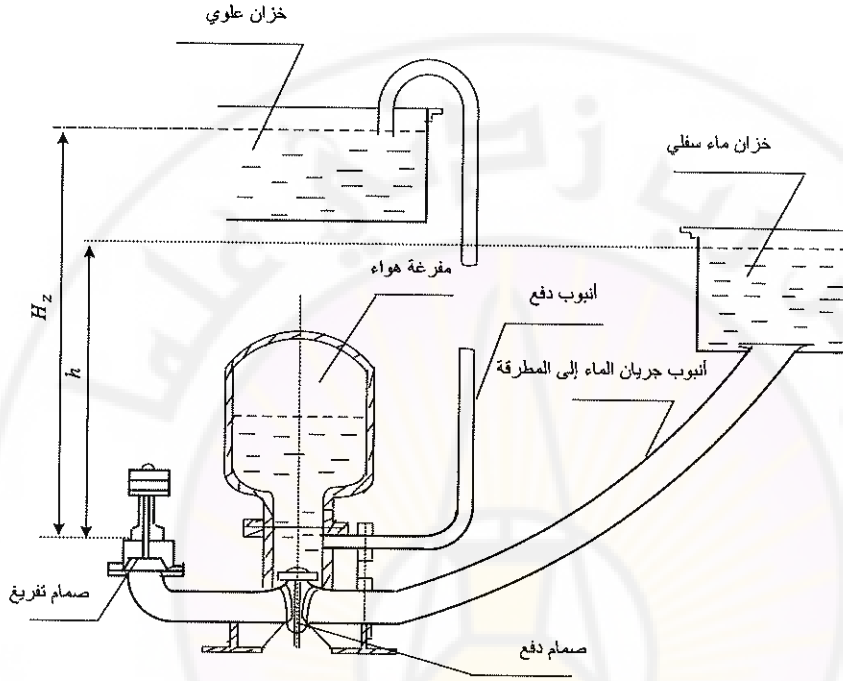
الشكل (12-2) نقل السوائل هوائيا



الشكل (13-2) مخطط علاقة كمية الماء المضخوخ بالنسبة لكمية الهواء المستخدمة عند قيم مختلفة $\epsilon = \frac{h_1}{h}$

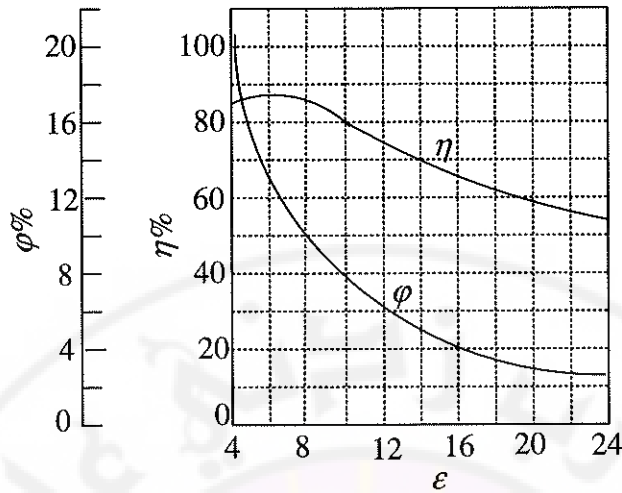
2-2-2 الأحواض الهيدروليكية

المطارق الهيدروليكية وتدعى أيضا مطارق رفع السوائل. مبدأ عملها يعتمد على إحداث ظاهرة المطرقة الهيدروليكية. الشكل (14-2).



الشكل (14-2) نقل السوائل بالمطرقة

يتدفق الماء من الخزان 1 إلى المجرى 2 ويخرج إلى الوسط الخارجي عبر الصمام المفتوح 3، وبعد إغلاقه ينشأ تغير مفاجئ للطاقة الحركية للماء نتيجة فتح الصمام 4 فيتدفق الماء إلى الخزان 5، فيدفع الماء عبر الوصلة 6 إلى الخزان 7. بعد إغلاق الصمام 4 يفتح الصمام 3 وتبدأ دورة جديدة. هذه الطريقة أوجدها الأخوان مونتغولفيير في 1797. استخدمت هذه الطريقة في تغذية المدن بالمياه حيث لا يوجد مضخات. التدفق $Q = 40 \text{ m}^3 / \text{h}$ ، وارتفاع $H_z = 300 \text{ m}$ ، عند عمق مغمور $h = 30 \text{ m}$. الشكل (15-2) يبين العلاقة بين المردود η و ϵ, ϕ .



الشكل (15-2) مخطط علاقة
المردود η ومعامل ϕ
للمطرقة الهيدروليكية بالنسبة لقيم ϵ

نسبة الرفع الكلي، كمجموع الرفع الهندسي H_z ومقاومات ضخ الجريان في الأنابيب $\sum h_r$ إلى العمق المغمور h يعطى بالشكل

$$\epsilon = \frac{H_z + \sum h_r}{h} \quad (3-2)$$

نسبة التدفق الحقيقي Q إلى شدة جريان الجسم العامل Q_p في الوصلة 2:

$$\phi = \frac{Q}{Q_p} \quad (4-2)$$

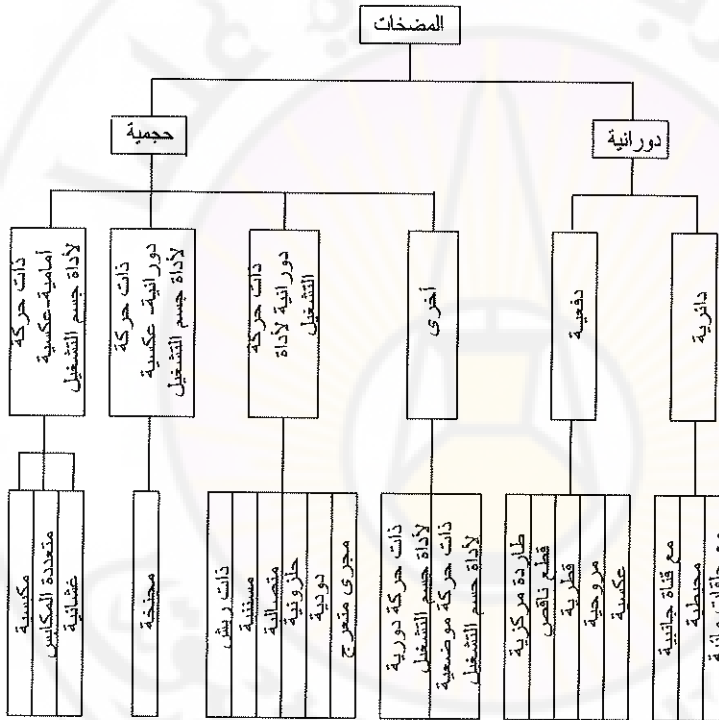
3-2-2 النافثات

مبدأ العمل يعتمد على إحداث فرق ضغط من خلال جريان السائل أو الغاز. تستعمل عموماً لضخ السوائل أو الغازات. في حالة دفع السوائل تدعى نافثات وفي حال سحب السوائل تدعى طاردة.

3-2 تصنيف المضخات

إن مضخات رفع السوائل هي آلات تستعمل لرفع السوائل (أو مزيج السوائل والأجسام الصلبة) من منسوب أدنى إلى منسوب أعلى، أو بسحب السوائل من خزان السحب ذي

الضغط المنخفض إلى خزان الضخ ذي الضغط الأعلى. في عملية الضخ تأخذ المضخة الطاقة الميكانيكية من محرك القيادة وتقوم بزيادة طاقة السائل المرفوع وحصول جريان للسائل مباشرة عبر الجزء العامل (المكبس، الدائر، الدوالب الدوار، ..). (المحركات المائية (المكابس، العنفات المائية) تحول طاقة السوائل إلى عمل ميكانيكي، وتدعى آلات هيدروليكية تأخذ الطاقة من الخارج. هناك مجموعة آلات مائية تعمل دورياً مثل المضخات الجدول (2-2) أو المحركات (العنفات) المائية وتدعى آلات مائية عكسية أو مجموعة عنفة-مضخة.



الجدول (2-2) الأنواع الرئيسية للمضخات

عمل المضخة يعتمد على فرق الضغط بين جهة السحب (مدخل المضخة) وجهة الضخ (مخرج المضخة). وحسب طريقة نشوء فرق الضغط تقسم إلى مضخات حجمية ودوارية ونافثة.

عمل المضخات الحجمية يعتمد على سحب كمية محددة من السائل من جهة السحب بتأثير حركة مناسبة (انزياح، دوران أو حركة مركبة) للجزء العامل (المكبس،) إلى جهة الضخ. شروط عمل المضخات الحجمية هي فصل جزء السحب عن الضخ دون أي تسرب. حركة الجزء العامل ودفع السائل مرتبطان مع بعضهما، إن تغير موضع الجزء العامل يسبب وفي الوقت نفسه تواضع مناسب لكتلة السائل. وفي حالة عدم حركة الجزء العامل لا يمكن للسائل أن يمر عبر المضخة. عمل مضخات الدورانية يعتمد على أن الجزء العامل في المضخة مرتبط مع محور، تؤدي زيادة قوة الدفع إلى تدوير السائل بداخله. هذه صفة مهمة تميز مضخات الطرد المركزي عن المضخات الحجمية الدورانية. وفي حالة توقف الجزء الدائر ينشأ جريان عكسي.

2-3-1 المضخات الحجمية

- الأنواع الرئيسية ومبدأ عملها

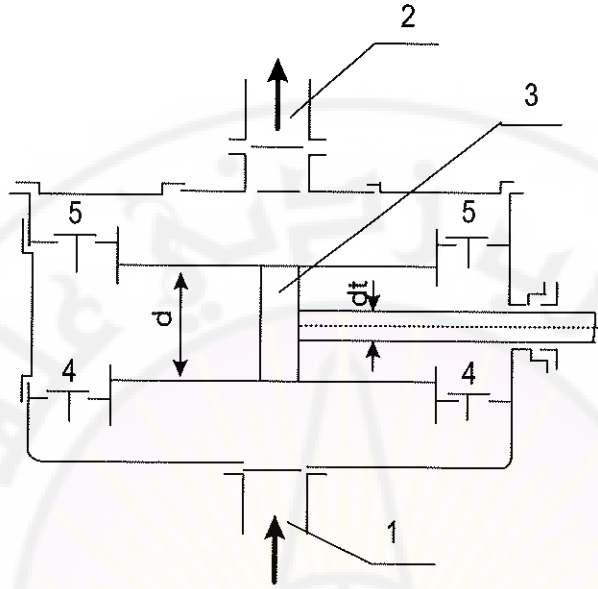
استنادا لحركة الجزء العامل تقسم المضخات الحجمية إلى:

- مضخات حجمية ذات حركة أمامية خلفية للجزء العامل (ذات غشاء)
- مضخات حجمية ذات حركة دورانية خلفية للجزء العامل على شكل مكبس مجنح.
- مضخات حجمية ذات حركة دورانية للجزء العامل على شكل مكبس قرص مسنن أو حلزون دائري. (مضخة دورانية).
- مضخات حجمية ذات حركة بدورة مغلقة للجزء العامل.
- مضخات حجمية ذات حركة محكمة للجزء العامل

1- مضخات حجمية ذات حركة أمامية خلفية للجزء العامل على شكل مكبس

- بناء على شكل إحكام الحجرة العاملة للمضخة تقسم هذه المضخات إلى:
- مضخات مكبسية مع حركة أمامية - خلفية للمكبس أو للمكابس ذي التواضع الأفقي أو الشاقولي. الشكل (2-16)

مضخات متعددة المكابس ذات حركة أمامية- خلفية للمكابس في الاتجاه القطري أو المحوري. مضخات ذات غشاء بحركة أمامية خلفية تضغط الغشاء.



الشكل (2-16) مضخة مكبسية ثنائية الاتجاه
1 وصلة امتصاص، 2 وصلة دفع،
3 مكبس، 4 صمام امتصاص، 5 صمام دفع

2- مضخات حجمية ذات حركة دورانية خلفية للجزء العامل على شكل مكابس متصلة.

غلاف الإحكام العامل لهذه المضخات هو مكابس متصلة ذات حركة ترددية أو أحادية تدعى بالمضخات المتصلة.

3- مضخات حجمية ذات حركة دورانية للجزء العامل على شكل مكبس أو حلقة مسننة أو حلزون دائري. (مضخة دورانية).

يمكن أن نميز الأنواع التالية من هذه المضخات:

- مضخات ذات ريشة واحدة أو عدة ريش

- مضخات مسننة تتوزع فيها الأسنان على القرص ومكان توضع الأسنان يحدد مكان السحب والضخ (حسب عدد الأسنان على القرص وطريقة توضعها وشكل الأسنان تقسم المضخات المسننة إلى أنواع كثيرة مثل مضخة ذات مسننات مستقيمة أو حلزونية أو داخلية).

مضخات متصالبة تتألف من قرص دائر واحد أو اثنين أو أكثر تعمل معاً

- مضخات حلزونية ولها ثلاثة أشكال: مضخات ذات قرص دائر واحد على شكل حلزون وحيد ذات خط متموج، مضخات ذات قرصين دائريين يعملان معاً، و مضخات ذات ثلاث أقراص دوارة تعمل معاً.

- مضخات دودية الإحكام الجزء العامل هو دودة مسننة

- مضخات لانهائية تتألف من حلزون متعدد يعمل داخل أسطوانة

4- مضخات حجمية ذات حركة بدورة مغلقة للجزء العامل.

يمكن أن نميز الأنواع التالية:

- مضخات حجمية أنبوبية تحوي اثنين أو ثلاثة محاور لها حركة دورانية مغلقة

تضغط بعد تمدد وصلة الأسطوانة فيتغير الحجم بدون سحب أو ضخ للسائل.

- المضخات المعلبة حيث المكبس على شكل علبة أو صفيحة يعمل بإحكام .

5- مضخات حجمية ذات حركة دورانية اهتزازية للجزء العامل

مثال هذه المضخات هو المضخة الحجمية ذات الترس، حيث يكون شكل بروفيل الجزء العامل يسبب امتصاص ودفع السائل.

2-3-2 المضخات الدورانية

- الأنواع الرئيسية و مبدأ عملها

بناء على طريقة تحول الطاقة في المضخات الدورانية تقسم إلى مضخات دفعية ومضخات ناشرة.

• المضخات الدفعية

يعتمد مبدأ عملها على أنها تعمل مع قرص دوار تتوضع عليه ريش يتدفق السائل من جهة السحب إلى جهة الضخ. انخفاض الضغط عند مدخل المضخة يؤدي لسحب السائل، والطاقة الميكانيكية الناتجة عن دوران القرص تسبب زيادة في قوة دفع السائل الذي يمر بداخلها. حسب شكل حقل الجريان نميز المضخات الدفعية:

مضخات الطرد المركزي - مضخات قطع ناقص - مضخات ذات قطر منحرف -
مضخات الدفع العمودي - المضخات العكسية.

1- مضخات الطرد المركزي

هي مضخات قطرية يجري السائل من القرص الدائر عبر الشفرات على محاذاة حافة المدخل أو تنحرف بالنسبة لمحور القرص. يخرج السائل من القرص مسببا قوة طرد مركزي على جزيئات السائل. مضخات الطرد المركزي تقسم إلى مضخات مع جريان قسري ومضخات مع جريان حر.

مضخات الجريان القسري عبر أفنية بين الريش يمكن أن تكون:

- مضخات متعددة المراحل ذات أقراص متصلة على التسلسل (إذا تجاوز ارتفاع الرفع (الضاغط) القيمة المحددة لمضخة وحيدة المرحلة، حيث التدفق وسرعة الدوران معلومين يتطلب ذلك وصل عدة أقراص وحيدة المرحلة على التسلسل وعلى محور واحد، عندها تدعى المضخة متعددة المراحل).
- مضخات متعددة المراحل ذات وصل متوازٍ للأقراص (زيادة التدفق في المضخات ذات البارامترات المحددة H, n يتطلب استعمال الوصل المتوازي للأقراص) غالباً تستعمل مضخات تغذية ثنائية التدفق من جهتي الأقراص المتصلة على التوازي.
- مضخات متعددة المراحل في المجموعات الدوارة حيث الأقراص متصلة على التوازي والتسلسل.

مضخات الجريان الطبيعي عبر الحجرة فراغ حر لها قرص مفتوح وشفرات قطرية في نهاية المحور بين القرص والغلاف. بنتيجة تأثير قوة الطرد المركزي الناتجة عن دوران الشفرات يضخ السائل إلى مآخذ القناة.

2- مضخات (اهليلجية) قطع ناقص

تتميز بالجريان المائل عبر القرص. تكون فيها الموجهات بدون شفرات والمجاري الحلزونية يمكن أن تكون أفقية أسطوانية. بناء مضخة وحيدة المرحلة مهم للجريان المحوري ، وثنائية المرحلة ذات وصل متوازٍ للأقراص (الأقراص مع تدفق ثنائي). قرص مضخة القطع الناقص يمكن أن يكون مغلقاً أو مفتوحاً عند القيم الكبيرة. تتميز شفرات القرص بالفراغات المتصالبة. عادة تستخدم مضخات القطع الناقص في الأنظمة الأفقية و للأنظمة الشاقولية تستخدم المضخات ذات التدفقات الكبيرة.

3- المضخات المائلة قطرياً

هي مضخات ذات جريان قطري- محوري مع قرص مثبت عليه عدة شفرات تتحرف بالنسبة لمحور القرص وشفرات توجيه متسامتة مع المحور مجمعة كلها في غلاف المضخة. المضخات المائلة قطرياً تبنى بشكل أساسي في أنظمة شاقولية وحيدة أو متعددة المراحل. يدخل الماء إلى القرص عبر قمع دخول مناسب الشكل. وفي حالة التدفق الكبير عبر أنبوب امتصاص. أقراص المضخات المائلة قطرياً تكون مغلقة أو مفتوحة عند قيم التدفق الكبيرة. وبهدف تنظيم التدفق يمكن استخدام شفرات ثابتة أو سهلة الحركة.

4- المضخات العمودية

تدعى مضخات جريان محوري عبر القرص من خلال شفرات القرص وشفرات موجهة إلى خارج القرص. شفرات القرص تكون ثابتة أو سهلة الحركة. في المضخات العمودية يتم تنظيم الدوران باستعمال شفرات موجهة قبل القرص وسهلة الحركة. المضخات العمودية وحيدة المرحلة وفي حالات خاصة ثنائية أو ثلاثية المراحل.

5- المضخات العكسية (آلات الماء العكسية)

هي آلات دورانية حيث تعمل في حالات معينة كعنفات مائية وفي حالات أخرى مضخة دورانية. حسب قيمة نسبة عمل العنفة إلى عمل المضخة تدعى عنفة- مضخة

إذا كانت النسبة أعلى من 0.5 أو مضخة- عنفة أقل من 0.5. الشكل المناسب للجزء الهيدروليكي حيث يجري السائل وفق مواصفات عمل المضخة أو في الاتجاه المعاكس يكون كعمل العنفة. حالياً تستعمل مضخة- عنفة. حسب قيمة بارامترات العمل يستخدم الجريان القطري كما في مضخة الطرد المركزي أو عنفة فرنسيس المتقاربة. وفي مضخة القطع الناقص (الإهليلجية) أو عنفة فرنسيس -تقارب سريع- وجريان محوري لمضخة محورية وجريان متعاكس الاتجاه عنفة كابلان. اتجاه جريان الماء عبر القرص يمكن أن ينعكس بسبب تغير توزيع شفرات القرص، أو تغير اتجاه دوران المحور. تتألف المضخة -العنفة التي لا يتغير فيها اتجاه الدوران من قرصين مستقلين (عنفة ومضخة) متوضعين على المحور نفسه مع شفرات توجيه الدوران نفسه كما هي الحال في المضخة التي تعمل مثل العنفة.

• المضخات الناشرة

يعتمد مبدأ العمل على تدوير السائل في حجرة القرص أو تجميعه على محيطه بشكل يتناسب مع العزم المؤثر على القرص من خلال دوران المحور. يعتمد استعمال المضخات الناشرة على القنوات الجانبية، والغلاف الخارجي، مع إحكام لمنع تسرب المياه.

2-4 خواص المضخات الحجمية والدورانية

1- المضخات الدورانية

حسنتها:

- 1- تدفق كبير مقارنة بحجم المضخة وخاصة في حالة الضاغط المتوسط.
- 2- رغم سرعة الدوران الكبيرة أبعاد المضخة صغيرة، ولا تحتاج لأمكنة كبيرة.
- 3- استقرار بارامترات العمل في شروط العمل المستقرة.
- 4- وصل مباشر مع المحرك القائد ودوران سريع مع خفض لسرعة الدوران.
- 5- وثوقية عالية بسبب العدد القليل للأجزاء المتحركة ومكونات الجسم المستخدمة.

6- فعالية جيدة وتجاوب سريع للعمل في شروط متغيرة.

سيئاتها:

- 1- عدم التحكم بأنبوب الامتصاص مما يؤدي لضرورة تعبئته قبل عملية السحب (باستثناء المضخات الدورانية الامتصاصية).
- 2- حساسية الأفراس الدوارة للأعطال الميكانيكية.
- 3- حساسيتها لاحتواء السائل المضخوخ على الغازات، مما يؤدي لتقطع الجريان.
- 4- صغر المردود مقارنة مع بعض المضخات الحجمية وخاصة للمضخات الدورانية الصغيرة.

2- المضخات الحجمية

حسنتها:

- 1- ضاغط مرتفع جداً
- 2- عدم تغير التدفق بتغير شروط العمل.
- 3- مردود نسبي عالٍ
- 4- فعالية امتصاص دون الحاجة لتعبئة أنبوب الامتصاص قبل السحب.
- 5- حساسية قليلة للغازات في السائل المضخوخ.

سيئاتها:

- 1- تدفق محدد
- 2- عدم استقرار بارامترات العمل للمضخات الأمامية- الخلفية.
- 3- وثوقية حركة قليلة
- 4- تأثير كبير لتسرب السائل على المردود
- 5- حساسية بعض الأنواع للأعطال الميكانيكية.



The background of the page features a large, faint watermark of the Damascus University logo. The logo is circular, with the Arabic text 'جامعة دمشق' (University of Damascus) at the top and 'Damascus University' at the bottom. In the center is a stylized sunburst or star symbol.

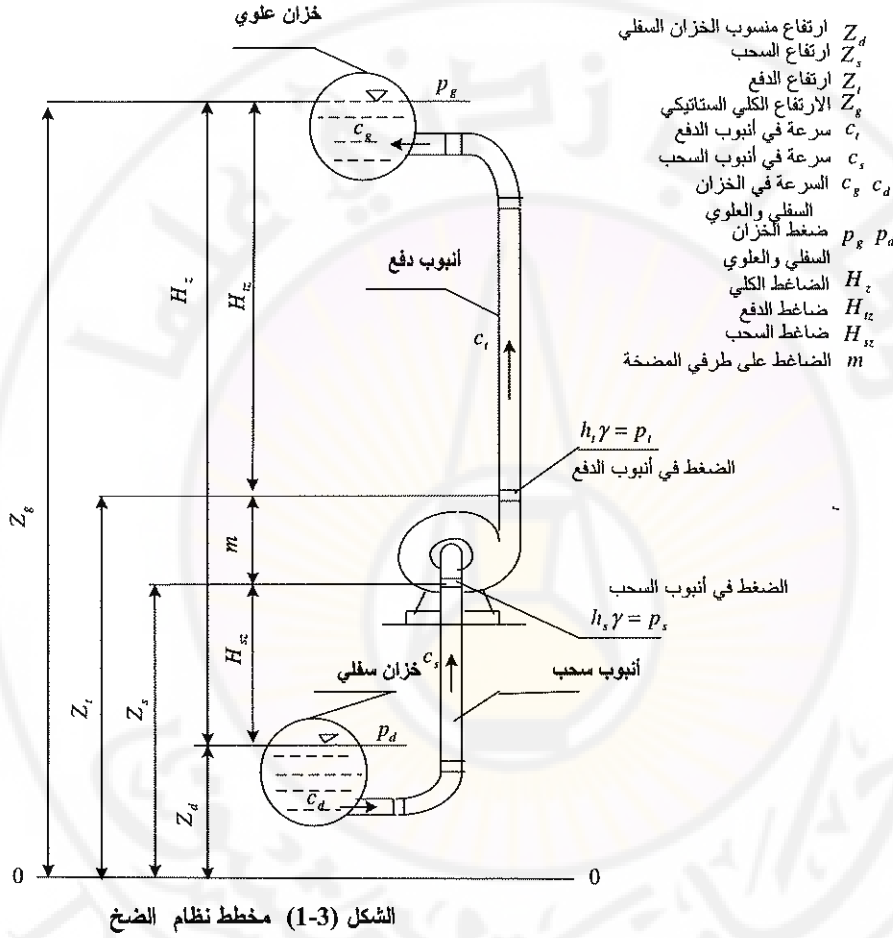
الفصل الثالث

نظام الضخ



3- نظام الضخ

تعمل المضخة مع أنابيب السحب والدفع وتوصيلات الأنابيب والأجهزة، التي تمثل جميعاً نظام الضخ. في هذا النظام المضخة هي آلة العمل، ومن هنا نحدد نوع المضخة للسحب أو للدفع. يبين الشكل (1-3) أبسط نظام ضخ الذي يتألف من



مضخة، خزان سفلي يسحب منه السائل 1، توصيلات أنابيب السحب 2 وتوصيلات أنابيب الدفع 3 وخزان علوي يضخ السائل إليه 4. بشكل عام نميز في نظام الضخ جهة السحب، التي يجري فيها السائل إلى المضخة وجهة الدفع التي يدفع عبرها السائل من المضخة.

يوجد حلول مختلفة كثيرة لأنظمة الضخ. نظام ضخ له جهة سحب أو جهة دفع،
وعندها نحدد الخط الرئيسي لسحب أو لدفع المضخة.

خزان السحب أو الدفع يمكن أن يكون مفتوحاً، والضغط المسيطر على سطح

كل منهما هو الضغط الجوي $p_d = p_a = p_g$.

p_d الضغط على سطح الخزان السفلي

p_a الضغط الجوي

p_g الضغط على سطح الخزان العلوي دون الأخذ بالاعتبار توضع الخزان.

أحيانا توضع المضخة أخفض من منسوب ماء الخزان السفلي، عندها نقول عمل المضخة في الطمي. وفي الحالة المعاكسة تدعى العمل الماص. تتعلق أنواع أنظمة الضخ ببارامترات النظام.

3-1 تصنيف أنظمة الضخ

نظام الضخ هو وصلة أنبوب السحب والمضخة ووصلة أنبوب الدفع

(الضخ). تصنف أنظمة الضخ حسب شروط عمل المضخة إلى:

ماص، دفع سيفوني، ماص-دفع، مغلق، و سيفوني.

1- نظام السحب (الضخ الماص) الشكل (a2-3)

الجزء العامل في المضخة (المكبس، القرص الدوار) يكون موجوداً فوق

سطح السائل المسحوب، يخرج السائل مباشرة من المضخة بشكل حر إلى خزان

مفتوح. في هذا النظام الضغط عند مدخل المضخة p_s أقل من الضغط الجوي p_a ،

والضغط عند المخرج p_t يساوي الضغط الجوي.

$$p_s < p_b \approx p_t \Rightarrow H_{sz} > 0 \Rightarrow H_{tz} = 0 \Rightarrow H_z = H_{sz} \quad (1-3)$$

حيث: H_{sz}, H_z, H_{tz} على التوالي الارتفاع الهندسي للضخ، الارتفاع الهندسي،

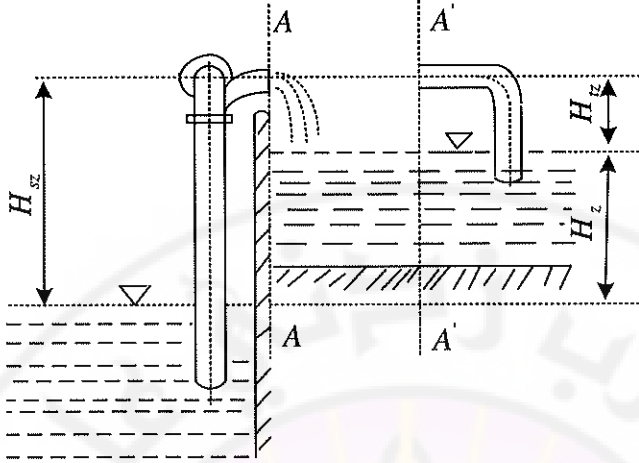
الارتفاع الهندسي للسحب.

أحيانا تستعمل أنظمة السيفون الشكل (a2-3). في هذه الحالة تحصل عملية

الامتصاص من جهة الدفع التي تقلل من ارتفاع الرفع للمضخة، مما يؤدي لزيادة

المردود مقارنة مع نظام الضخ الماص ذي الجريان الحر. عندها

$$p_s < p_b, \Rightarrow p_t < p_b \Rightarrow H_{sz} > 0 \Rightarrow H_{tz} < 0 \Rightarrow H_z = H_{sz} - H_{tz} \quad (2-3)$$



الشكل (2a-3) نظام ضخ ماص

2- نظام الدفع (الضخ الدفعي) الشكل (b2-3)

الجزء العامل في المضخة (المكبس، القرص الدوار) يكون موجوداً على مستوي أو تحت مستوي السائل المسحوب، ويطلب في هذا النظام حساب ارتفاع الدفع

$$p_s \approx p_b, \Rightarrow p_t > p_b \Rightarrow H_{sz} = 0 \Rightarrow H_{tz} > 0 \Rightarrow H_z = H_{sz} \Rightarrow p_t > p_b \quad (3-3)$$

3- نظام الضخ الدفعي - الماص الشكل (c2-3)

يتألف من كلا النظامين السابقين أعلاه وفي هذه الحالة النظام يحقق ما يلي:

$$p_s < p_b, \Rightarrow p_t > p_b \Rightarrow H_{sz} > 0 \Rightarrow H_{tz} > 0 \Rightarrow H_z = H_{sz} + H_{tz} \quad (4-3)$$

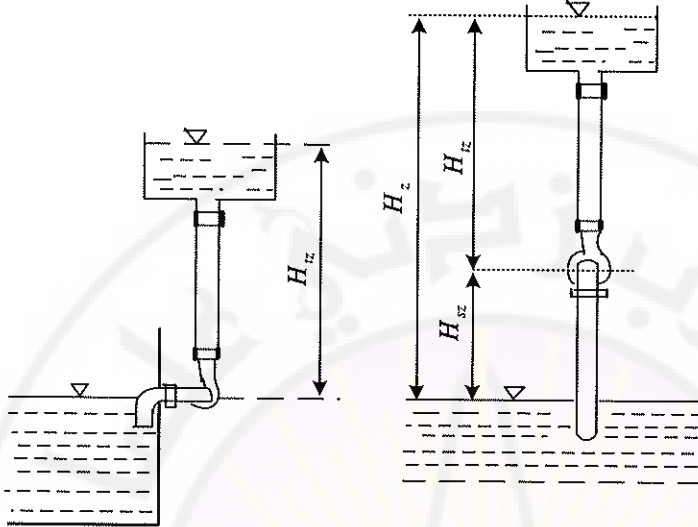
4- نظام الضخ المغلق الشكل (d2-3)

في هذا النظام الارتفاع الهندسي $H_z = 0$ حيث المضخة يجب أن تتغلب على مقاومات الجريان. النظام المغلق نجده عادة في دورات المفاعلات النووية.

5- نظام الضخ السيفون الشكل (e2-3)

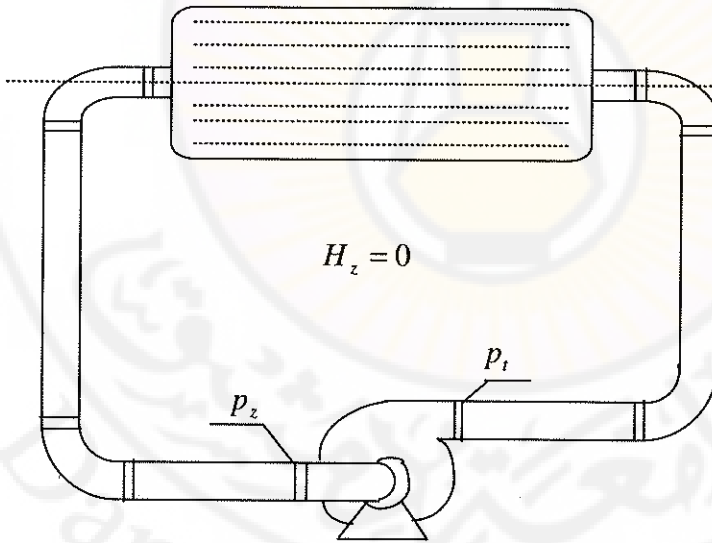
المضخة تعمل في الطمي حيث ارتفاع السحب $H_{sz} < 0$ ويكون الارتفاع الهندسي الكلي للرفع (الضاغط) $H_z = H_{tz} + H_{sz}$. هذا النظام نادراً ما يستعمل.

في أنظمة الضخ يستعمل عادة خزان مغلق للسحب وللضخ ذي ضغوط مختلفة عن الضغط الجوي، مع الأخذ بالاعتبار الميزان الطاقي

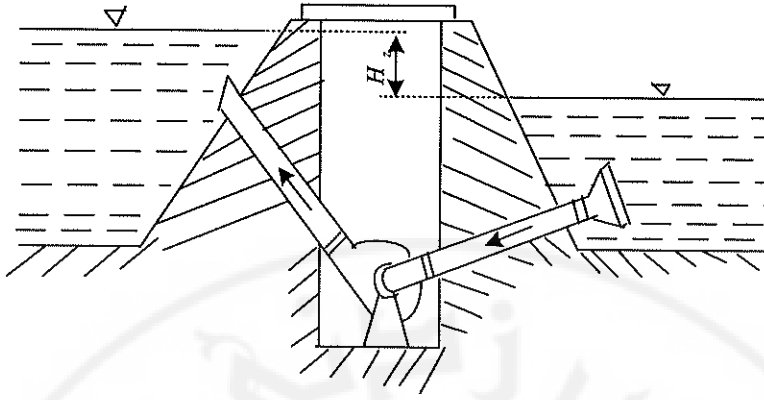


الشكل (2b-3) نظام ضخ دفعي

الشكل (2c-3) نظام ضخ دفعي-مصاص



الشكل (2d-3) نظام ضخ مغلق



الشكل (2e-3) نظام ضخ سيفوني

2-3 بارامترات نظام الضخ والميزان الطاقى

أ- بارامترات نظام الضخ

حسب الشكل (1-3) ارتفاع السحب الهندسي H_{sz} لنظام الضخ هو فرق منسوب الماء في الخزان السفلي z_z ومنتصف المقطع الفلنشة من جهة السحب للمضخة z_d بالنسبة للمنسوب المختار 0-0، يكون $H_{sz} = z_z - z_d$

إذا كان محور المضخة (في المضخات الأفقية) أو نقطة الوسط لشفرات الدخول (في المضخات الشاقولية) موجوداً أخفض من منسوب الماء في الخزان السفلي، عندها تعمل المضخة في الطمي، وحسب العلاقة السابقة نحصل على فرق ارتفاع جغرافي سالب يدعى ارتفاع الطمي الهندسي.

$$H'_{sz} = -H_{sz}$$

ارتفاع الدفع لنظام الضخ H_{iz} هو الفرق بين منسوب سائل الخزان

العلوي z_g ومنتصف المقطع لفلنشة الخروج z_l

$$H_{iz} = z_g - z_l \quad (5-3)$$

ارتفاع الرفع لنظام الضخ H_z هو مجموع ارتفاع السحب H_{sz} وارتفاع

الدفع H_{iz} والفرق بين منسوب منتصف مقطع السحب والرفع m . وهذا المجموع

يساوي الفرق الإجمالي بين منسوب الماء في الخزان العلوي والسفلي الذي يتعلق بحالة الخزان مغلق أو مفتوح

$$H_z = H_{sz} + m + H_{tz} = z_g - z_d \quad (6-3)$$

ارتفاع السحب الستاتيكي لنظام الضخ يحدد بالعلاقة:

$$H_{sst} = H_{sz} - \frac{P_d}{\gamma} \quad (7-3)$$

ارتفاع الدفع الستاتيكي لنظام الضخ يحدد بالعلاقة:

$$H_{lst} = H_{tz} + \frac{P_g}{\gamma} \quad (8-3)$$

ارتفاع الرفع الستاتيكي لنظام الضخ يساوي مجموع ارتفاع السحب والدفع الستاتيكي للنظام

$$H_{st} = H_{sz} - \frac{P_d}{\gamma} + m + H_{tz} + \frac{P_g}{\gamma} = H_z + \frac{P_g - P_d}{\gamma} \quad (9-3)$$

الارتفاع الديناميكي لنظام الضخ يساوي مجموع ارتفاع سرعة السائل ومقاومات الجريان في أنابيب السحب $\Sigma \Delta h_s$ ومقاومات الجريان في أنابيب الدفع $\Sigma \Delta h_f$

$$H_{dyn} = \frac{c_g^2 - c_d^2}{2g} + \Sigma \Delta h_s + \Sigma \Delta h_f \quad (10-3)$$

ارتفاع الرفع الكلي لنظام الضخ يساوي مجموع الرفع الستاتيكي والديناميكي

$$H_r = H_z + \frac{P_g - P_d}{\gamma} + \Sigma \Delta h_s + \Sigma \Delta h_f + \frac{c_g^2 - c_d^2}{2g} = H_{st} + H_{dyn} \quad (11-3)$$

شدة الجريان Q هي غزارة تدفق السائل من الخزان السفلي إلى العلوي أو من جهة السحب إلى جهة الدفع نتيجة وصل مضخة تعمل في النظام. شدة الجريان تكافئ غزارة تدفق المضخة.

ب- تحديد مميزات نظام الضخ

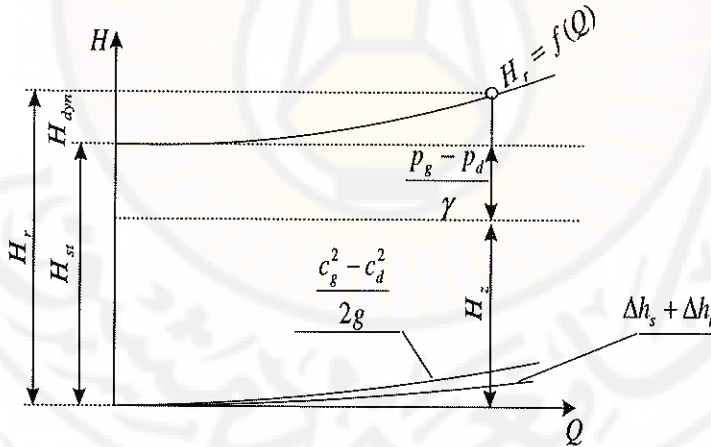
في نظام الضخ المحدد ارتفاع الرفع الستاتيكي يساوي قيمة ثابتة $H_{iz} = const.$ ، ولا يتعلق بتغير شدة الجريان (غزارة التدفق) Q . بينما ارتفاع الرفع الديناميكي H_{dyn} يتعلق بشدة الجريان على شكل قطع مكافئ، وحسب شروط استمرار الجريان يكون: تغير الطاقة الحركية

$$\frac{c_g^2 - c_d^2}{2g} = const.Q^2 \quad (12-3)$$

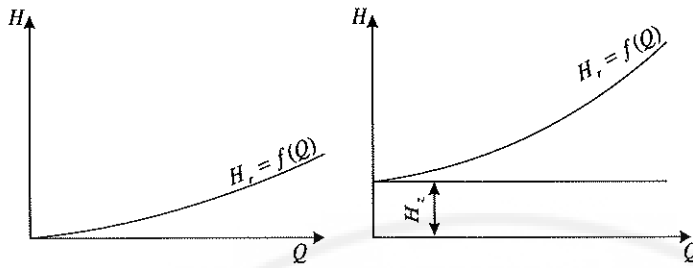
مجموع الضياعات في أنبوب السحب والدفع $\Sigma\Delta h_s + \Sigma\Delta h_t = const.Q^2$

$$H_{dyn} = \frac{c_g^2 - c_d^2}{2g} + \Sigma\Delta h_s + \Sigma\Delta h_t = const.Q^2 \quad (13-3)$$

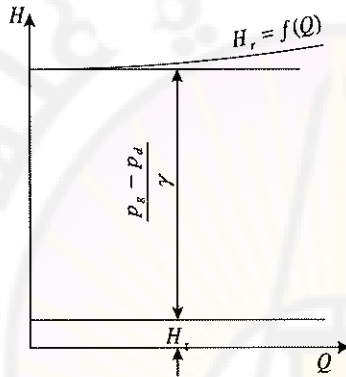
يمكن رسم الشكل (3-3). مع إهمال الفروق في أنظمة الضخ التي لها مميزات خاصة تتعلق بقيم العناصر في المعادلة. مثال النظام مفتوح لمياه التبريد في مكثفات محطات الطاقة الشكل (4-3) النظام مغلق الشكل (5-3)، نظام تغذية المراحل البخارية الشكل (6-3).



الشكل (3-3) مميزات نظام الضخ



الشكل (4-3) مميزات نظام الضخ مع دورة مفتوحة (مكلف محطة بخارية)
الشكل (5-3) مميزات نظام الضخ مع دورة مغلقة



الشكل (6-3) مميزات نظام تغذية مرجل بخار

ت- الميزان الطاقى لنظام الضخ

تحدد الطاقة النوعية الضرورية E_t ، اللازمة لرفع 1kg من السائل ذي الكثافة ρ من الخزان السفلي إلى الخزان العلوي في نظام الضخ الشكل (1-3) بالعلاقة:

$$E_t = \Delta E_z + \Delta E_p + \Delta E_r + \Delta E_k \quad (14-3)$$

ومنه الزيادة في الطاقة نتيجة فرق المنسوب تكون:

$$\Delta E_z = (z_g - z_d)g = gH_z \quad (15-3)$$

الزيادة في الطاقة نتيجة فرق ضغط بين الخزان العلوي والسفلي تكون:

$$E_p = \frac{p_g - p_d}{\rho} \quad (16-3)$$

الطاقة اللازمة للتغلب على الاحتكاك نتيجة جريان السائل

$$\Delta E_r = g(\Sigma \Delta h_s + \Sigma \Delta h_t) \quad (17-3)$$

زيادة الطاقة الحركية للسائل:

$$\Delta E_k = \frac{c_g^2 - c_d^2}{2} \quad (18-3)$$

بالتعويض في العلاقة (14-3) نجد:

$$E_1 = gH_z + \frac{p_g - p_d}{\rho} + g(\Sigma \Delta h_s + \Sigma \Delta h_t) + \frac{c_g^2 - c_d^2}{2g} \quad (19-3)$$

$$E_1 = gH \quad \text{لأن}$$

وبالتعويض في علاقة H

$$H = H_z + \frac{p_g - p_d}{\gamma} + (\Sigma \Delta h_s + \Sigma \Delta h_t) + \frac{c_g^2 - c_d^2}{2g} \quad (20-3)$$

وهو يكافئ ارتفاع الرفع الفعلي المحسوب في العلاقة السابقة H_r

ث- الميزان الحراري للجريان في نظام الضخ

بالنظر إلى مخطط نظام الضخ المبين أدناه

$$m, v, p_1, t_1, h_1 \rightarrow \left[\begin{array}{c} \uparrow p_{str} \\ \downarrow p_w \end{array} \right] \rightarrow m, v, p_2, t_2, h_2$$

h_1, h_2 انتالبي جسم التشغيل عند المخرج والمدخل على التوالي

p_w, p_{str} الاستطاعة المستهلكة في المضخة والاستطاعة اللازمة لتشغيل

المضخة من المحرك على التوالي.

الزيادة الكلية في طاقة جسم التشغيل في المضخة

$$P_i = m(h_2 - h_1) \quad (21-3)$$

$$P_w = P_i + P_{str} \quad (22-3)$$

وبالتقريب نجد:

$$P_{str} = P_w (1 - \eta_m) \quad (23-3)$$

ومن العلاقة (22-3)

$$P_i = P_w - P_{str} = P_w - P_w(1 - \eta_m) = P_w \eta_m$$

$$P_i = \frac{m(p_2 - p_1)v\eta_m}{\eta} = \frac{Q(p_2 - p_1)\eta_m}{\eta} = \frac{P_e \eta_m}{\eta_v \eta_h} = \frac{P_e}{\eta_v \eta_h} \quad (24-3)$$

حيث:

P_e الاستطاعة الفعالة المستخدمة للتغلب على الطاقة الهيدروديناميكية للسائل والتي تحدد المردود الكلي للمضخة.

$$\Delta P = P_i - P_e$$

ينتج مما سبق أن فرق الاستطاعة

3-3 بارامترات العمل ومميزات المضخات

أ- ضاغط المضخة

يحدد ارتفاع سحب المضخة الذي يدعى ارتفاع الضغط في مقطع وصلة السحب للمضخة بالعلاقة:

$$H_s = \frac{P_s}{\gamma} = \frac{P_d}{\gamma} - H_{sz} - \frac{c_s^2 - c_d^2}{2g} - \Sigma \Delta h_s \quad (25-3)$$

$c_s, \Sigma \Delta h_s$ فواقد الارتفاع في أنبوب السحب و متوسط سرعة السائل في مقطع وصلة السحب

في حالة الخزان السفلي مفتوح $P_d = P_b$

$$H_s = \frac{P_s}{\gamma} = \frac{P_b}{\gamma} - H_{sz} - \frac{c_s^2 - c_d^2}{2g} - \Sigma \Delta h_s$$

أثناء القياس يؤخذ قياس الضغط في مقطع وصلة السحب باستعمال مانومتر عندما (p_s, p_b) أو فاكومتر عندما (p_s, p_b) . وعندها ارتفاع السحب المانومتري H_{ms} يساوي الفرق بين ارتفاع الضغط p_s في المقطع والضغط الجوي

$$H_{ms} = \frac{P_s - P_b}{\gamma}$$

$$H_{ms} = \frac{P_d - P_b}{\gamma} - H_{sz} - \frac{c_s^2 - c_d^2}{2g} - \Sigma \Delta h_s$$

وفي حالة الخزان السفلي المفتوح نجد

$$H_{ms} = -H_{sz} - \frac{c_s^2 - c_d^2}{2g} - \Sigma \Delta h_s \quad (26-3)$$

أما في حالة عمل المضخة مع امتصاص أي أن المضخة موضوعة فوق مستوى السائل في الخزان السفلي، تكون قيمة H_{ms} سالبة، أي ينشأ ضغط ناقص في مقطع وصلة السحب وللقياس يجب استعمال مقياس فاكومتر.

في حالة عمل المضخة في الطمي (ارتفاع سحب موجب) تؤخذ قيمة H_{ms} موجبة أو سالبة، حسب ارتفاع الطمي $H_{sz} = -H_{sz}'$.

ارتفاع دفع المضخة H_t يدعى ارتفاع الضغط في مقطع وصلة الدفع.

$$H_t = \frac{p_b}{\gamma} = \frac{p_g}{\gamma} - H_{tz} - \frac{c_g^2 - c_t^2}{2g} - \Sigma \Delta h_t$$

حيث: c_s, c_t متوسط سرعة جريان السائل في مقطع الدفع وفي مقطع السحب على التوالي.

$\Delta \Sigma h_s, \Delta \Sigma h_t$ مجموع مقاومات (فواقد) الارتفاع بين المضخة والخزان العلوي و مجموع مقاومات (فواقد) الارتفاع بين المضخة والخزان السفلي على التوالي.

إذا كان الخزان العلوي مفتوحاً $p_g = p_b$ يكون

$$H_t = \frac{p_b}{\gamma} + H_{tz} + \frac{c_g^2 - c_t^2}{2g} + \Sigma \Delta h_t \quad (27-3)$$

ارتفاع الدفع المانومتري H_{mt} هو الزيادة في ارتفاع الرفع H_t عن الضغط الجوي مقاساً بواسطة مانومتر.

$$H_{ms} = \frac{p_t - p_b}{\gamma} = \frac{p_{mt}}{\gamma}$$

وباستخدام p_t نجد

$$H_{ms} = \frac{p_g - p_b}{\gamma} + H_{tz} + \frac{c_g^2 - c_t^2}{2g} + \Sigma \Delta h_t$$

وفي حالة الخزان العلوي المفتوح $p_g = p_b$ تصبح العلاقة:

$$H_m = H_{iz} + \frac{c_g^2 - c_t^2}{2g} + \Sigma \Delta h_t \quad (28-3)$$

الضاغط الكلي للمضخة (الفعال) H_e هو مجموع الزيادات في الارتفاع (واحدة الطاقة) بين مقطعي الدخول والخروج للمضخة. حسب العلاقة

$$H_e = \frac{p_t - p_s}{\gamma} + m + \frac{c_t^2 - c_s^2}{2g}$$

ومنه:

$$H_e = \frac{p_g - p_d}{\gamma} + H_z + \frac{c_g^2 - c_d^2}{2g} + \Sigma \Delta h_s + \Sigma \Delta h_t \quad (29-3)$$

الارتفاع المانومتري لرفع المضخة H_m هو زيادة الارتفاع المانومتري على وصلة السحب والرفع.

$$H_m = H_{mt} - H_{ms} + m = \frac{p_t - p_s}{\gamma} + m$$

وباستخدام العلاقات السابقة

$$H_m = \frac{p_g - p_d}{\gamma} + H_z + \frac{c_g^2 - c_d^2}{2g} + \Sigma \Delta h_s + \Sigma \Delta h_t - \frac{c_t^2 - c_s^2}{2g} = H_e - \frac{c_t^2 - c_s^2}{2g}$$

$$H_e = H_m + \frac{c_t^2 - c_s^2}{2g} = \frac{p_t - p_s}{\gamma} + m + \frac{c_t^2 - c_s^2}{2g} \quad \text{أو}$$

تبين العلاقة الأخيرة أنه بهدف تحديد كامل ارتفاع المضخة يجب تحديد قيمة H_m بالإضافة لزيادة السرعة بين مدخل ومخرج المضخة.

الضاغط النظري للمضخة H_{th} هو مجموع الضاغط الكلي والمقاومات الهيدروليكية Δh_p في المضخة، مع الأخذ بالاعتبار الاحتكاك بين السائل وجدران الأنابيب

$$H_{th} = H_e + \Delta h_p$$

في المضخات الحجمية يستعمل نفس مفهوم ارتفاع الرفع الداخلي في المضخات $H_t = H_{th}$ نفسه.

ب- التدفق

1- التدفق النظري للمضخة Q_{th} هو شدة الجريان في مضخة مثالية دون أية تسربات وعند الضاغط H_{th} .

2- التدفق الفعلي للمضخة Q_r وهو مجموع شدة الجريان في مقطع الدخول والخروج والسائل المستخدم للتبريد (للمضخة والمضاجع)، الخنق.....

3- التدفق الاسمي للمضخة Q_n هو التدفق المعطى عند الشروط التصميمية للمضخة عند الرفع الاسمي H_n وعدد الدورات الاسمي n_n .

4- التدفق الأعظمي للمضخة Q_{opr} هو شدة الجريان (غزارة التدفق) الموافقة للمردود الأعظمي للمضخة. أفضل تصميم للمضخة يكرر بأن يغطي التدفق الأعظمي التدفق الاسمي والمحسوب.

5- التدفق الداخلي للمضخة Q_i هو شدة الجريان (غزارة التدفق) عبر القرص في المضخة الدورانية وفي المضخات الحجمية هو كمية السائل المسحوب عبر الحوض العامل.

في المضخات الدورانية

$$Q_i = Q_r + Q_s + Q_o + Q_f \approx Q_{th} \quad (30-3)$$

حيث: Q_r, Q_s, Q_o, Q_f على التوالي فواقد الجريان نتيجة عدم الإحكام، بالخنق، نتيجة التسرب، نتيجة التسرب للسائل الراجع إلى القرص.

ت- الاستطاعة

الاستطاعة على محور المضخة P_w وتدعى الاستطاعة المستجرة بواسطة المضخة وتساوي الاستطاعة المقدمة من المحرك، أو القارنة بين المضخة والمحرك. نحصل على الاستطاعة P_w من خلال قياس العزم المؤثر على المضخة أو بحساب الاستطاعة المأخوذة P_s من المحرك الكهربائي

$$P_w = P_s \eta_s$$

أو بالحساب

$$P_w = \frac{g\rho Q_r H_e}{\eta} \cdot 10^{-3} [kW] = \frac{\gamma Q_r H_e}{\eta} \cdot 10^{-3} [kW] \quad (31-3)$$

$$P_w = \frac{Q_r \Delta p}{\eta} \cdot 10^{-3} [kW]$$

حيث: η_s مردود المحرك الكهربائي

η المردود الكلي المضخة

$\gamma [N/m^3]$ الوزن النوعي للسائل

$\rho [kg/m^3]$ كثافة السائل

$\Delta p [Pa]$ الزيادة في الضغط

$Q_r [m^3/s]$ تدفق المضخة

الاستطاعة الفعالة P_e وتدعى الاستطاعة الصافية المفيدة اللازمة لزيادة طاقة

السائل المضخوخ

$$P_e = g\rho Q_r H_e \cdot 10^{-3} [kW] = \gamma Q_r H_e \cdot 10^{-3} [kW] \quad (32-3)$$

ث- المردود

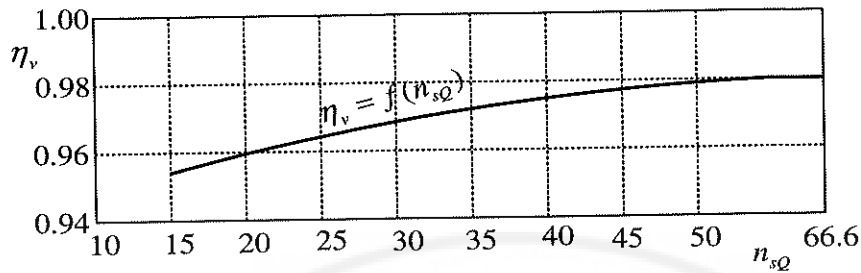
المردود الحجمي للمضخة η_v هي نسبة التدفق الحقيقي على التدفق النظري

$$\eta_v = \frac{Q_r}{Q_{th}} \quad (33-3)$$

المردود الحجمي يكون بحدود (0.85-0.99)، القيم الكبيرة للمضخات الحجمية

ثم الدورانية. يبين الشكل (3-7) العلاقة بين العدد النوعي للدورات n_s (معامل

السرعة) والمردود في المضخات الدورانية.



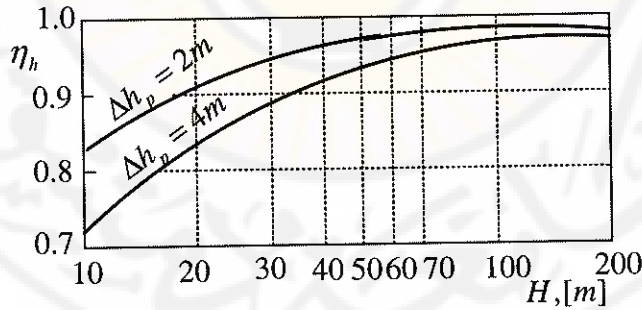
الشكل (7-3) علاقة المردود الحجمي للمضخة الدورانية بالنسبة لمعامل السرعة

المردود الهيدروليكي للمضخة η_h هو نسبة ارتفاع الرفع المستخدم H_e إلى ارتفاع الرفع النظري H_{th} .

$$\eta_h = \frac{H_e}{H_{th}} = \frac{H_e}{H_e + \Delta h_p} \quad (34-3)$$

حيث: Δh_p فواقد الجريان داخل المضخة بين المدخل والمخرج

المردود الهيدروليكي η_h يتعلق بحجم المضخة حيث يزداد بزيادة الحجم ويتعلق بنوع المضخة للمضخات الحجمية $\eta_h = 0.9 - 0.98$ ، بينما للمضخات الدورانية (الطاردة المركزية) يكون $\eta_h = 0.8 - 0.96$.
أكبر تأثير على المردود الهيدروليكي طريقة تشكيل أفنية الجريان غير المعقدة وخاصة القرص الدوار، وطريقة تنفيذها الشكل (8-3).



الشكل (8-3) علاقة المردود الهيدروليكي للمضخة المكبسية بالنسبة للرفع المستخدم عند مقاومات Δh_p

يمكن تحديد قيمة المردود الهيدروليكي تجريبياً حسب العلاقة:

$$\eta_h = 1 - \frac{0.42}{(\lg d_{red} - 0.172)^2}$$

حيث: d_{red} نصف القطر المكافئ بالمليمتر ويحدد من العلاقة:

$$d_{red} = (4 \div 4.5) \cdot 10^3 \cdot \sqrt[3]{Q/n}$$

$$Q[m^3/sec], n[obr/min]$$

وحسب علاقة ويلسموزا للمضخات العمودية فإن

$$\eta_h = \sqrt{\eta} - (0.01 \div 0.02) \quad \eta_h \text{ المردود الميكانيكي للمضخة } \eta_m \text{ هو نسبة فرق}$$

الاستطاعة على المحور P_w والاستطاعة المستهلكة للتغلب على المقاومات الميكانيكية

P_m (في المضاجع والفوهات) على استطاعة المحور

$$\eta_m = \frac{P_w - P_m}{P_w} \quad (35-3)$$

المردود الميكانيكي يكون بحدود $\eta_m = 0.9 \div 0.98$ ويتعلق بالمواد ونوعيتها المصنعة

منها المضخة. وللمضخات الحجمية تؤخذ قيم أقل. في المضخات بدون فوهات

دورانية $\eta_m = 1$.

المردود الكلي للمضخة η يحدد من نسبة الاستطاعة المفيدة على الاستطاعة المستجرة

عبر محور المضخة P_w

$$\eta = \frac{P_e}{P_w} = \eta_v \cdot \eta_h \cdot \eta_m \quad (36-3)$$

المردود الكلي للمضخة يجب أن لا يكون أقل من 60%. في المضخات الحديثة تصل

القيمة إلى 90%. والمردود المقبول عادة في المجال $\eta = 0.7 \div 0.8$.

المضخات الحجمية لها أنواع كثيرة ومتنوعة لذلك لها مراديد مختلفة حيث القيم القليلة

للمضخات الصغيرة والكبيرة للمضخات الكبيرة.

المردود الكلي للمضخات الدورانية يتعلق بقيمة بارامترات العمل وبشكل أساسي التدفق

ومعامل انخفاض السرعة n_{sQ} .

3-4 مميزات المضخات (المنحنيات المميزة للمضخات)

لا تكفي معرفة البارامترات الاسمية عند تركيب المضخات لأن المضخة نادراً ما تعمل عند البارامترات الاسمية، التي تخضع للتنظيم والتحكم من خلال النظام (تعمل المضخات الدورانية آلياً عند شروط عمل النظام). لهذه الأسباب من الضروري معرفة تغير قيمة بارامترات المضخة في شروط العمل الاسمية. يستعمل لذلك مميزات المضخة التي تحدد العلاقة المتبادلة بين قيم بارامترات المضخة في شروط عملها. وهذا ضروري في حالة عمل عدة مضخات في النظام. يجب أن تحدد المميزات حالة حركة كل مضخة.

آ- نوع المميزات

نميز ثلاثة أنواع من مميزات المضخات: مميزات التدفق، مميزات اختيار الاستطاعة ومميزات المردود

1- **منحني الضاغط** $H = f(Q)$ وتمثل علاقة الضاغط بالنسبة للتدفق. وهو المميز الرئيسي لعمل المضخة. ويدعى أحياناً منحني الخنق، حيث نحصل عليه عند دراسة المضخة وتغير بارامتراتهما من خلال خنق الجريان (صمام خنق) بعد المضخة مباشرة. في المضخات الحجمية غالباً ما تستعمل المميزات $Q = f(H)$ أو $Q = f(\Delta p)$.

2- **منحني استطاعة المضخة** $P_w = f(Q)$ المنتقلة على المحور، بمساعدة استطاعة المحرك الكهربائي (تدعى عادة استطاعة التعشيق للمضخة). في المضخات الحجمية غالباً ما تستعمل المميزات $P_w = f(H)$ أو $P_w = f(\Delta p)$.

3- **مميزات مردود المضخة** $\eta = f(Q)$ ، أو للمضخات الحجمية $\eta = f(H)$ أو $\eta = f(\Delta p)$ ، يحدد تغير نسبة الاستطاعة الفعالة، المستهلكة على تغير قيمة بارامترات العمل، إلى الاستطاعة المستجرة عبر المضخة مع تغير التدفق. نحصل على المنحني المميز لعمل المضخة.

تغير مقاومات أنبوب الدفع، من خلال صمام الخنق، يؤدي لتغير ارتفاع الرفع H ، ونتيجة ذلك يتغير التدفق Q . فنحصل بهذه الطريقة على العلاقة $H = f(Q)$ ، أو للمضخات الحجمية $Q = f(H)$ أو $Q = f(\Delta p)$. عند قياس حمل المحرك القائد P_s والأخذ بالاعتبار مردوده η_s ، نحسب الاستطاعة المستجرة على محور المضخة $P_w = f(H)$ أو $P_w = f(Q)$ ونحسب المردود الذي يساوي نسبة الاستطاعة الصافية P_e إلى الاستطاعة P_w ، فنحصل على العلاقات: $\eta = f(Q)$ أو $\eta = f(H)$ أو $\eta = f(\Delta p)$.
المميزات الأساسية تؤخذ بالنسبة لقيم ثابتة لسرعة الدوران $n = const.$ وهي محددة على شكل منحنيات. ويمكن أن تؤخذ أيضاً بالنسبة لسرعات الدوران المتغيرة.

ب- مميزات بعدية خاصة

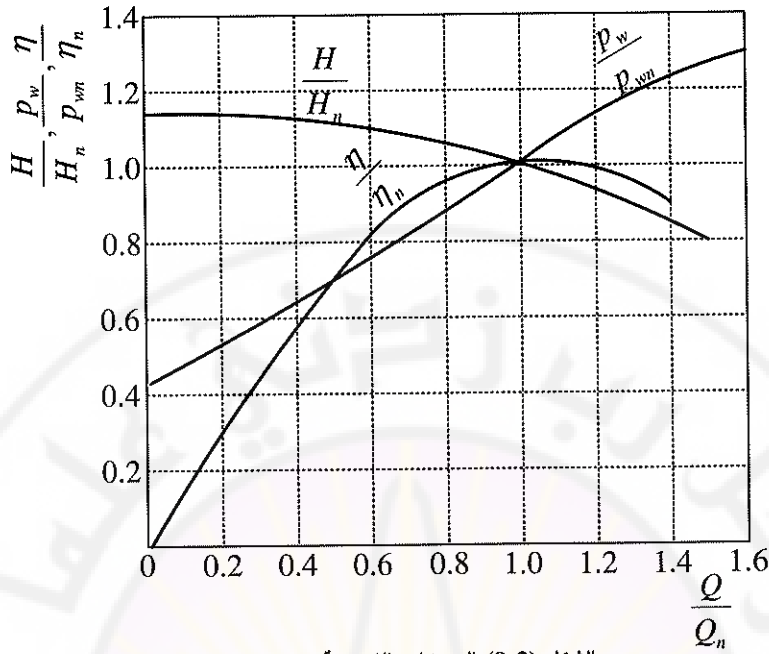
كل بارامتر يحدد بوحدة القياس $[m^3/h] \rightarrow [m^3/s]$ و $H[m]$ و $P_w[kW]$ و η يعطى في الأرقام المطلقة أقل من الواحد أو نسبة مئوية. إن شكل المنحنيات المميزة مختلفة لأنواع المضخات.

ت- مميزات لا بعدية خاصة

كل مميز بعدي يمكن أن يمثل بشكل لا بعدي دون حساب عدة نقاط للمنحني، حيث تؤخذ القيم الاسمية لبارامترات العمل 1 أو 100. نحصل على

$$\frac{H}{H_n} = f\left(\frac{Q}{Q_n}\right), \frac{P_w}{P_{wn}} = f\left(\frac{Q}{Q_n}\right), \frac{\eta}{\eta_n} = f\left(\frac{Q}{Q_n}\right)$$

الشكل (3-9) يبين المنحني المميز اللا بعدي لمضخة دورانية طاردة مركزية.



الشكل (9-3) المميزات اللابعدية
لمضخة طرد مركزي دورانية

المميزات اللابعدية تصلح لمقارنة المضخات، في حالة المضخات الدورانية التي لها معامل السرعة نفسه و مميزاتها اللابعدية يجب أن تغطي أو تبين التقارب القليل. الانحراف الكبير سيبين عدم تطابق في النوعية أو في أنابيب الجريان للمضخات.

ث- المميزات اللابعدية العامة

بوضع القيم اللابعدية للرفع على المحور الشاقولي يكون $\xi_H = \frac{H}{u^2/2g}$

وعلى المحور الأفقي للتدفق $\xi_Q = \frac{Q}{u_2 A}$ حيث: $A = \pi d_2 b_2$ أو $A = \frac{\pi d_2^2}{4}$

نحصل على المميزات اللابعدية التي لا تتعلق بكثافة السائل وسرعة الدوران. في هذا النظام، في حالة الجريانات ثنائية البعد الهندسي للمضخات المتشابهة وبشكل مشابه لحركة الجريان المميزات اللابعدية لا تتعلق بكثافة السائل، ومعامل الرفع سيكون نفسه عند معامل التدفق نفسه.

استعمال المميزات اللابعدية العامة يساعد في تفحص الجريان في المضخة باستخدام جسم تشغيل غير الماء. استعمال مضخات هواء، هذا يعني اختصار للنظام المدروس وإنقاص الاستطاعة المطلوبة. المميزات حصراً تستخدم للمضخات الدورانية.

ج- المميزات العامة على شكل منحنيات المردود

في حالة المضخات ذات التحكم بقيم بارامترات العمل (من خلال الحركة الترددية للمضخات، تغيير سرعة الدوران في المضخات ذات الحركة الدورانية، تغيير نصف قطر القرص الدائر في المضخات الدورانية وتغيير زاوية انحراف الريش للقرص أو ريش التوجيه في المضخات الدورانية المائلة قطرياً أو العمودية) نحصل لكل حالة حركة على منحني مميز (مجموعة منحنيات مميزة). لأجل نقلها على منحنيات واحدة $H = f(Q)$ ، $Q = f(H)$ وعلى كل منحني يتم تحديد النقاط التي تحدد القيم المتشابهة للمردود ثم وصلها للحصول على منحني مميز تقع عليه القيم المتساوية للمردود.

3-5 المضخات الحجمية

آ- المضخات المكبسية

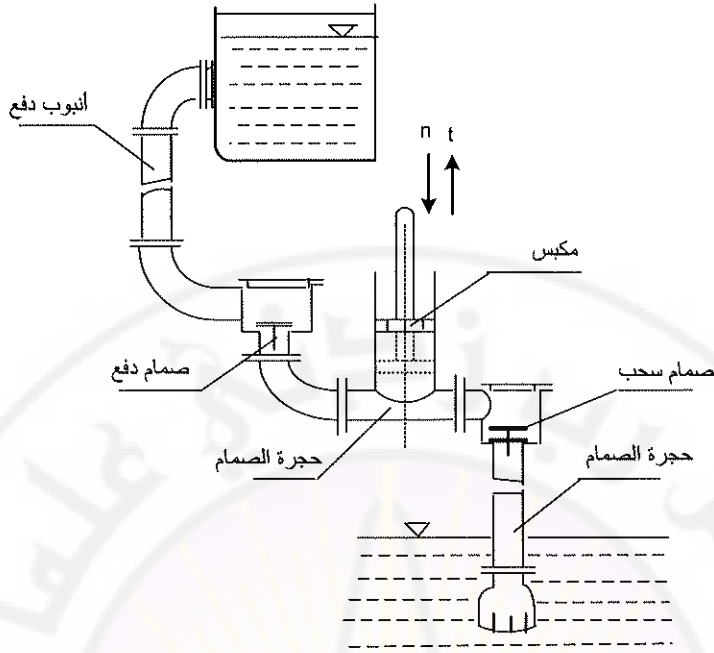
1- مبدأ عمل المضخة ومجاله

تقسم المضخات المكبسية حسب مبدأ العمل إلى:

1- مضخات مكبسية وحيدة الاتجاه الشكل (3-10)

2- مضخات مكبسية ثنائية الاتجاه

3- مضخات تفاضلية



الشكل (10-3) مضخة مكبسية وحيدة الاتجاه

في كل مجموعة من الأنواع السابقة يكون شكل العنصر العامل مكبساً دائري الشكل (10-3) أو مكبساً غاطساً وتعرف بمضخات غاطسة. العناصر المتحركة في المضخات الشاقولية المكبسية وحيدة الاتجاه هي عبارة عن الصمامات أو أنابيب المكبس. تقسم حسب توضع محور المكبس إلى: أفقية عندما يكون محور المكبس (الغاطس) أفقياً و شاقولية عندما يكون المحور شاقولياً. وحسب عدد الأسطوانات إلى: وحيدة أو متعددة الأسطوانات.

يكون رفع السائل في المضخات وحيدة الاتجاه بشكلين، عند حركة المكبس في الاتجاه n يزداد حجم حجرة الصمامات، وينشأ هبوط في الضغط يسبب فتح صمام السحب ويسحب السائل إلى الخزان السفلي للمضخة عبر أنابيب السحب خلال الحركة إلى الأسطوانة ويكون حجم السائل $V = A \cdot s$ حيث: A مساحة مقطع المكبس، s شوط المكبس.

عند حركة المكبس في الاتجاه المعاكس t يسبب تناقص في حجم الحجرة ويزداد الضغط فيغلق صمام السحب ويفتح صمام الدفع ويدفع السائل عبر أنبوب الدفع. تكرار العملية يضمن استمرار التدفق والجريان من الخزان السفلي إلى العلوي. إن التدفق غير متساوٍ بين شوط السحب وشوط الدفع. لذلك تستعمل غالباً مضخات متعددة الاسطوانات وحيدة الاتجاه. حيث تكون الأسطوانتان متوضعيتين على محور واحد والزاوية بينهما 180 درجة. وفي حالة المضخات ثنائية الاتجاه يجب الأخذ بالاعتبار تأثير المكبس على تناقص حجم الشوط. يكون الحجم خلال شوط الامتصاص بدون المكبس. $V_1 = A.s$ ومن جهة الدفع مع المكبس $V_2 = A.s - S.s = (A-S).s$ حيث: S مساحة مقطع المكبس.

الحجم الكلي خلال دورة واحدة يساوي

$$V_c = V_1 + V_2 = A.s + (A-S).s = (2.A-S).s \quad (37-3)$$

تحتوي المضخات التفاضلية مكبساً ذا نصفي قطرين مختلفين d_t, d . خلال الحركة باتجاه n إلى يسار الحجرة عبر صمام الامتصاص يكون حجم السائل مساوياً $V = A.s$ وفي الجهة اليمنى يكون حجم السائل في أنبوب الدفع مساوياً $V_1 = (A-S).s$ خلال الحركة باتجاه t الجهة اليسرى للمكبس يدفع السائل عبر صمام الدفع إلى أنبوب الدفع وحجم السائل V ، حيث يملأ السائل الفراغ من الجهة اليمنى والحجم يكون مساوياً $V_1 = (A-S).s$.

يكون الحجم المدفوع عبر الوصلة

$$V_2 = V - V_1 = A.s - (A-S).s = S.s$$

بجمع حجم السحب والدفع خلال دورة واحدة نجد:

$$V_c = V_1 + V_2 = (A-S).s + S.s = A.s = V$$

نلاحظ من هذه النتيجة أن حجم السائل خلال الدفع لدورة واحدة له القيمة نفسها في المضخات وحيدة الاتجاه ذات الأبعاد المتساوية للمكبس و الشوط نفسه. لكن تكون موزعة على حركتين للمكبس مما يؤدي لزيادة في التدفق. المضخات المكبسية الصغيرة عادة تحرك يدوياً.

2- تدفق المضخة المكبسية

- التدفق النظري Q_{th} للمضخة المكبسية وحيدة الاتجاه يعطى بالعلاقة

$$Q_{th} = z \cdot \frac{A \cdot s \cdot n}{60} [m^3 / \text{sec}] \quad (38-3)$$

حيث: z - عدد الأسطوانات

n - سرعة الدوران أو عدد الدورات بالدقيقة

للمضخات ثنائية الاتجاه ولدورة واحدة يحدد حجم السائل بالعلاقة

$$V_2 = (A - S) \cdot s \quad \text{و} \quad V_1 = A \cdot s$$

فيكون الحجم الكلي خلال دورة واحدة

$$V = V_1 + V_2 = A \cdot s + (A - S) \cdot s = (2A - S) \cdot s$$

التدفق النظري للمضخة ثنائية الاتجاه

$$Q_{th} = z \cdot \frac{(2A - S) \cdot s \cdot n}{60} [m^3 / \text{sec}] \quad (39-3)$$

للمضخة التفاضلية

$$Q_{th} = z \cdot \frac{A \cdot s \cdot n}{60} [m^3 / \text{sec}] \quad (40-3)$$

- التدفق الحقيقي للمضخة المكبسية Q_r هو حجم السائل المدفوع عبر

المضخة إلى أنابيب الدفع في واحدة الزمن وهو أقل من التدفق النظري بمقدار

الضياعات Q_s الناتجة عن:

- عدم إحكام الجزء المعبأ (تسرب السائل للخارج)
- عدم إحكام صمامات السحب وصمامات الدفع (خلال حركة المكبس يهرب السائل ليعود إلى أنبوب السحب أو إلى أنبوب الدفع).
- عدم الإحكام لمحيط المكبس (بقاء السائل في الجهة ذات الضغط الأقل).
- سوء تصنيع لجسم المضخة (تسمح بدخول الهواء إلى الداخل يمنع استخدام كامل حجم الشوط).
- انضغاطية السائل ومرونة جدران جسم المضخة (تقلل من التدفق)

- تأخر فتح وإغلاق الصمامات
- ظهور الغازات أثناء ضخ السوائل

$$Q_r = Q_m - Q_s$$

3- ضاغط المضخات المكبسية

الضاغط الكلي H للمضخة يتألف من:

- 1- الضاغط الهندسي H_z هو فرق الارتفاع بين منسوبي الخزان العلوي والسفلي
- 2- في حالة الخزانات المغلقة هو فرق ارتفاع الضغط في الخزائين العلوي

$$\text{والسفلي } \frac{p_d}{\gamma}, \frac{p_g}{\gamma}$$

- 3- فرق الارتفاع الديناميكي للسائل من الخزان العلوي إلى السفلي $\frac{c_d^2}{2g}, \frac{c_g^2}{2g}$

- 4- مجموع المقاومات الهيدروليكية الناتجة عن كثافة السائل، الاحتكاك مع الجدران، تغير مقاطع الجريان، تغير اتجاه الجريان في أنابيب السحب وأنابيب الدفع $\Delta h_s, \Delta h_f$ (الكلي $\Sigma \Delta h$).

$$H = H_z + \frac{p_g - p_d}{\gamma} + \frac{c_g^2 - c_d^2}{2g} + \Sigma \Delta h \quad (41-3)$$

$$H_{man} = \frac{p_{pt} - p_{ps}}{\gamma} + m \quad \text{الارتفاع المانومتري (الضاغط المانومتري)}$$

والضاغط الكلي يكون

$$H = H_{man} + \frac{c_i'^2 - c_{1s}^2}{2g} = \frac{p_{pt} - p_{ps}}{\gamma} + m + \frac{c_i'^2 - c_{1s}^2}{2g}$$

الضاغط النظري H_m يكون أكبر من الحقيقي H بمقدار ضياعات

$$H_m = H + \Delta h_p \quad \text{الجريان في المضخة } \Delta h_p \text{ حسب العلاقة}$$

4- مردود واستطاعة المضخة المكبسية

- المردود الحجمي η_v هو نسبة التدفق الفعلي إلى النظري $\eta_v = \frac{Q_r}{Q_{th}}$

إن قيمة المردود الحجمي تقاس تجريبياً. حسب تصميم وحالة المضخة.

للمضخات البخارية بدون محور لنقل الحركة $\eta_v = 0.96 - 0.99$

لمضخات المياه الكبيرة ذات نصف القطر للمكبس $d < 150mm$ يكون

$$\eta_v = 0.94 - 0.99$$

للمضخات ذات نصف القطر $d = 50 - 150mm$ يكون

$$\eta_v = 0.90 - 0.97$$

للمضخات الصغيرة $d < 50mm$ يكون $\eta_v = 0.85 - 0.90$

- المردود الهيدروليكي η_h

$$\eta_h = \frac{H}{H + \Delta h_p} = \frac{H}{H_{th}} \quad \text{يعطى بالعلاقة}$$

- المردود الميكانيكي η_m

يمثل الجزء الفعلي من الاستطاعة المستهلك في المضخة للتغلب على

المقاومات الميكانيكية (الاحتكاك). ويحسب تجريبياً $\eta_m = 0.92 - 0.98$.

- المردود الكلي للمضخة η

يأخذ بالاعتبار جميع الضياعات

$$\eta = \eta_v \cdot \eta_h \cdot \eta_m = \frac{P_e}{P_w} \quad (42-3)$$

$$P_e = g \cdot \rho \cdot Q_r \cdot H \cdot 10^{-3} [kW] = \gamma \cdot Q_r \cdot H \cdot 10^{-3} [kW]$$

وبمعرفة المردود الكلي للمضخة يمكن حساب الاستطاعة المستهلكة

$$P_w = \frac{\gamma \cdot Q_r \cdot H \cdot 10^{-3}}{\eta} [kW] \quad (43-3)$$

تعطى قيم المردود الكلي في المجال:

للمضخات المقادة بواسطة محور $\eta = 0.7 - 0.9$

للمضخات ذات المكابس المباشرة $\eta = 0.85 - 0.98$

5- حساب الأبعاد الرئيسية للمضخات

- بارامترات العمل:

بهدف تصميم المضخات يجب معرفة المعطيات التالية:

- 1- التدفق الحقيقي للمضخة
- 2- الضاغط الكلي أو الهندسي
- 3- ارتفاع السحب والدفع الهندسيين
- 4- ارتفاع الضغط في الخزانين
- 5- طول أنابيب السحب والدفع ونوعها وحجم وعدد التجهيزات.
- 6- خواص السائل (الكثافة، درجة الحرارة، اللزوجة ...)
- 7- فرضيات إضافية (نوع المضخة النظام أفقية أو شاقولية نوع المحرك (كهربائي- بخار- محرك ...).

- اختيار سرعة الدوران

حسب القوى الناشئة من جريان السائل تحدد سرعة الدوران n التي يجب

أن تكون صغيرة. وهي بحدود 300-450 r.p.m وفي بعض الحالات تصل إلى 500

r.p.m وهي مرتبطة بنصف قطر وشوط المكبس $c_{sr} = \frac{2.s.n}{60} [m/s]$

تؤخذ قيمة السرعة في النظام الأفقي $c_{sr} \leq 1.5 \div 1.8 [m/s]$

وفي النظام الشاقولي $c_{sr} \leq 1.1 \div 1.2 [m/s]$

شوط المكبس $s = (0.4 \div 1.1) [m]$

قوى العطالة لها تأثير كبير على تسارع المكبس حسب القيمة $r.\omega^2$ ومع

اختيار سرعة الدوران نحدد محرك القيادة.

- حساب شوط ونصف قطر المكبس

بفرض المردود الحجمي وسرعة الدوران نحسب التدفق النظري

وبمساعدة العلاقات السابقة الشوط الحجمي As . وبفرض نسبة الشوط $Q_m = \frac{Q_r}{\eta_v}$

إلى نصف القطر $\frac{s}{d}$ نحسب s, d . عند الضاغط الكبير يكون مقطع المكبس صغيراً

للتقليل من القوى المؤثرة عليه $\frac{s}{d} = 0.5 + 10$ القيمة الكبيرة للمضخات ذات الضغوط

الكبيرة وللمضخات الأفقية تكون النسبة أكبر منها للشاقولية.

6-3 المضخات الدورانية

أ- مضخات الطرد المركزي

1- أسس نظرية وحركية الجريان عبر القرص الدوار

تتشأ في المضخات الدورانية ظاهرة حركة دورانية محلية تستعمل

لتحويل الطاقة من المحرك القائد لرفع السائل عبر شفرات للقرص. هذا يعني أنه في

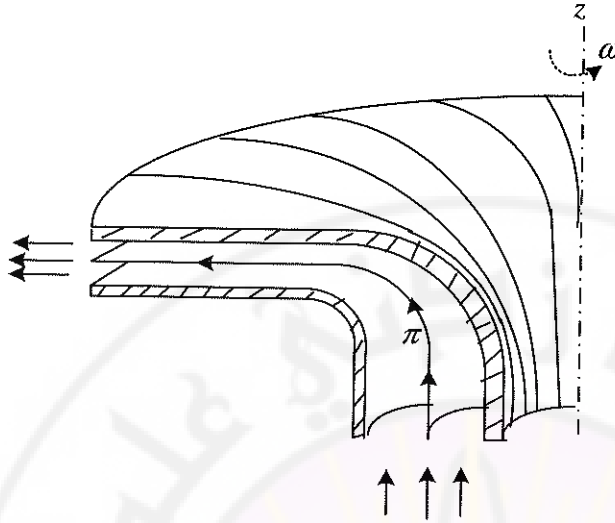
المضخات الدورانية يظهر جريان مضطرب، مما يسمح بمقارنة الجريان المثالي

والحقيقي. أثناء جريان السائل عبر المضخة تزداد الطاقة فقط في منطقة القرص

الدائر. وبعد مغادرة السائل لها يجري السائل بطاقة ثابتة (الضياعات المحلية مهملة)

في أقبية الجريان التالية والزيادة الجزئية للطاقة تتم على حساب الطاقة المتبقية (حسب

معادلة برنولي). بفرض أن الجريان مثالي يتم عبر القرص الشكل (3-11).



الشكل (11-3) جريان السائل عبر القرص
الدوار لمضخة دورانية

يدخل السائل في حلقة القرص بالاتجاه المحوري ويخرج باتجاه الطرد المركزي. يدور القرص بسرعة زاوية ثابتة ω تؤدي لتدوير وحمل السائل بسرعة محيطية u . بفرض أن الجريان مضطرب للسائل المثالي وسرعة السائل في المقطع المدروس (المعطى) تكون ثابتة وجزيئات السائل تتحرك حسب خطوط التيار المتوازية الموجودة في مساحة (مقطع) التيار. وبفرض أن القرص لانتهائي الأبعاد والريش فإن كل جزيئة من السائل تخضع لرد فعل القرص. عند هذه الفرضية يكون كامل الجريان محورياً.

2- التغير الطاقى للجريان عبر القرص

عمل الضخ النوعي للقرص. المعادلة الأساسية للمضخات الدورانية
العمل النوعي $L_{I\infty}$ ويدعى العمل النظري المقدم لواحد كيلو غرام من كتلة السائل المضخوخ (ازدياد طاقته) خلال مروره بين مدخل ومخرج القرص.

$$L_{I\infty} = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2} + \frac{w_1^2 - w_2^2}{2} \quad (44-3)$$

حسب العلاقة السابقة العمل النوعي هو مجموع ازدياد الطاقة للسرعات المحيطية u والنسبية w والمطلقة c بين المدخل 1 والمخرج 2 الشكل (12-3).

$\frac{c_2^2 - c_1^2}{2}$ يمثل ازدياد الطاقة لسرعة السائل في صينية القرص

$\frac{u_2^2 - u_1^2}{2}$ يمثل زيادة طاقة الضغط

$\frac{w_1^2 - w_2^2}{2}$ يمثل زيادة طاقة الضغط التي تنقص السرعة النسبية عبر الفوهات

بين ريش القرص.

الضاغط النظري للمضخة عند عدد لا نهائي من الريش

$$\frac{L_{l\infty}}{g} = H_{th\infty} = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2.g} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2.g} + \frac{w_1^2 - w_2^2}{2.g} \quad (45-3)$$

$$H_{dyn\infty} = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2.g}$$

الضاغط الديناميكي

الحدان الآخران من العلاقة يمثلان الضاغط الكامن

$$H_{p\infty} = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + \frac{w_1^2 - w_2^2}{2g}$$

من مثلث السرعات c, u, w ينتج

$$w^2 = u^2 + c^2 - 2.u.c \cos \alpha$$

وبالتعويض في معادلة العمل النوعي نجد

$$L_{l\infty} = u_2 c_2 \cos \alpha_2 - u_1 c_1 \cos \alpha_1$$

والضاغط النظري

$$\frac{L_{l\infty}}{g} = H_{th\infty} = \frac{u_2 c_2 \cos \alpha_2 - u_1 c_1 \cos \alpha_1}{2.g}$$

تتألف مضخة الطرد المركزي من ثلاثة أجزاء رئيسية:

الدوار (الدافع) (impeller) ، الغلاف الحلزوني (volute casing)، الناشرة (diffuser)

- الدوار (الدافع) (impeller)

تستخدم مضخات الطرد المركزي لرفع السوائل من مستوى منخفض إلى مستوى

أعلى من خلال إحداث الضغط المطلوب بمساعدة عملية طرد مركزي. الحركة

الدائرية السريعة (الدوران السريع) تعطي السائل إمكانية الجريان العكسي على شفرات الدولاب الذي يعرف بالدافع حيث يدور من خلال مروره بين الشفرات وعند مدخل الدافع تتولد قوة شعاعية (نصف قطرية) متجهة للخارج. وبهذه الطريقة يكون الضغط الستاتيكي عند الخرج أكبر منه عند المدخل.

يخرج السائل من الدافع مغادراً جسم المضخة بضغط عالٍ وتكون سرعته عالية جداً أيضاً ويكتسب طاقة حركية نتيجة تغير طاقة الضغط.

- الناشرة (diffuser)

توضع الشفرات على طوق الناشرة ويتحرك السائل عبر ممرات الشفرات الثابتة التي يتزايد مقطعها وتتحول الطاقة الحركية إلى طاقة ضغط. يدخل السائل إلى الغلاف الحلزوني عبر ممرات الناشرة.

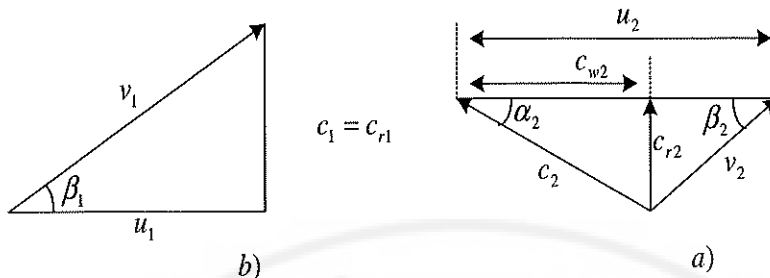
- الغلاف الحلزوني (volute casing)

تحصل في الغلاف الحلزوني عمليات تجميع المياه و نقلها إلى مخرج المضخة. يكون شكل الغلاف الحلزوني غالباً ذا مقطع متزايد تدريجياً باتجاه المخرج. حينئذ يجري الماء باتجاه أنبوب التوزيع مع استمرار التدفق إلى الوسط المحيط.

يبين الشكل (3-12) الدافع للمضخة الطاردة المركزية ومثلث السرعات عند الدخول والخروج.

من أجل مردود أفضل للمضخة يفترض أن يدخل الماء إلى الجزء الدافع بالاتجاه القطري حيث: $\alpha_1 = 90^\circ$ و $C_{w1} = 0$ يمكن تعيين نسبة العمل خلال واحدة الزمن على كمية تدفق السائل من علاقة أويلر للمضخات:

$$E = \frac{W}{m} = (u_2 \cdot C_{w2} - u_1 \cdot C_{w1}) \quad (46-3)$$



الشكل (12-3) مثلث السرعات في دافع مضخة طرد مركزي

حيث: C_{w1}, C_{w2} المركبة المماسية للسرعة المطلقة عند المدخل والمخرج

W, m العمل خلال واحدة الزمن

ويعطى معدل التدفق بالعلاقة:

$$Q = 2\pi r_1 C_{r1} b_1 = 2\pi r_2 C_{r2} b_2 \quad (47-3)$$

C_{r1}, C_{r2} المركبة القطرية للسرعة المطلقة عند المدخل والمخرج ، b عرض الشفرة يدخل السائل ونتيجة اصطدامه عند المدخل والمخرج يغادر بسرعة نسبية وفق اتجاهين بعد أن يغير الاتجاه المتوازي. يتألف العمل المقدم للسائل في المضخة من ثلاثة أجزاء:

$$1- \text{تغير الطاقة الحركية للسائل} \quad \frac{C_2^2}{2} - \frac{C_1^2}{2}$$

$$2- \text{تغير الطاقة نتيجة تأثير الطرد المركزي في الدوار (الدافع)} \quad \frac{u_2^2}{2} - \frac{u_1^2}{2}$$

$$3- \text{تغير الضغط الستاتيكي للسائل في الدوار (الدافع).} \quad \frac{w_1^2}{2} - \frac{w_2^2}{2}$$

3- جريان السائل عبر قرص مضخة الطرد المركزي

جزيئات السائل تتحرك من المركز في صفائح مستطيلة إلى محور القرص الدائر، وبفرض أن عدد الريش لا نهائي فإن جميع الجزيئات تتحرك تارة بشكل مطلق (بالنسبة للغلاف) و تارة بشكل نسبي (بالنسبة للقرص). للجريان الحقيقي

عدد الريش محدد والحركة دورية بالنسبة للمحور، وبالتالي توزع السرعة والضغط غير مستمر على السطح.

بفرض أن قرص مضخة الطرد المركزي يعمل عند سرعة زاوية ثابتة ω . السرعة المطلقة عند المدخل والمخرج c_2, c_1 والسرعة المحيطية $u_2 = r_2 \cdot \omega, u_1 = r_1 \cdot \omega$ والسرعة النسبية w_2, w_1 .

الزوايا α_2, α_1 تحدد انحراف شعاع السرعة المطلقة عند المدخل والمخرج عن شعاع السرعة المحيطية.

الزوايا β_2, β_1 تحدد انحراف شعاع السرعة النسبية عند المدخل والمخرج عن اتجاه المماس. وفي الوقت نفسه تمثل زوايا انحراف الريش عند مدخل ومخرج القرص.

في معظم الحالات تكون $\alpha_1 = 90^\circ$ أي أن السائل يدخل إلى القرص بدون دوامات. إن المضخات ذات التدفق المحوري والطرود المركزي هي مضخات هيدروليكية عموماً، وفي كلا النوعين مبدأ العمل يعتمد على ازدياد طاقة السائل خلال تدفقه عبر المضخة بواسطة طاقته الحركية التي تضاف للسائل بواسطة الدافع (impeller) الذي يقاد بمحرك كهربائي أو أية وسيلة أخرى.

4- معامل الانزلاق (Slip Factor)

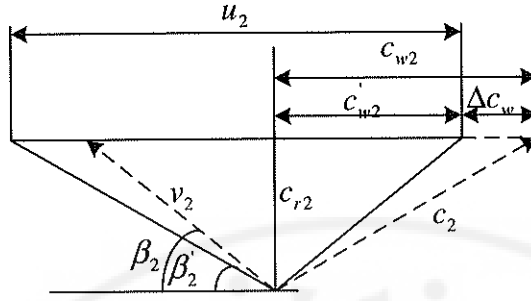
كما رأينا سابقاً لا يوجد تأكيد أن السائل الحقيقي يأخذ شكل الشفرة. يوجد عادة انحراف بسيط للسائل عن اتصاله بالشفرة الدوارة كما هو مبين الشكل (3-13) مثلث السرعات للدافع.

الزاوية الحقيقية وزاوية خروج السائل من الدافع β_2', β_2

مركبات السرعة المطلقة الموافقة للزوايا β_2', β_2 C_{w2}', C_{w2}

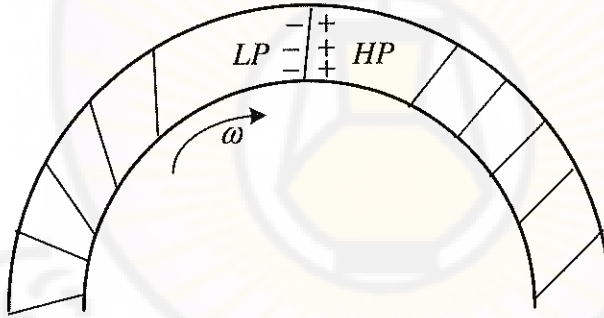
C_{w2} تتناقص إلى قيمة C_{w2}' والفرق بينهما ΔC_{w2} يحدد قيمة الانزلاق أما

$$\sigma = \frac{C_{w2}'}{C_{w2}} \quad \text{معامل الانزلاق فيحدد بالعلاقة:}$$



الشكل (13-3) مثلث السرعات عند الخروج من الدافع مع انزلاق

وبحسب ستودولا (Stodola) الانزلاق في مضخات الطرد المركزي والضواغط يتناسب مع دوران السائل في الاتجاه المعاكس ومع مجموع السرعات الزاوية للدافع. الشكل (14-3) يبين التوضع الجانبي للشفرات حيث الضغط العالي، بينما على جانب الشفرة من جهة الناشرة ضغط منخفض وهو يتناسب مع سرعة أعلى



الشكل (14-3) توزيع الضغط على مروحة الدافع

وتتدرج بقيمتها بدءاً من الممر. يتوزع الضغط مع ترافق بالدوران حول الشفرة عند الخروج، لذلك فإن السرعة المنخفضة تكون من جهة الضغط العالي والسرعة المرتفعة من جهة الضغط المنخفض. وتوزع السرعة بالاتجاه القطري غير منتظم. وبسبب هذا التناسب يمكن للتدفق أن يفصل عن سطح الشفرة وعندئذ تكون C_{w2} أصغر من C'_{w2} والفرق يحدد قيمة الانزلاق. وبحسب ستودولا إذا كانت السرعة الزاوية للدافع ω فإن

السرعة الزاوية للسائل يجب أن تكون ω ، ونتيجة ذلك تكون الحركة الدورانية النسبية للقناة على شكل دوامة نسبية.

نتيجة المناقشة السابقة يخرج السائل من الدافع عند زاوية نسبية بالنسبة له أقل من زاوية الدافع كما ذكر سابقاً.

ومن العلاقة $\sigma = \frac{C'_{w2}}{C_{w2}}$ من أجل الشفرات القطرية التي تستعمل غالباً في

الضواغط الطاردة المركزية حيث: $\beta_2 = 90^\circ$ يصبح معامل الانزلاق: $\sigma = 1 - \frac{\pi}{n}$

عدد المراوح n

معامل الانزلاق Stanitz $\sigma = 1 - \frac{0.63\pi}{n}$

بإضافة معامل الانزلاق لمعادلة أويلر للمضخات

$$\frac{W}{m} = (\sigma \cdot u_2 \cdot C_{w2} - u_1 \cdot C_{w1})$$

عملياً: تؤخذ القيمة $\sigma = 0.9$ للسوائل المثالية.

5- ضياعات المضخة

تقسم الضياعات خلال عملية الضخ في المضخات الطاردة المركزية إلى:

1- ضياعات ناتجة عن الدوامات وضياعات احتكاك عند مدخل ومخرج الدافع وفي الناشرة.

2- ضياعات هيدروليكية في مقطع أنبوب التوزيع.

3- ضياعات دوامية وميكانيكية ناتجة عن الاحتكاك في المضاجع وعلبة

الحشوات. تكون الطاقة المقدمة من المحرك للدافع تساوي الطاقة الناتجة عنه

مضافاً إليها الضياعات الميكانيكية التي يعبر عنها بمجموعة المراتيد الممثلة

لهذه الضياعات. بفرض ρ كثافة السائل و Q معدل التدفق و H الضاغط

الكلي للمضخة و P_s استطاعة الدخل و H_i الضاغط الكلي في الدافع يكون

المردود مساوياً لنسبة الطاقة المقدمة للسائل من المضخة على استطاعة

الدخل حسب العلاقة:

$$\eta_o = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{P_s}$$

$$\eta_c = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H_i} = \frac{H}{H_i} \quad \text{ومردود الغلاف الحلزوني}$$

$$\eta_i = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_i \cdot H_i}{\rho \cdot g \cdot Q_i (H_i + h_i)} = \frac{H_i}{H_i + h_i} \quad \text{ومردود الدافع}$$

$$\eta_v = \frac{Q}{Q + q} \quad \text{والمردود الحجمي}$$

$$\eta_m = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_i \cdot (H_i + h_i)}{P_s} \quad \text{والمردود الميكانيكي}$$

$$\eta_o = \eta_c \cdot \eta_i \cdot \eta_v \cdot \eta_m \quad (48-3)$$

$$\eta_h = \frac{H}{H_i + h_i} \quad \text{والمردود الهيدروليكي}$$

6- تأثير شكل شفرة الدوار على العمل الناتج

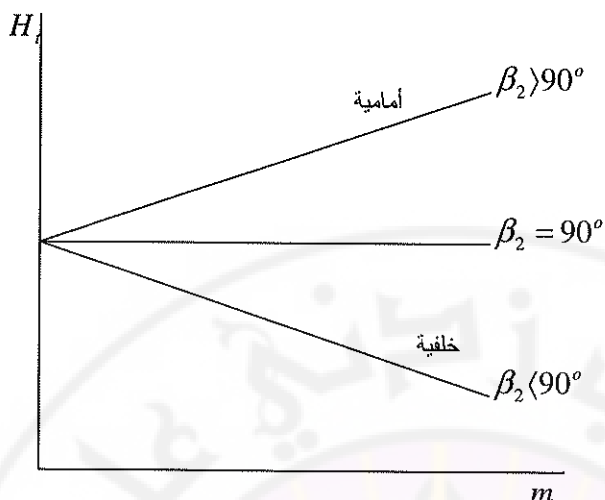
يبين الشكل (15-3) تغير الضاغط النظري H_t بالنسبة لتغير الزاوية β_2 للشفرات:

1- شفرات منحنية للخلف $\beta_2 < 90^\circ$

2- شفرات قطرية مستقيمة $\beta_2 = 90^\circ$

3- شفرات منحنية للأمام $\beta_2 > 90^\circ$

يبدو من الشكل أن C_{w2} في الحالة الأولى تتناقص بشكل أكبر وبالتالي فإن الطاقة المنتقلة من الدوار إلى الدافع أقل مع انحراف بالسرعة.



الشكل (15-3) تأثير زاوية التصميم على قيم الضغوط النظري للمضخة

بينما الحالة الثالثة الطاقة المنقولة أكبر والسرعة أعلى لذلك تؤخذ القيمة $\beta_2 > 90^\circ$ أثناء التصميم لكن مخطط السرعة يبين أن الطاقة الحركية الكبيرة مطلوبة حيث يقابلها انخفاض بقيمة الضغط الستاتيكي الناتج عن الناشرة في الغلاف الثابت وهذا يؤدي لصعوبة تحقيق غلاف ذا حجم معقول. بينما القيمة $\beta_2 = 90^\circ$ لمراوح الضواغط القطرية ذات السرعات العالية جداً وتأمين ضغط عالٍ لها بعض المميزات. فهي سهلة التصنيع والإنتاج نسبياً وغير معقدة التصميم لتحمل إجهادات الانحناء

7- الغلاف (المجمع) الحلزوني أو المتدرج (الملتف)

يتألف الغلاف الحلزوني أو المتدرج من:

- الممر الدائري مع تزايد في المقطع وميزته البساطة والكلفة المنخفضة. ازدياد مساحة المقطع تزيد التفريغ حول المحيط الخارجي للدافع وتكون السرعة ثابتة. عندئذ يكون الضغط الستاتيكي ثابتاً أيضاً والدفع القطري مساوياً للصفر. أي تغير في الحمولة (معدل التدفق.....) عن الشروط التصميمية سيكون تأثيرها على الدفع القطري وقد يؤدي انحناء المحور.

- الممر الحلزوني مع انحراف جدران الدوار واتصاله مع الشكل الدائري خارج الجدار.

- المقطع الدائري يستعمل للتقليل من ضياعات دوامة احتكاك وتصادم السائل بجدران الغلاف ليخرج من الدافع.

8- الناشرة غير الدوارة VANLESS DIFFUSER

تتألف من ممر حلقي دون دوران حول الجزء الدائر ممر الناشرة غير الدوارة وعملية الانتشار والمردود لها معقول وتكون أكثر ملائمة من أجل العمليات ذات المجال الواسع.

يتحدد حجم الناشرة من معادلة الاستمرار حيث معدل التدفق الكتلي في الاتجاه الشعاعي يعطى بالعلاقة:

$$m = \rho \cdot A \cdot C_r = 2\pi \cdot r \cdot b \cdot \rho \cdot C_r \quad (49-3)$$

$$C_r = \frac{r_2 \cdot b_2 \cdot \rho_2 \cdot C_{r2}}{r \cdot b \cdot \rho} \quad (50-3)$$

b عرض الشفرة

حيث أن المتغيرات المحددة برقم 2 تبين الشروط عند مخرج الدافع وغير المحددة عند أي نصف قطر r في الناشرة غير الدوارة. بفرض أن الجريان يحصل دون احتكاك في الناشرة وأن العزم الزاوي ثابت تكون السرعة: $C_w = \frac{C_{w2} \cdot r_2}{r}$ لكن مركبة

السرعة المماسية C_w تكون عادة أكبر بكثير من مركبة السرعة القطرية C_r وبالتالي فإن معدل سرعات الناشرة بين الدخول والخروج يكون: $\frac{C_2}{C_3} = \frac{r_3}{r_2}$ وهذا يسبب

انخفاضاً كبيراً في الطاقة الحركية الناتجة ويكون شعاع الناشرة المطلوب كبيراً. لأجل الجريانات غير القابلة للانضغاط يكون $C_r \cdot r = const.$ لذلك $\tan \alpha = \frac{C_w}{C_r} = const.$

ويبقى التدفق ثابتاً ويميل بالاتجاه القطري حيث يأخذ التدفق شكل المنحني الحلزوني اللوغاريتمي. نصف القطر الجزئي dr والزاوية الجزئية للتدفق $d\theta$

$$r \cdot d\theta = dr \cdot \tan \alpha$$

$$\theta - \theta_2 = \tan \alpha \cdot \log\left(\frac{r}{r_2}\right)$$

و

$\frac{r}{r_2} = 2$ و $\alpha = 78^\circ$ التغير في زاوية الناشرة يساوي 180 درجة لأن خطوة

التدفق طويلة. إن تأثير الاحتكاك كبير ويسبب انخفاض المردود في هذا النوع من الناشرات.

9- الناشرة الدوارة

تتميز الناشرة الدوارة أنها صغيرة الحجم ويستعمل فيها الدافع لنشر الطاقة الحركية للسائل عند معدل تدفق أعلى وزيادة بسيطة في نصف القطر مع تخفيض خطوة الجريان ونصف القطر. عدد دورات المروحة وزاوية الانحراف يكون أصغر مع ازدياد في الاحتكاك لكن تصبح الناشرة أكثر فعالية.

يكون مقطع عبور الجريان في ممر الناشرة دائرياً بحيث يكون نصف القطر الهيدروليكي أكبر ما يمكن. وعدد دوائر الناشرة لا يتعلق بعدد دوائر الدافع (الجزء الدوار) ويعمل المجمع مع الناشرة عند مردود أعظمي فقط عند النقطة التصميمية. أي انحراف عن القيم التصميمية سيغير مثلث السرعات عند الخروج وللجريان التالي في الغلاف.

10- التكيف في المضخات

يسبب التكيف تبخر موضعي للسائل عندما يصبح الضغط الستاتيكي الموضعي للسائل أقل من ضغط تبخر السائل. تتشكل فقاعات صغيرة أو أبخرة تنفجر فجأة عند مرورها في منطقة الضغط العالي. هذه الفقاعات المنفجرة تشكل قوى كبيرة تؤدي لزيادة الضغط لقيمة أعلى من 3500 atm في المضخات الطاردة المركزية. يسيطر الضغط المنخفض عند مدخل الدافع (الجزء الدوار) حيث يكون السائل متسارعاً في أعلى السطوح الدوارة. يكون التكيف في العنفات أكبر ويحدث عند خروج التيار من نهاية الريشة من جهة الضغط المنخفض.

عندما يحدث التكيف يسبب ما يلي:

- 1- تشكل حفر موضعية على الجزء الدوار وتآكل سطح المعدن.
- 2- استمرار التآكل يؤدي لأذى خطير للمعدن
- 3- اهتزاز الآلة وحدوث ضجيج ناتج عن شكل الحبيبات القاطعة (الحدة) الناتجة عن التآكل.
- 4- تناقص في المردود وفعالية الجريان.

لتجنب ظاهرة التكيف يتم من خلال تحديد معدل التفريغ وسرعة الدوران في المضخة ويحدد باراً متر التكيف σ_c من قيمة الضاغط الكلي عند مدخل المضخة الأكبر من ضغط التبخر مقسوماً على الضاغط الناتج (المانومتري) H عن المضخة حسب العلاقة:

$$\sigma_c = \left(\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} - \frac{PV}{\rho \cdot g} \right) / H \quad (51-3)$$

يتعلق باراً متر التكيف بالسرعة ومردود المضخة وعدد الأجزاء الدوارة (الشفرات).

- سرعة الامتصاص الفعالة

يتعلق مردود المضخة بشروط التدفق وبسرعة الامتصاص الفعالة

$$N_{suc} = N \cdot Q^{1/2} [g(NPSH)^{-3/4}] \quad (52-3)$$

$$\eta = f(Q, N_{suc})$$

$$\sigma_c^{3/4} = \frac{N_s}{N_{suc}} = (NPSH)^{3/4} / H^{3/4} \quad (53-3)$$

$NPSH$ ضاغط الامتصاص الموجب للمضخة

ب- مضخة الجريان المحوري

ينشأ الضغط في مضخة الجريان المحوري من تدفق السائل فوق الشفرات وتتألف من الدافع (الجزء الدوار) والغلاف. تتميز أنها ذات تصميم محكم ولها القدرة

على العمل عند سرعات عالية وحقل الجريان نفسه عند المدخل والمخرج والضغوط الأصغري لها 20m.

آ- تصميم نظام الضخ

التصميم المناسب لنظام الضخ يعتبر عنصراً مهماً جداً في تخفيض الكلفة وبأخذ بالاعتبار التفاعل بين المضخة وثبات النظام وحساب وتحديد نقاط التشغيل المهمة. تتكون جميع أنظمة الضخ من: المضخة - المحرك القائد - تجهيزات الأنابيب - أنظمة التحكم. مميزات النظام تساعد في تحديد اختيار المضخة المطلوبة في الأنظمة البسيطة و الأكثر تعقيداً.

الكلفة الكلية للتجهيزات خلال فترات العمل تمثل كلفة التصنيع والتشغيل. تعتمد كلفة التشغيل مباشرة على أقطار الأنابيب ومركبات نظام الضخ. تحصل ضياعات الضخ في الصمامات والأجهزة الصغيرة وصمامات التحكم في تجهيزات صمامات الخنق للمنظمات. في الأنظمة التي تتكون من عدة مضخات يتم تحديد المضخة العاملة مقارنة مع نظام الضخ حسب التدفق المطلوب.

اختيار قطر الأنبوب يتعلق بعدة عوامل هي:

- 1- اقتصادية التجهيزات (مضخات , نظام)
- 2- سرعة الجريان المطلوبة أثناء التشغيل أقل ما يمكن
- 3- القطر الداخلي المطلوب أصغر ما يمكن
- 4- سرعة جريان أعظمية بحيث يكون التآكل في الأنابيب والوصلات أقل ما يمكن
- 5- أقطار الأنابيب نظامية

إن اختيار قطر صغير للأنبوب له التأثيرات التالية:

- تناقص كلفة نظام الأنابيب وعناصره والتجهيزات
- تزداد كلفة تجهيزات المضخات وتزداد ضياعات الجريان حيث يتطلب ذلك استخدام ضاغط مرتفع وبالتالي محرك أكبر لتشغيل المضخة فتزداد كلفة الأنظمة الكهربائية.

- تزداد كلفة التشغيل وتؤدي لاستعمال طاقة أكبر بسبب زيادة ضياعات الاحتكاك.

تزداد بعض الكلف مع زيادة حجم الأنابيب وبعضها ينقص لذلك يتم اختيار حجم مثالي للأنابيب تكون فيه الكلفة أصغر مع زيادة في عمر النظام. أحياناً يكون المطلوب تغطية عدة نقاط تشغيل من المضخة، في هذه الحالة يحدد معدل تشغيل المضخة من الضاغط أو من أكبر جريان. يجب أن يكون استعمال المضخة دقيقاً خلال التشغيل عند نقطة التشغيل الأحادية لضبط اختيار عدة مضخات في النظام واختيار خرج التحكم.

ب- طرق تحليل مكونات أنظمة الضخ

تحسين مكونات نظام الضخ يتم من خلال الخطوات التالية:

- 1- توثيق كامل الموجودات في نظام الضخ
- 2- تحديد معدل الجريان لكل حمولة في النظام
- 3- موازنة النظام بحيث يقابل كل حمولة معدل التدفق المطلوب
- 4- جعل ضياعات النظام أصغر مع مناسبة لموازنة معدلات الجريان
- 5- تصغير الضاغط الزائد للمضخة في موازنة النظام من خلال تغيير تأثير المضخة

6- تطابق المضخات مع تخفيض كلفة الصيانة العالية

يمكن استعمال إحدى الطريقتين لتحليل أنظمة الضخ. الأولى تعتمد على مراقبة التشغيل لنظام الضخ الفعلي (الضغوط، فروق الضغط، معدلات الجريان). والثانية تعيين وتدقيق النموذج الرياضي لنظام وحساب الضغط ومعدلات التدفق، وإجراء حسابات تفصيلية لتحليل المواصفات التقنية للسائل، ثم تدقيق بعض الأسس لتخفيض كلفة التشغيل كما يلي:

- الأخذ بالاعتبار جميع الكلف لتحديد كلفة دورة التشغيل

- كلفة المضخات والأنظمة المستعملة في دورة التشغيل

- الكلفة الكلية (تشغيل وإنشاء)

- نقاط تشغيل المضخة منفردة
- تجهيزات النظام تكون ذات فائدة أعظمية
- نوع المضخة
- ألا يكون حجم المضخة أكبر من المطلوب
- نوع محرك تدوير المضخة
- المحركات ذات مردود عالي
- أكبر فائدة من تشغيل النظام والمضخة
- الطاقة المستعملة لصمامات التحكم

ت- تفاعل نظام الضخ

- نقطة التشغيل الفعلية على المنحني المميز لنظام الضخ تتحدد بمميزات نظام الضخ من خلال تفاعل مميزات التشغيل لنظام التجهيزات وتتألف المميزات من:
- الضاغط الستاتيكي الذي يمثل فرق الارتفاع بين مستوى التيار الأعلى والأدنى
 - ضياعات الطاقة في النظام (عادة الاحتكاك في الأنابيب) تابعة لضغوط السرعة
 - نقطة التفاعل للمنحنيات، نقطة التشغيل الحقيقية وتحديد الضاغط الذي تؤمنه المضخة للضخ والسحب. مردود المضخة عند هذه الشروط، ومن الملاحظ أن مردود المضخة عند نقطة التشغيل يمثل بارامتراً حرجاً لاختيار المضخة واستقرار عملها في النظام

ث- تحليل عمر الدورة

- إضافة لكلفة تشغيل نظام الضخ بارامتر تصميمي واحد سيتغير. بالنسبة لسلوك النظام ولأجل جميع العمليات الممكنة فإن البارامترات التي يمكن أن تتغير هي:
- متغيرات موسمية عند الطلب
 - زيادة الطلب على الماء مع تزايد عدد السكان
 - زيادة الاحتكاك يحدّد عمر الأنابيب

لأجل جميع الشروط والظروف من الضروري أن لا تعمل المضخة عند المردود الأعظمي وهذا يستدعي استعمال عدة مضخات تعمل بفترات مختلفة.

ج- تغير سرعة الضخ

تتحدد عملية ضخ المياه من مجموعة المحرك والمضخة بالطاقة الناتجة عن المحرك الكهربائي. التي تعمل عند معدل سرعة 3000 r.p.m لتردد A.C مع عدد بارات الأقطاب في المحرك N وتخفيض سرعة المضخة إلى $3000/N$ r.p.m. تقاد المضخات بواسطة سير أو محرك ديزل وتكون أكثر مرونة.

تحليل نظام العملية من خلال عمل الضاغط والتفريغ ومميزات المردود من أجل سرعة تشغيل جزئية. توضع قيم الضاغط والتفريغ ومميزات المردود عند السرعة N في جدول، بينما المميزات عند السرعة N' تحدد من العلاقات:

$$Q' = \left(\frac{N'}{N}\right) \cdot Q \quad (54-3)$$

$$H' = \left(\frac{N'}{N}\right)^2 \cdot H \quad (55-3)$$

$$\eta' = \eta$$

3-7- عمليات الضخ المتعددة

أكثر أنواع محطات الضخ تحوي مضختين أو أكثر من المضخات العاملة على التوازي. وهذا يعطي مرونة في العملية مع إمكانية العمل وفق شروط الجريان والصيانة.

أحياناً الحالة التي تصادف في العملية هي سلسلة لدعم الخرج. هذا يعني أي هبوط يؤثر على فعالية النظام المميزات (الضاغط- منحنيات التفريغ) تحتوي على تركيب المنحنيات الانفرادية. حيث المضخات تعمل على التوازي والمنحني يتحدد من معرفة معدلات الجريان للضاغط المعلوم.

المضخات التي تعمل على التسلسل يتحدد فيها المنحني من معرفة الضاغط للجريان المعلوم.

3-8- ارتفاع السحب الموجب الصافي

$NPSH$ ارتفاع السحب الموجب الصافي الذي يحدد ظاهرة التكهف في المضخة. $NPSH$ يمكن أن يحدّد هبوط الضغط بين مدخل المضخة والحركة الديناميكية للسائل عند خروجه من الدوار التي تؤدي لزيادة الضغط.

$NPSH$ يؤمن ضخ دون تبخر السائل في المرحلة الأولى للجزء الدوار.

إن قيمة $NPSH$ المطلوبة تتعلق بضغط السائل عند مدخل المضخة

$$NPSH_a = \frac{2.31(P + P_a - P_v)}{\gamma} + (s - B - l + \frac{v^2}{2g}) \quad (56-3)$$

$NPSH_a$ الضاغط الموجب الامتصاصي

P_{abs} الضغط فوق سطح السائل

P_a الضغط الجوي

P_v ضغط تبخر السائل عند شروط الضخ

γ الوزن النوعي للسائل

S الارتفاع الستاتيكي للسائل

B البعد بين مركز المضخة الماص والدفع

L ضياعات الاحتكاك V سرعة السائل في الفوهة

مسائل محلولة

المسألة الأولى:

مضخة طاردة مركزية تدور بسرعة $12[m/s]$ وسرعة الجريان $1.5[m/s]$
 قطر الدوار $1.2[m]$ وغزارة الماء $3.8[m^3/min]$ زاوية الخروج 28 درجة.
 بفرض أن السائل محوري والانزلاق معدوم احسب: العزم على الدوار

الحل:

$$\beta_2 = \beta'_2 \quad \text{الانزلاق معدوم أي}$$

$$H = E = (u_2 c_{w2} - u_1 c_{w1}) / g$$

عندما $c_{w1} = 0$ لا يوجد مركبة للسرعة على مدخل الدوار

$$H = E = (u_2 c_{w2} / g)$$

$$H = (u_2 - \frac{1.5}{\tan 28}) / g = \frac{1}{9.81} (12 - \frac{1.5}{\tan 28})$$

$$H = 11.23[m]$$

الاستطاعة

$$P = \rho . g . Q . H [J / s]$$

$$P = \frac{1000 * 9.81 * 3.8 * 11.23}{60 * 1000} 6.9[kW]$$

العزم = الاستطاعة / السرعة الزاوية

$$\text{العزم} = \frac{P}{\omega} = \frac{6980 * 0.6}{12} = 349[N.m]$$

المسألة الثانية:

في مضخة تدفق محوري يخرج الماء بغزارة $1.3[m^3/s]$ وسرعة دوران $550 [r.p.m]$ الضاغط الكلي $H=10[m]$ بفرض أن سرعة الشفرة $22[m/s]$
 وسرعة التدفق $4.5 [m/s]$ والمردود الهيدروليكي 0.87 وكردود المضخة 0.83
 المطلوب أوجد:

- استطاعة المضخة واستطاعة المحرك الكهربائي

- قطر المحور الدوار وقطر الرأس

- زاوية الدخول والخروج للدوار

الحل:

الاستطاعة المقدمة للماء (استطاعة المضخة)

$$P = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q / 1000 [kW]$$

$$P = 1000 \cdot 9.81 \cdot 1.3 \cdot 10 / 1000 = 127.53 [kW]$$

استطاعة المحرك

$$P_e = \frac{P}{0.83} = \frac{127.53}{0.83} = 153.65 [kW]$$

قطر الدوار

$$D_2 = \frac{60 \cdot u_2}{\pi \cdot N} = \frac{60 \cdot 22}{\pi \cdot 550} = 0.764 [m]$$

قطر المحور

$$D_1^2 = D_2^2 - \frac{Q}{\frac{\pi}{4} c_a} = (0.764)^2 - \frac{1.3}{\frac{\pi}{4} \cdot 4.5}$$

$$D_1 = 0.465 [m]$$

سرعة المحور

$$u_1 = \frac{D_1}{D_2} u_2 = \frac{0.465}{0.764} \cdot 22 = 13.39 [m/s]$$

السرعة المحورية ثابتة

زاوية الدخول والخروج

$$\alpha_{1t} = \tan^{-1} \frac{c_a}{u_1} = \tan^{-1} \frac{4.5}{13.39} = 18.58^\circ$$

$$\alpha_{2t} = \tan^{-1} \frac{c_a}{u_2} = \tan^{-1} \frac{4.5}{22} = 11.56^\circ$$



الفصل الرابع

الضواغط والمراوح



الضواغط والمراوح

4-1 تصنيف أجهزة الانضغاط

نميز في مجموعة تجهيزات الانضغاط التي تقاد بمحرك: آلات انضغاط السوائل وتدعى مضخات (الفصل السادس مضخات) وآلات انضغاط الغازات وتدعى ضواغط، نافخات، أو مراوح. تتميز بجودة عالية للسوائل من وجهة نظر عملية الانضغاط، تحت تأثير تغير الضغط العملي دون تغير في حجمها النوعي. بينما الغازات تحت تأثير تغير الضغط يتغير حجمها وكثافتها بشكل واضح. معرفة مواصفات السائل والغاز يؤدي إلى أن عمليات الانضغاط في المضخات والضواغط تعالج من وجهات نظر مختلفة، إن عمليات الانضغاط للغازات القابلة للانضغاط صعبة ومعقدة. تكون أبعاد النافخات والمراوح معلومة مسبقاً لإنتاج طاقة ضغط لامتصاص الغاز.

- عملية الانضغاط في المضخات والضواغط يمكن أن نتحقق وفق قاعدتين أساسيتين:
 - جسم التشغيل يحقق حجماً محدداً، تحت تأثير قوى خارجية ومكبس يتحرك مدفوعاً إلى الأنابيب، حيث يسيطر ضغط أعلى من الضغط عند المدخل. المضخات والضواغط تعمل حسب قانون رافعات الضغوط أو الحجوم.
 - جسم التشغيل الممتص في نظام الجريان المحدد، يجري مع ازدياد في الضغط وفي الطاقة الحركية. يحصل على طاقة حركية إضافية تتغير حسب شكل الأبنية والفوهات. تعمل وفق هذا القانون آلات الجريان مضخات وضواغط.
- مبدأ العمل والمواصفات التصميمية للضواغط والنافخات والمراوح والضواغط الحجمية مبينة لاحقاً. حسب طريقة جريان الغاز أثناء عملية الانضغاط تقسم إلى:
 - آلات جريان قطرية ومحورية.
 - حسب زيادة الضغط تقسم إلى:

1- مراوح، حيث الكثافة عمليا للغاز المضغوط لا تخضع للتغير، ونسبة الانضغاط

$$\pi = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{1.15}$$

الكلية تكون

حيث: الدليل 1,2 نهاية وبداية عملية الانضغاط

تصمم المراوح على شدة التدفق الحجمي منسوبة إلى الشروط الاسمية

$$V_N = (0,025 - 280) m^3 / sec$$

2- نافخات، حيث نسبة الانضغاط الكلية $\pi \leq 2$ وتعمل بدون تبريد للغاز خلال

$$V_N = (0.25 - 140) m^3 / sec$$

عملية الانضغاط. تصمم على شدة جريان حجمي

3-ضواغط، حيث نسبة الانضغاط الكلية $\pi > 2$ وتعمل بهدف رفع المردود مع وجود

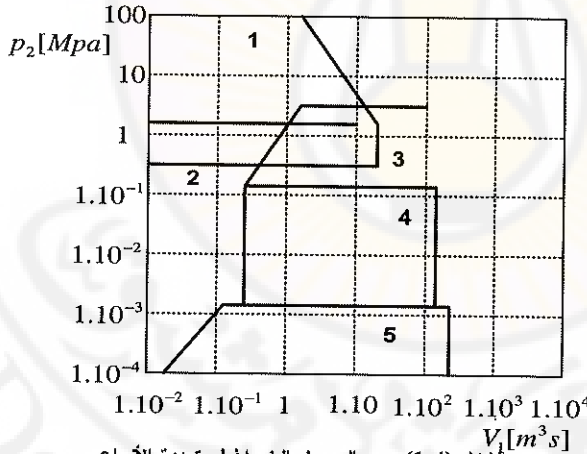
نظام تبريد للغاز المضغوط. تصمم عند شدة تدفق (غزارة حجمية) حجمي.

$$V_N = (0.25 - 100) m^3 / sec$$

مجال عمل الضواغط والمراوح مع الأخذ بالاعتبار زيادة الضغط وشدة التدفق

الحجمي مبين على الشكل (1-4). تصلح المراوح لاستخدامها في العمليات

الصناعية (مراوح نفخ وسحب نواتج الاحتراق في تجهيزات المراحل والأفران



الشكل (1-4) مجال عمل الضواغط متعددة الأنواع

1- الضواغط المكسبية، 2- الضواغط الدورانية،

3- الضواغط المحورية والقطرية 4- النافخات المحورية والقطرية،

5- المراوح المحورية والقطرية

الصناعية، مراوح لتبريد المولدات والمحركات الكهربائية، مراوح لتبريد النواتج الصناعية، مراوح لتسخين الهواء..)، لتهوية الحجرات الصناعية، مناجم الفحم، الأنفاق والنقل الهيدروليكي.

النافخات والضواغط تصلح لإنتاج الهواء المضغوط أو غازات أخرى في المنشآت الصناعية الكيميائية، علم المعادن، الغاز الطبيعي، تصنيع النفط الخام، تجهيزات التبريد والنقل الهيدروليكي. الضاغط عنصر رئيسي في العنفات الغازية ونواتج الاحتراق ومحركات الاحتراق الداخلي لضغط هواء الدخول.

2-4 المعادلات الأساسية لآلات الجريان

القوانين النظرية للآلات الجريان هي:

- معادلة برنولي
- معادلة الاستمرار
- قانون كمية الحركة، الذي يعرف بقانون العزم الحركي
- معادلة برنولي

جريان غاز مثالي وحيد البعد بدون ضياعات عبر قناة يمكن تحديده من معادلة برنولي:

$$\frac{c^2}{2} + \int_{p_0}^p \frac{dp}{\rho} + gh = idem \quad (1-4)$$

حيث: c, p, p_0 على التوالي قيمة ثابتة للضغط حسب المكان، الضغط الستاتيكي، سرعة جزيئة الغاز

في المعادلة 1-3-2 العنصر gh يأخذ بالاعتبار تأثير الارتفاع الذي تتوضع فيه جزيئة الغاز المدروسة، للآلات الجريان ذات المجال الصغير تهمل بالنسبة لحجمها وأبعادها. المعادلة 1-3-2 ستكون معادلة الحركة الكاملة، وهي مهمة للجريان المستقر، وحيد البعد، الذي يجري في حقل الجاذبية بفرض الجسم العامل غير لزج. نتيجة تغير الضغط تتغير الكثافة ρ ، درجة الحرارة T ، والحجم النوعي v ويعطى للغاز الكامل حسب العملية الأديباتية:

$$pv^\gamma = \frac{p}{\rho^\gamma} = idem$$

$$\frac{T}{\rho^{\frac{(\gamma-1)}{\gamma}}} = idem \quad (2-4)$$

$$\frac{c_p}{c_v} = \gamma = idem$$

الفرق بين الضغط الكلي p_c والضغط الستاتيكي p_{stst} يدعى الضغط الديناميكي

$$p_{dyn} = p_c - p_{stst} \quad (3-4)$$

$$p_{dyn} = \rho \left(\frac{c^2}{2} \right) \quad \text{للغازات غير القابلة للانضغاط}$$

- معادلة الاستمرار

معادلة الاستمرار هي نتيجة قانون حفظ الكتلة. شكلها التفاضلي:

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + \lim_{v \rightarrow 0} \frac{1}{V} \frac{dV}{dt} = 0 \quad (4-4)$$

حيث: V الحجم الذي يشغله التيار الجزئي للغاز، خلال تغير الزمن

لنظام الإحداثيات الثلاثية تصبح المعادلة بالشكل:

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + \frac{\partial c_x}{\partial x} + \frac{\partial c_y}{\partial y} + \frac{\partial c_z}{\partial z} = 0 \quad (5-4)$$

أما لجريان التيار في مقطعين كل منهما F تصبح معادلة الاستمرار بالشكل:

$$\frac{dm}{dt} = \rho_2 c_2 F_2 - \rho_1 c_1 F_1 = 0 \quad (6-4)$$

dm الكتلة العنصرية للغاز

- قانون كمية الحركة

كمية الحركة الخارجية الضرورية لتحريك القرص الدوار تساوي الفرق في عزم

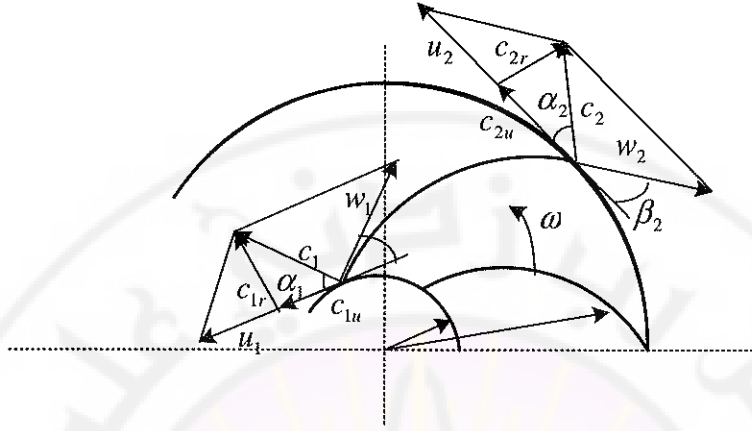
الانضغاط بين مدخل ومخرج أفنية الريش الدوارة الشكل (2-4).

كمية الحركة للجريان عبر أفنية الريش الدوارة

$$M = Rc_u \dot{m} \quad (7-4)$$

حيث:

على التوالي: شدة التدفق للغاز المضغوط، المركبة المحيطية للسرعة المطلقة، نصف قطر المقطع المدروس بالنسبة لمحور دوران كتلة الغاز.



الشكل (2-4) مخطط مرحلة قطرية

حسب الشكل (2-4) يمكن تحديد كمية الحركة اللحظية

$$M_1 = R_1 c_{1u} \dot{m} \quad \text{عند المدخل}$$

$$M_2 = R_2 c_{2u} \dot{m} \quad \text{عند المخرج}$$

والقوة الخارجية تساوي الزيادة في عزم الانضغاط

$$M = M_2 - M_1 = \dot{m} (R_2 c_{2u} - R_1 c_{1u}) \quad (8-4)$$

هذه المعادلة مهمة لجريان الغازات اللزجة وغير اللزجة.

الطاقة المقدمة من الخارج للقرص الدوار خلال ثانية بهدف تحريكه بسرعة زاوية ω تساوي:

$$M \omega = \omega \dot{m} (R_2 c_{2u} - R_1 c_{1u}) = \dot{m} (u_2 c_{2u} - u_1 c_{1u}) \quad (9-4)$$

بالنسبة لـ 1kg من الغاز الزيادة الكلية في الانتالبي H_c ، المقدمة خلال عملية الانضغاط في أفنية القرص الدوار هي:

$$M \omega = \dot{m} H_c \quad (10-4)$$

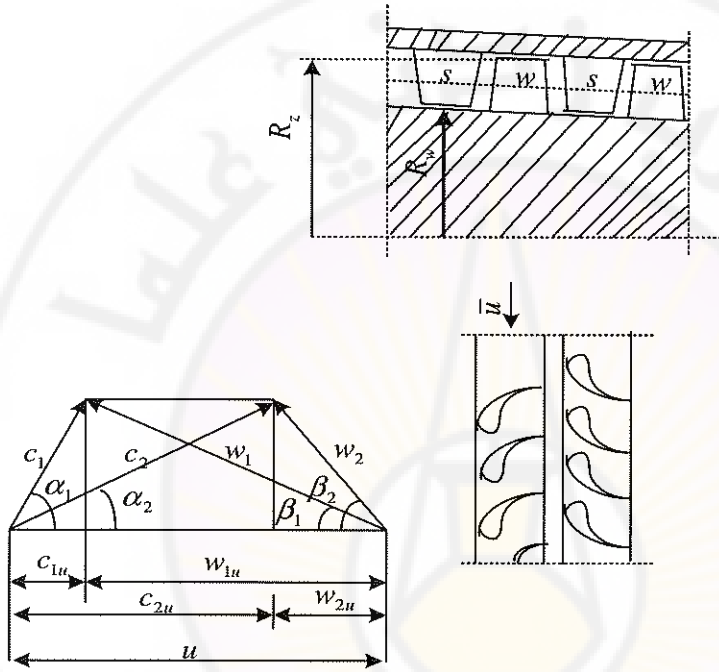
وباستخدام المعادلة 9 نحصل على العلاقة التي تحدد الزيادة الكلية في الانتالبي

$$H_c = u_2 c_{2u} - u_1 c_{1u} \quad (11-4)$$

إذا أهمل تغير الكثافة نتيجة الاحتكاك، لعملية الانضغاط الادياباتيية الزيادة الكلية في الضغط في أفنية القرص الدوار هي:

$$\Delta p_c = p_{2c} - p_{1c} = \rho H_c \quad (12-4)$$

في آلات الجريان ذات الجريان المحوري يبين الشكل (3-4) مخطط مرحلة محورية



الشكل (3-4) مخطط مرحلة محورية

للتيار العنصري $u_2 = u_1 = u$ على الشكل يمكن قراءة أن $c_{2u} - c_{1u} = w_{1u} - w_{2u}$ والمعادلة 11 تأخذ الشكل

$$H_c = u \Delta w_u = u \Delta c_u \quad (13-4)$$

من المعادلات (11-3-2)، (12-3-2)، (13-3-2) ينتج أنه عند سرعات محيطية مختلفة للغاز غير القابل للانضغاط الزيادة الكلية في الانتالبي أو في الضغط تتعلق بالمركبة المحيطية للسرعة المطلقة.

3-4 المعادلات الترموديناميكية الأساسية لعملية الانضغاط

آ- المجاري المتحركة

خلال جريان الغاز عبر الأفنية المتحركة يكون العمل اللازم للانضغاط حسب العلاقة:

$$dl_f = di + d\left(\frac{c^2}{2}\right) + dq \quad (14-4)$$

حيث: $di, dq, d\left(\frac{c^2}{2}\right)$ تغير الطاقة الحركية للغاز، الطاقة الحرارية الناتجة عن الغاز في القناة، زيادة انتالبي الغاز.

بمكاملة العلاقة السابقة تصبح

$$l_f = (i_2 - i_1) + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} + q_{1-2}$$

العلاقة تحدد العمل اللازم لعملية الانضغاط ويمكن أن تكتب بأشكال مختلفة. العملية الترموديناميكية الحقيقية للجريان والغاز المضغوط تتميز بوجود ضياعات احتكاك بين الغاز وجدران القناة، مما يؤدي لنقص في عملية الانضغاط عن القيمة المحددة وتشكل دوامات. عمل الاحتكاك l_f يعبر عن كمية الحرارة q_f الناتجة عن ضياعات الاحتكاك. حسب قانون الترموديناميك الأول لنظام ذي حركة مألوفة تكون عملية الانضغاط ممثلة بالعلاقة:

$$vdp + dq_f = di + dq \quad (15-4) \quad \text{ومنه}$$

$$\int_1^2 vdp + l_{f1-2} = (i_2 - i_1) + q_{1-2} \quad (16-4)$$

$$dl_f = vdp + d\left(\frac{c^2}{2}\right) + dq_f \quad \text{بالتعويض}$$

$$l_f = \int_1^2 vdp + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} + l_{f1-2} \quad \text{أو}$$

المعادلة الأخيرة مهمة للتحويل العكوس واللاعكوس وللغازات المثالية والحقيقية. العمل التكنيكي المقدم للغاز خلال عملية الانضغاط يكون صالحاً لضغط ونقل جزيئات الغاز.

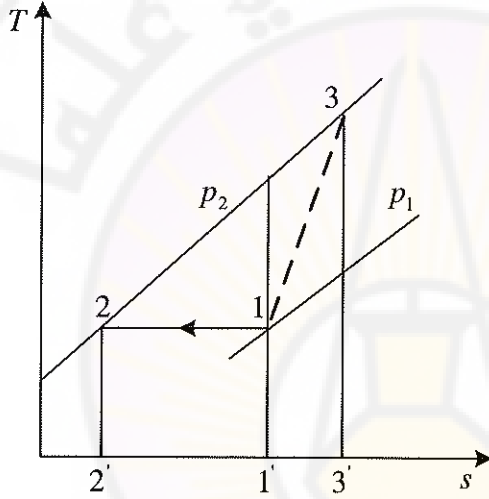
الانضغاط الايزوثيرمي. $T=\text{cons.}$

يبين الشكل (4-4) عملية الانضغاط الايزوثيرمية مبينة على مخطط T-s حسب المعادلة (2-3-16) تكون كمية الحرارة الناتجة عن الغاز

$$q_{1-2} = \int_1^2 v dp + l_{f1-2} - (i_2 - i_1)$$

حسب مواصفات الغاز الكيميائية نفرض $(\frac{\partial i}{\partial p})_T = 0$ أي أن $i_2 = i_1$

$$l_f = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} + q_{1-2} \quad \text{يكون العمل التكنيكي}$$



الشكل (4-4) عملية الانضغاط الايزوثيرمي على مخطط T-s

لتحولات الغازات المثالية العكوسة $l_f = 0$ والطاقة الحرارية التي يجب أن يقدمها الغاز المضغوط تمثل المساحة المحددة تحت المنحني 1'-1-2-2'. للتحويلات اللاعكوسة والحقيقية تضاف كمية حرارة الاحتكاك الممثلة بالمساحة المحددة تحت المنحني 1'-1-3-3'. للتحويل العكوس دون تغير الطاقة الحركية $c_2 = c_1$ العمل التكنيكي للعملية الايزوثيرمية تكون

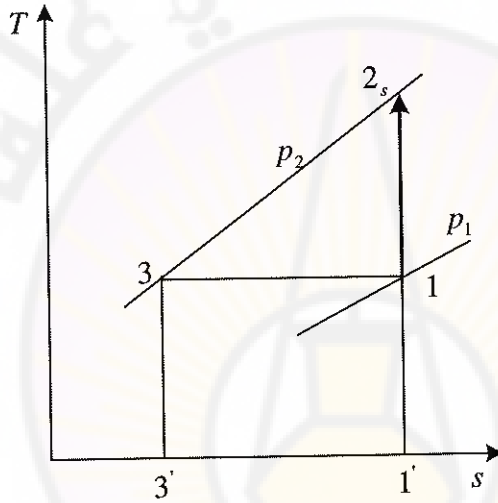
$$l_T = \int_1^2 v dp = T_1(s_1 - s_2) = p_1 v_1 \ln \frac{p_2}{p_1} = RT_1 \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (17-4)$$

الانضغاط الايزوانتروبي $s=\text{cons.}$ (الأديباتي)

للتحول العكوس دون تبادل حراري مع الوسط المحيط حيث
عملية الانضغاط مبينة على الشكل (5-4) العمل التكنيكي
الضروري لتحقيق العملية الأديباتية يعطى بالعلاقة:

$$l_s = (i_{2s} - i_1) + \frac{c_{2s}^2 - c_1^2}{2} \quad (18-4)$$

$$l_s = \int_1^{2s} v dp + \frac{c_{2s}^2 - c_1^2}{2} \quad \text{أو}$$



الشكل (5-4) عملية الانضغاط الأديباتية على مخطط T-s

إذا كانت $c_{2s} = c_1$ المعادلة تحدد عمل الانضغاط للجزيئة

$$l_s = \int_1^{2s} v dp = i_{2s} - i_1$$

العمل الضروري للعملية الأديباتية حيث

$$pv^\chi = \text{const.}, T v^{\chi-1} = \text{const.}, \frac{T}{p^{\frac{\chi-1}{\chi}}} = \text{const.}$$

$$l_s = \frac{\chi}{\chi-1} (p_2 v_{2s} - p_1 v_1) = \frac{\chi}{\chi-1} R (T_{2s} - T_1) = \frac{\chi}{\chi-1} R T_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\chi-1}{\chi}} - 1 \right]$$

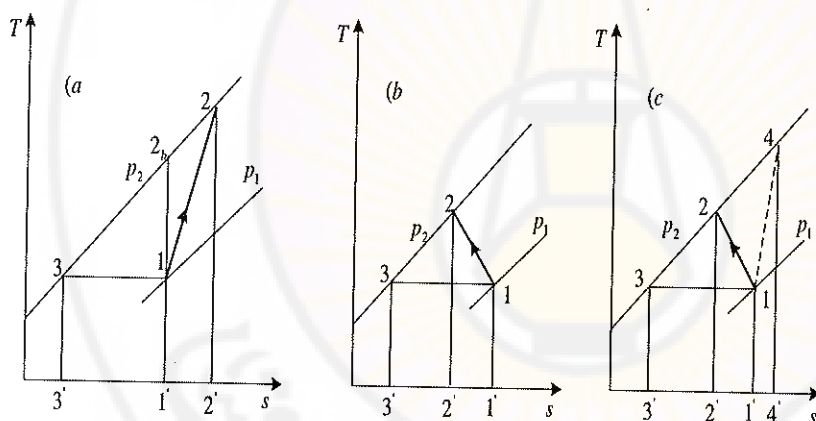
نسبة الضغط $\frac{p_2}{p_1} \leq 1.1$ (المراوح) الحجم النوعي للغاز عند الانضغاط الفعلي لا

يخضع للتغير والعمل التكنيكي يكون

$$l_s = v(p_2 - p_1) + \frac{c_{2s}^2 - c_1^2}{2} \quad (19-4)$$

الانضغاط البوليتروبي

عملية الانضغاط البوليتروبية يمكن أن تحصل بدون تبريد أو مع تبريد. لعمليات الانضغاط بدون تبريد تكون $q_{1-2} = 0$ ، لكن بسبب ضياعات الاحتكاك، ورجوع التيار والدوامات $l_{f1-2} \neq 0$. يحصل التحول اللاعكوس بسبب ضياعات الاحتكاك، ورجوع التيار والدوامات يغيران كمية الحرارة، الناتجة عن انضغاط الغاز. منحنى التحول البوليتروبي لعملية الانضغاط مبينة على الشكل (6-4) الذي ينحرف قليلاً نحو اليمين عن منحنى العملية الإيزوانتروبية.



الشكل (6-4) عملية الانضغاط البوليتروبية على مخطط T-s
a- بدون تبريد، b- مع تبريد بدون ضياعات، c- مع تبريد وضياعات

العمل التكنيكي يعطى بالعلاقة حيث $q_{1-2} = 0$

$$l_s = (i_2 - i_1) + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} \quad (20-4)$$

لتحديد العمل الكلي اللازم لعملية الانضغاط نستخدم العلاقة

$$l_t = \int_1^2 v dp + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} + l_{f1-2}$$

$$l_{poi} = \int_1^2 v dp = (i_2 - i_1) - l_{f1-2} \quad \text{العمل اللازم لعملية البوليتروبية}$$

الأس البوليتروبي n والأس الأدبياتي χ

على الشكل (4-6) إن قيمة χ n للمنحني $1 \rightarrow 2$ عادة الأس البوليتروبي له قيمة صغيرة في عملية الانضغاط. فرض هذه القيمة مهم حيث لكل قطعة من المنحني تكون ضياعات الاحتكاك متناسبة طردياً مع عمل الانضغاط وتوضع الغاز. $\cdot \frac{dl_r}{di} = const$.

وتكون علاقات التحول البوليتروبي

$$pv^n = const, Tv^{n-1} = const, \frac{T}{p^{\frac{n-1}{n}}} = const.$$

وعلاقة تحديد العمل

$$l_{poi} = \frac{n}{n-1} (p_2 v_{2s} - p_1 v_1) = \frac{n}{n-1} R(T_2 - T_1) = \frac{n}{n-1} RT_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

على الشكل (a4-6) عمل الانضغاط البوليتروبي يحدد بالمساحة $1'-1-2-3'-3$ والضياعات l_{f1-2} بالمساحة $1'-1-2-2'$ والفرق بينهما $2'-2-3-3'$ (فرق الانتالبي). عمل الانضغاط البوليتروبي أكبر من عمل الانضغاط الأدبياتي ليس فقط بضياعات الاحتكاك لكن بقيمة العمل الممثلة بمساحة المثلث $1-2-2_s$. هذا العمل الإضافي يرتبط بمراحل عملية الانضغاط حيث أنه لكل مرحلة لا يجوز أن تزيد درجة حرارة الغاز المضغوط عن درجة الانضغاط الأدبياتي.

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad \text{و} \quad c_p = \frac{\chi}{\chi-1} R \quad \text{للغاز المثالي}$$

و فرق الانتالبي

$$i_2 - i_1 = \frac{n}{n-1} (p_2 v_{2s} - p_1 v_1) = \frac{n}{n-1} R(T_2 - T_1) = \frac{n}{n-1} RT_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

من المعادلات الثلاث السابقة يمكن أن نحدد قيمة عمل الاحتكاك بمعرفة درجتي الحرارة T_1, T_2 حسب العلاقة

$$\frac{n}{n-1} = \frac{\chi}{\chi-1} - \frac{l_{f1-2}}{R(T_2 - T_1)} \quad (21-4)$$

$$\eta_n = \frac{l_{pol}}{i_2 - i_1} = \frac{\int_1^2 v dp}{i_2 - i_1} = 1 - \frac{l_{f1-2}}{i_2 - i_1}$$

والمردود البوليتروبي

$$\frac{n}{n-1} = \frac{\chi}{\chi-1} \eta_n$$

ومن العلاقات السابقة نجد

الانضغاط البوليتروبي مع تبريد داخلي وبدون ضياعات احتكاك $l_f = 0$ مبين على الشكل (b6-4) حيث $n < \chi$. فرق الانتالبي للغازات المثالية تمثل المساحة $2'-2-3-3'$ ، كمية الحرارة q_{1-2} المنتقلة خلال عملية الانضغاط تمثل بالمساحة $1'-1-2-2'$ ، والعمل البوليتروبي l_{pol} يمثل بالمساحة $1'-1-2-3-3'$.

في حال وجود ضياعات احتكاك يوجد تبريد وعندها يكون $n < \chi$ أو $n < \chi$. الشكل (c6-4) $n < \chi$ ويكون العمل البوليتروبي حسب العلاقة

$$l_{pol} = i_2 - i_1 + q_{1-2} - l_{f1-2}$$

فرق الانتالبي يمثل المساحة $2'-2-3-3'$ وكمية الحرارة المساحة $2'-2-1-4-4'$ والضياعات (انضغاط بدون تبريد) $1'-1-2-3-3'$. وعمل الانضغاط البوليتروبي المساحة $1'-1-2-3-3'$.

ب- المجاري الثابتة

في المعادلة (14-3-2) لجريان الغاز محورياً أو قطعياً عبر قناة ثابتة، لا تأخذ بالاعتبار الطاقة الكامنة للجزيء دون تبادل حراري يكون:

$$di + d\left(\frac{c^2}{2}\right) = 0 \quad (22-4)$$

$$i_2 - i_1 + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} = 0$$

وبمكاملة العلاقة نجد

$$\int_{p_1}^{p_2} v dp + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} + l_{f1-2} = 0$$

للغاز المثالي حيث $c_p = \text{const}$. يمكن أن نحصل على المعادلة

$$T_2 + \frac{c_2^2}{2c_p} = T_1 + \frac{c_1^2}{2c_p} = \text{const}.$$

$$\frac{\chi}{\chi-1} p_2 v_2 + \frac{c_2^2}{2} = \frac{\chi}{\chi-1} p_1 v_1 + \frac{c_1^2}{2} \quad \text{ومنه}$$

للغازات غير قابلة للانضغاط

$$V(p_2 - p_1) = \frac{c_1^2 - c_2^2}{2} - l_{f1-2}$$

للغازات القابلة للانضغاط

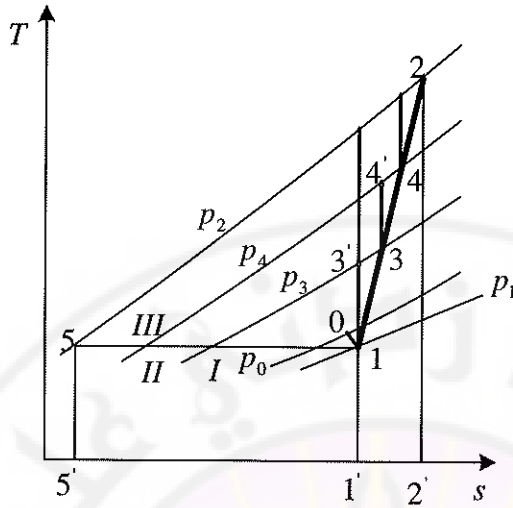
$$\frac{n}{n-1}(p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{c_1^2 - c_2^2}{2} - l_{f1-2}$$

4-4 عملية الانضغاط في ضاغط متعدد المراحل

عندما يتعذر الحصول على زيادة في الضغط باستخدام آلة وحيدة المرحلة، من الضروري استعمال سلسلة من عمليات الانضغاط في عدة مراحل متتالية التي يمكن تحقيقها بدون تبريد ومع تبريد.

آ- الانضغاط بدون تبريد

إن عدد المرحل ليس ضروريا للحصول على زيادة الضغط المطلوبة التي تتعلق بقيمة السرعة المحيطية u_2 ، نوع الشفرات (محورية أو قطرية) والتركيب الكيميائي للغاز وكثافته لهما علاقة بإمكانية الحصول على زيادة أعظمية للضغط في حجرة ضاغط واحد مع زيادة درجة حرارة الغاز عند الخروج من الآلة. يبين الشكل (4-7) عملية الانضغاط لضاغط ثلاثي المراحل.



الشكل (7-4) عملية الانضغاط
في ضاغط ثلاثي المراحل على مخطط T-s

عند مدخل المرحلة الأولى 0 إلى 1 يتمدد الغاز من الضغط p_0 إلى p_1 بسبب زيادة في السرعة من c_0 إلى c_1 . عملية الانضغاط في المراحل I, II, III التحولات البوليترابية 1-3, 3-4, 4-2. العمل البوليترابي يمثل بالمساحة 1'-1-2-5-5'، عمل الاحتكاك 1'-1-2-2'، فرق الانتالبي $\Delta i = i_2 - i_1$ المساحة 2'-2-5-5' والعمل الكلي يكون

$$l_{pol} = (i_2 - i_1) + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} \quad (23-4)$$

وبفرض أن جميع المراحل لها نصف القطر D_2 نفسه ومؤشر الغاز الراجع والمردود البوليترابي فإن عمليات الانضغاط ستكون نفسها وقيمة الأس $\phi_c = \frac{\Delta p_c}{\frac{1}{2} \rho u_2^2}$

البوليترابي نفسه، والزيادة في الانتالبي ستكون نفسها وللغاز المثالي تكون الزيادة في درجة الحرارة نفسها في مرحلة بحيث يكون $T_4 > T_3 > T_1$ التي تناسب نسب الانضغاط

التالية $\cdot \pi_{III} < \pi_{II} < \pi_{I}$

المردود الأدبياتي

للمعملية الأدبياتية بدون تبريد بين المراحل يؤخذ عادة الأدبيات كعملية نسبية. خلال هذه العملية لا يحصل تبادل حراري من الغاز إلى جسم الضاغط أو من جسم الضاغط إلى الغاز.

المردود الأدبياتي للضاغط

$$\eta_s = \frac{l_s}{l} = \frac{H_s}{H} \quad (24-4)$$

على H_s, H, l التالي: العمل التكنيكي الحقيقي، الزيادة الحقيقية والأدبياتية للانتالبي لكامل الضاغط. العمل اللازم خلال عملية انضغاط الغاز بدون تبريد بين المراحل

$$l = i_2 - i_1 = c_p (T_2 - T_1) \quad (25-4)$$

من معادلات العمل الأدبياتي بدون تبريد مرحلي نحصل على علاقة تحديد المردود الأدبياتي للغازات الكاملة

$$\eta_s = \frac{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{\frac{T_2}{T_1} - 1} \quad (26-4)$$

المردود البوليتروبي

إجراء عملية الانضغاط البوليتروبية $n \gamma$ لضغط ثلاثي المرحلة بدون تبريد مرحلي مبين على الشكل (7-4) المنحني 1-2-3-4 يمثل الحالة الحقيقية للغاز قبل وبعد كل مرحلة. وبالتقريب يمكن اعتباره بوليتروبياً.

العمل l_s يمثل مجموع الزيادات في الانتالبي خلال كل مرحلة $\Delta i_{s-st} = l_{s-st}$.

$$l_s = \sum_{z=1}^z \Delta i_{s-st} = \sum_{z=1}^z l_{s-st} \quad (27-4)$$

العمل الضروري للضاغط هو مجموع الزيادة الحقيقية في الانتالبي للمرحلة

$$l_{pol} = \sum_{z=1}^z l_{pol-st} \quad (28-4)$$

إذا كانت زيادة الانتالبي في كل مرحلة تنتهي إلى الصفر، وعدد المراحل لانتهائي،
مجموع الأعمال لكل مرحلة على حدة يساوي العمل الانضغاط البوليتروبي وكافئ
المساحة 5'-5-2-1-1'.

يمكن تحديد المردود البوليتروبي من العلاقة:

$$\eta_n = \frac{l_s}{l_{pol}} = \frac{\lim_{z \rightarrow \infty} \sum_{s=1}^z l_{s-st}}{\lim_{z \rightarrow \infty} \sum_{s=1}^z l_{pol-st}} \quad (29-4)$$

للتواحي العملية يجب بيان أن المردود الأدبياتي للمرحلة

$$\eta_{s-st} = \frac{l_{s-st}}{l_{st}}$$

لأية بارامتر من مراحل الانضغاط تقع عليه النقاط 1-3-4-2، إن زيادة الانتالبي لكل
مرحلة تتناقص إلى الصفر، والمردود يأخذ القيمة η_{s-n} ، وهو يتعلق بالأس البوليتروبي
 n . يتم تحديد الأس للعملية البوليتروبية $2 \rightarrow 1$ كما يأتي:

$$\begin{aligned} p v^n &= c_1 \\ \frac{p^n}{T} &= c_2 \\ \frac{p_1^n}{T_1} &= \frac{p_2^n}{T_2} \\ \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} &= \frac{T_2}{T_1} \\ \frac{n-1}{n} &= \frac{\lg \frac{T_2}{T_1}}{\lg \frac{p_2}{p_1}} \end{aligned} \quad \text{يمكن أن نكتب}$$

ومما سبق نجد:

$$\frac{n-1}{n} = \frac{\lg \left[1 + \frac{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{\eta_s} \right]}{\lg \frac{p_2}{p_1}} \quad (30-4)$$

من هذه المعادلة ينتج أن الأس البوليتروبي n تابع للمردود الأديباتي η_s ونسبة الانضغاط $\pi = \frac{p_2}{p_1}$ كما هو مبين على الشكل (4-8)

بالنسبة للعملية $4 \rightarrow 3$ في المرحلة الثانية وحسب المعادلة (26-3-2) نجد

$$\eta_{s-4} = \frac{\left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{\frac{T_4}{T_3} - 1}$$

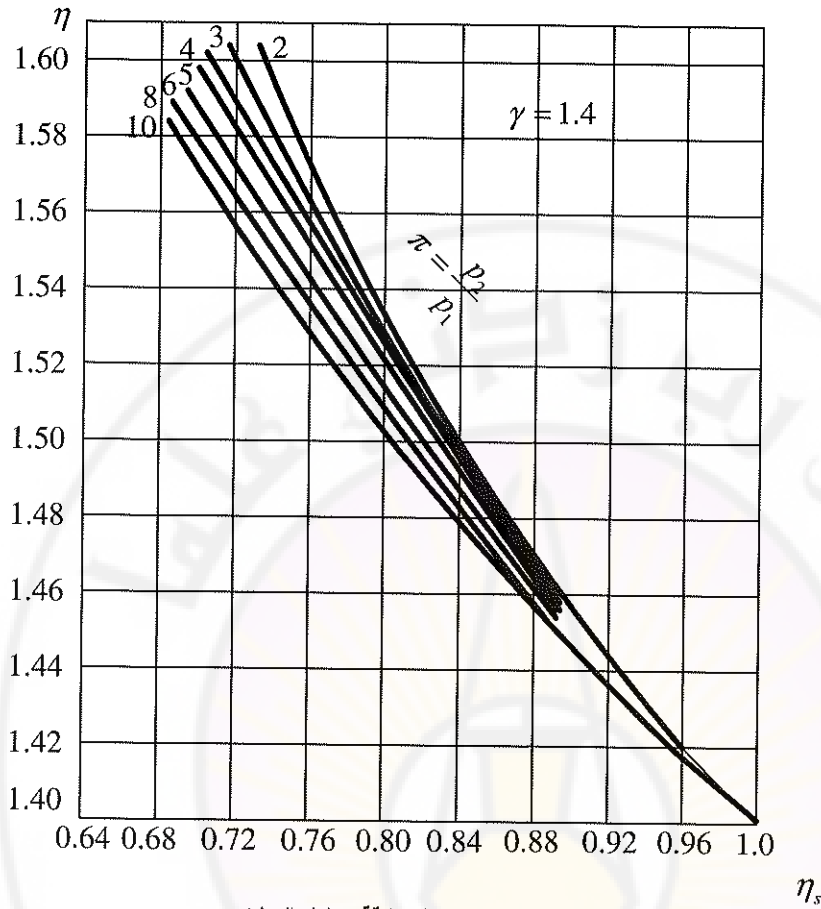
$$\frac{p_4}{p_3} = \left(\frac{T_4}{T_3}\right)^{\frac{n}{n-1}}$$

نحصل على

$$\eta_{s-4} = \frac{\left(\frac{T_4}{T_3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma} \cdot \frac{n}{n-1}} - 1}{\frac{T_4}{T_3} - 1}$$

إذا كانت $l_{s-4} \rightarrow 0$ و $\frac{T_4}{T_3} \rightarrow 1$ فإن $\eta_{s-4} = \eta_n$ ومنه

$$\eta_n = \frac{\gamma-1}{\gamma} \cdot \frac{n}{n-1} \quad (31-4)$$



الشكل (4-8) علاقة معامل البوليتروب
بالمردود الأدبياتي ونسبة الانضغاط

ب- الانضغاط مع تبريد

غالبا يكون الهدف من استخدام الضواغط متعددة المراحل إنقاص العمل اللازم للانضغاط من خلال تبريد الغاز المضغوط. عند نسبة انضغاط عالية كلية لعدة مراحل π_{gr} ، وخاصة للغازات التي تتصف بقيمة عالية للأس الأدبياتي γ وثابت الغاز R ، استعمال نظام تبريد يكون ضروريا حسب الطرق التالية:

ت-التبريد الأولي

عندما يكون الضاغط مصمماً مع تبريد أولي للغاز قبل دخوله إلى الضاغط فإن إنقاص العمل المستهلك لانضغاط 1 kg من الغاز يتناسب طردياً مع انخفاض درجة الحرارة الابتدائية للغاز عند مدخل الضاغط $\Delta T = T_o - T_{och}$ ومؤشر إنقاص العمل يحدد بالعلاقة:

$$\frac{\Delta L}{l_{pol}} = \frac{\Delta T}{T_o} \quad (32-4)$$

حيث: T_{och} درجة حرارة الغاز بعد التبريد الأولي

خلال العمل التصميمي يجب الأخذ بالاعتبار تأثير ضياعات الضغط في المبرد الأولي على الطاقة المستهلكة الإضافية. عند امتصاص شدة حجمية ثابتة من الغاز إلى الضاغط انخفاض درجة الحرارة يسبب زيادة في شدة التدفق الكتلي المسحوبة من الغاز. يستعمل هذا النوع من التبريد في حالة وجود فرق كبير بين درجتي حرارة الغاز ومياه التبريد.

ث-التبريد بنفث المياه

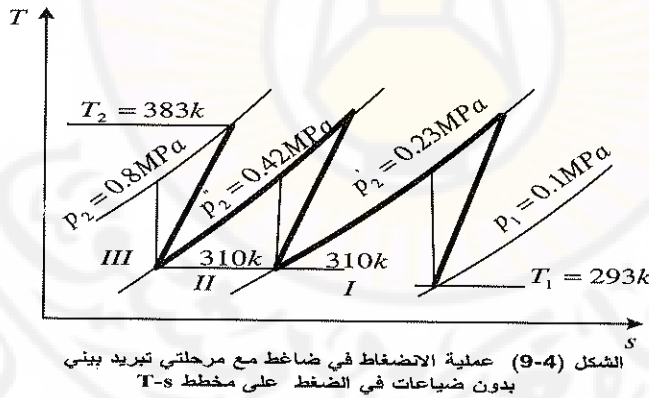
ميزة هذه الطريقة أنها سهلة وفعاليتها عالية. عند نفث 1% ماء بالنسبة لكمية الغاز يؤدي لتخفيض درجة حرارة جسم التشغيل حوالي $\Delta T = 25^\circ K$. انخفاض الطاقة المستهلكة في عملية الانضغاط يؤدي لارتفاع زيادة نسبة الانضغاط الكلية π_c . فائدة انخفاض الطاقة المستهلكة فعلياً أقل بسبب الضياعات الإضافية لكمية الطاقة على انضغاط بخار الماء الناتج. طريقة التبريد بالنفث تستعمل لضغط الغازات الحقيقية التي تتميز بارتفاع الأس الأدبياتي γ مثل الأمونياك، الآزوت... كمية الماء المقدمة خلال عملية التبريد يجب أن تكون كامل كتلتها معرضة للتبخير. يمكن استعمال هذه الطريقة في حالات خاصة عندما يكون الغاز رطباً وإمكانية حصول تآكل وتخريب في عناصر الجريان للضاغط.

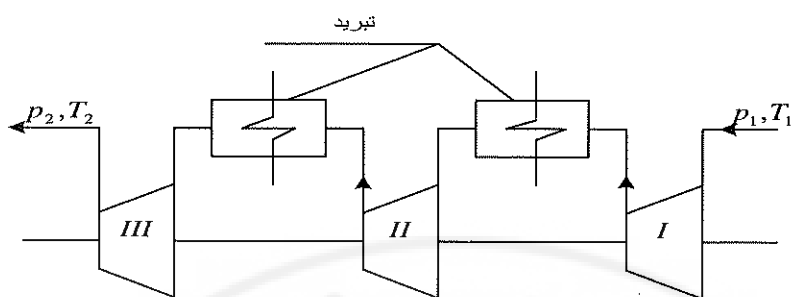
ج-التبريد الداخلي

يعتمد على تبريد الغاز المضغوط بالماء الذي يجري عبر قنوات متوضعة في حجرة الضاغط. خلال عملية التبريد لا تتشأ ظاهرة التقطير لبخار الماء، هذه الظاهرة مهمة عند ضغط الغاز المنحل في الماء. هذا النظام نادراً ما يستعمل حالياً بسبب ضرورة زيادة أبعاد الضواغط المحورية والقطرية والترسبات أثناء العمل في مداخل المراحل التي تخفض من فعالية التبريد. ضرورة زيادة أبعاد الضواغط سببه عدم الأمان الضروري لمقاطع الأفقية عبر الجدران، حيث كمية الحرارة المنقولة من الغاز إلى مياه التبريد. الذي يرتبط بزيادة مساحة التبريد بناء قنوات طويلة تسبب زيادة ضياعات الاحتكاك وتخفيض المردود لعملية الانضغاط.

ج-التبريد بين المراحل أو الخارجي

يعتمد على تبريد الغاز المضغوط في مبردات مستقلة تمكن من تخفيض درجة حرارة الغاز إلى درجة حرارة أعلى بعدة درجات من درجة حرارة مياه التبريد. عملية الانضغاط لضواغط بمرحلتين تبريد بين المراحل بدون ضياعات بالضغط مبينة على الشكل (9-4) و الشكل (10-4).





الشكل (10-4) مخطط تصميم ضاغط مع مرحلتي تبريد بيني

في تصميم المبرد بين المراحل تستعمل أنابيب ذات نصف قطر خارجي حوالي 20-30 mm تسمح بسهولة التصميم وتحجز مكاناً صغيراً وتسبب هبوطاً صغيراً بالضغط خلال التبريد. يستعمل التبريد المرحلي عندما $\pi_c > 5$.



الفصل الخامس
الضواغط والمراوح ذات التدفق القطري



1-5 نظرية الضواغط والمراوح ذات التدفق القطري

خلال مراحل الجريان القطري يجب أن تتحقق عملية انضغاط جسم التشغيل. العنصر الأساسي في الجريان القطري هو قرص الدائر، حيث يزداد ضغط جسم التشغيل وطاقته الحركية على حساب العمل الميكانيكي المقدم (العمل اللازم للانضغاط). يجري الغاز في القنوات المتحركة بين ريش القرص الدائر. والبقية في العناصر الثابتة من المرحلة، وجسم التشغيل لا يؤدي عملاً تكتيكياً.

1- الميزان الكتلي لشدة الجريان

عملية الانضغاط هي نقل جسم التشغيل من وسط ذي ضغط منخفض إلى وسط ذي ضغط أعلى، القيمة الأساسية في نهاية الضاغط هي شدة التدفق الكتلي $\dot{m}_e$. تعتمد المسألة التصميمية على تحديد شدة التدفق الكتلي $\dot{m}_e$ عند مدخل الضاغط لذلك يجب معرفة مقدار تسرب الجسم للخارج، المرتبط بالإحكام الخارجي، من خلال عزل الآلة عن الوسط الخارجي. تسرب جسم التشغيل عند المدخل $\dot{m}_{p-w}$ (تسرب من الوسط المحيط إلى الضاغط) والتسرب عند المخرج $\dot{m}_{p-k}$ (هروب الغاز من الضاغط إلى الوسط المحيط).

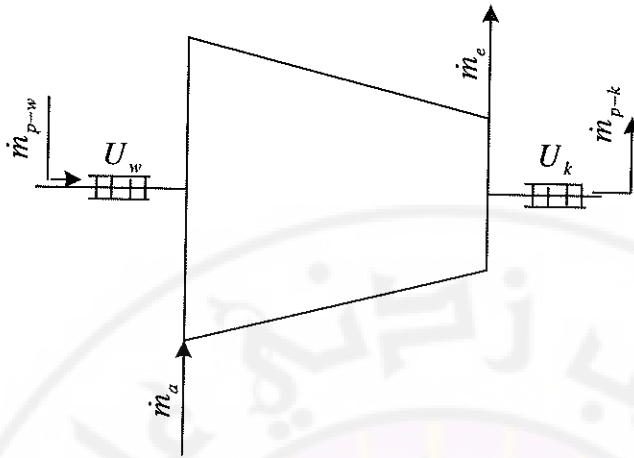
يبين الشكل (1-5) مخطط الميزان الكتلي للجسم المضغوط. التسرب عند المدخل يزيد من كتلة جسم التشغيل المسحوب من الوسط المحيط وتكون

$$\dot{m} = \dot{m}_e + \dot{m}_{p-w}$$

التسرب عند المخرج يسبب ضياعات في الكتلة والطاقة U_w التسرب إلى الداخل عند المدخل، U_k التسرب الخارجي عند المخرج

$$\begin{aligned} \dot{m}_e + \dot{m}_{p-w} &= \dot{m}_e + \dot{m}_{p-k} \\ \dot{m} &= \dot{m}_e \left(1 + \frac{\dot{m}_{p-k}}{\dot{m}_e}\right) \end{aligned} \quad (1-5)$$

$$\frac{\dot{m}_{p-k}}{\dot{m}_e} < 1\% \quad \text{النسبة}$$



الشكل (1-5) مخطط التدفق الكتلي في الضاغط

للمضواغط متعددة المراحل

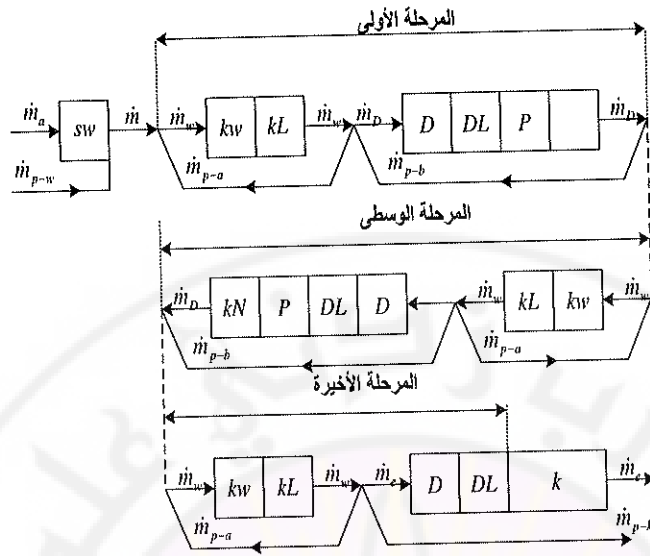
$$\dot{m}_e = \dot{m} - \dot{m}_{p-k} \quad , \quad \dot{m}_D = \dot{m} + \dot{m}_{p-b} \quad , \quad \dot{m}_w = \dot{m} + \dot{m}_{p-a}$$

حيث: $\dot{m}_w$ شدة التدفق عبر القرص الدوار لكل مرحلة

$\dot{m}_{p-a}$ التسرب عبر كل مرحلة عند مقدمة الترس

$\dot{m}_{p-b}$ التسرب عبر كل مرحلة عند مؤخرة الترس

تتكون المرحلة القطرية من الأجزاء التالية الشكل (2-5):



الشكل (2-5) نموذج التدفق الكتلي لضواغط متعدد المراحل مع تبريد بيني
 -SW مدخل، -KW قناة الدخول للقرص الدائر،
 -D فوهات بدون شفرات،
 -KL أفقية بين المراحل،
 -DL فوهات مع شفرات، -P مغير الاتجاه، -KN قناة العودة، -K المجمع

-القرص الدوار يتكون من قناة الدخول KW والقناة بين الريش KL

-فوهة بدون ريش D

-فوهة مع ريش DL

-مغير اتجاه P

-قناة العودة KN

-مانعات تزييت داخلية U_1, U_2

لايتوجب أن تظهر جميع العناصر الثابتة في كل مرحلة قطرية. في الآلات متعددة المراحل تظهر مغيرات الاتجاه وأفقنية العودة. في المراوح وحيدة المرحلة لا تستخدم العناصر الثابتة.

- نموذج الجريان عبر المرحلة القطرية

في جميع الحالات يقيم السائل اللزج الفراغي ثلاثي الأبعاد من خلال تحديده بمعادلة نافير-ستوك للجريان المستمر، الطاقة، حالة وشروط حدية.

حسب الشكل (5-2) نميز المصطلحات التالية:

O المقطع الأصغري لقناة الدخول KW (مقطع الدخول لقناة المرحلة الأولى)
b مقطع الدخول للقناة الثانية والمرحلة التالية (مقطع خروج قناة العودة KN
للمرحلة السابقة)

1- مقطع الدخول للأقنية بين الريش KL

2- مقطع الخروج للأقنية بين الريش

3- مقطع الخروج من الفوهة بدون ريش وفي الوقت نفسه مقطع دخول لفوهة الريش.

4- مقطع الخروج للفوهة ذات الريش وفي الوقت نفسه مقطع دخول مغير الاتجاه

5- مقطع خروج مغير الاتجاه وفي الوقت نفسه مقطع دخول قناة العودة

6 -مقطع خروج قناة العودة وفي الوقت نفسه مقطع دخول المرحلة التالية.

يدخل جسم التشغيل قناة الدخول متسارعاً من السرعة c_0 إلى السرعة c_1 .
النموذج المحدد مهم للغازات التي تحقق معادلة كلايرون. امتصاص جسم التشغيل من
الوسط المحيط ذي البارامترت $a(p_a, T_a, \rho_a)$ يخضع لتمدد من المدخل وحتى
الحالة $o(p_o, T_o, \rho_o)$. فإن هبوط الانتالبي يساوي:

$$-\Delta i_{a-o} = \frac{1}{2} c_a^2 \quad (2-5)$$

الضباغات التي تنشأ عند المدخل تحدد بمساعدة معامل الضياع ζ_{sw}

في العلاقة

$$h_{sw} = \frac{1}{2} \zeta_{sw} c_a^2 \quad (3-5)$$

الهبوط الأدبياتي في الانتالبي

$$-\Delta i_{sa-o} = -\Delta i_{a-o} + h_{sw} = \frac{1}{2} (c_a^2 + \zeta_{sw} c_o^2)$$

فنكون البارامترات الترموديناميكية للحالة O هي

$$p_o = p_a + \frac{1}{2} \rho_a c_a^2 - \frac{1}{2} \rho_o c_o^2 (1 + \zeta_{sw}) \quad \text{الضغط}$$

$$T_o = T_a - \frac{-\Delta i_{a-o}}{c_p} = T_a - \frac{\frac{1}{2} c_a^2}{c_p} \quad \text{درجة الحرارة}$$

الكثافة

$$\rho_o = \frac{p_o}{RT_o}$$

في قناة الدخول يستمر جسم التشغيل بالتمدد 0-1 حتى تتحدد النقطة 1. وهو يحل لمركبتين:

(a) التحول $o-1^*$ المحدد بالمعادلات

$$- \Delta i_{o-1^*} = \frac{1}{2} (c_1^2 - c_o^2) \quad \text{هبوط الانتالبي}$$

$$h_{o-1^*} = \frac{1}{2} \zeta_{o-1} c_1^2 \quad \text{والضياعات في قناة الدخول}$$

الهبوط الأديباتي في الانتالبي

$$- \Delta i_{so-1^*} = - \Delta i_{o-1^*} + h_{o-1^*} = \frac{1}{2} (c_1^2 - c_o^2) + \frac{1}{2} \zeta_{o-1} c_1^2$$

(b) التحول الايزوباري 1^*-1 حيث تحسب الضياعات في قناة الدخول إلى قرص الدوار

أما البارامترات كما يلي:

$$p_1 = p_o + \frac{1}{2} \rho_o c_o^2 - \frac{1}{2} \rho_1 c_1^2 (1 + \zeta_{o-1})$$

$$T_1 = T_o - \frac{- \Delta i_{o-1^*} + h_{1^*-1}}{c_p}$$

$$\rho_1 = \frac{p_1}{RT_1}$$

في الأفقية بين الريش تزداد انتالبي جسم التشغيل التي تحدد من العلاقة

$$\Delta i_{1-2} = \frac{1}{2} (u_2^2 - u_1^2) + \frac{1}{2} (w_1^2 - w_2^2)$$

$$h_{1-2^*} = \frac{1}{2} \zeta_{1-2} w_1^2 \quad \text{والضياعات}$$

$$\Delta i_{s1-2^*} = \Delta i_{1-2} - h_{1-2^*} \quad \text{الزيادة في الانتالبي أديباتيا}$$

$$\Delta i_{s1-2} = \frac{\chi}{\chi - 1} RT_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\chi-1}{\chi}} - 1 \right]$$

ومنه يمكن حساب الضغط p_2 ودرجة الحرارة T_2 والكثافة ρ_2

وعند مرور الجريان في الناشرة بدون ريش وفق التحول 2-3 يمكن حساب البارامترات الضغط p_3 ودرجة الحرارة T_3 والكثافة ρ_3 وفي الناشرة ذات الريش

وفق التحول 3-4 حيث يحصل الجريان في مقطعين الموجه (مغير الاتجاه) وقناة العودة (الإرجاع) تكون البارامترات p_4, T_4, ρ_4 وفي الحالة 5 تكون p_5, T_5, ρ_5 أما حالة جسم التشغيل في المرحلة القطرية تحدد من المعادلات

$$p_6 = p_5 - \rho_5 h_{5-6},$$

$$T_6 = T_5 + \frac{h_{5-6}}{c_p},$$

$$\rho_6 = \frac{p_6}{RT_6}$$

نستنتج من العلاقات السابقة أنه لتحديد عملية الانضغاط في المرحلة القطرية، ليس من الضروري معرفة السرعة الوسطية في كل مقطع وقيمة معامل الضياعات في التحولات الفرعية. معرفة الروابط بين محتويات العلاقات السابقة السرعة الوسطية وقيم معامل الضياعات وشكل أفنية الجريان الهندسي تحدد نظرية الضواغط والمراوح القطرية.

2- عدد الريش

مسألة انتقاء العدد المثالي للريش لم تحل بشكل كاف. إن عدد الريش يؤثر على الزيادة الحقيقية في الانتالبي. حيث زيادتها يؤدي لزيادة تدفق الجريان والعمل اللازم الذي بدوره يؤدي لزيادة فواقد الاحتكاك وبالتالي تناقص مردود الجريان. في حالة تناقص عدد الريش تظهر زيادة في انحراف التيار عند مخرج القناة بين المراحل وفي الوقت نفسه تتناقص الزيادة في الضغط اللازم استخدامه في القرص الدوار. إن قلة عدد الريش يزيد الفرق بالضغط المسيطر على جهتي الريشة، وبنتيجة ذلك يزداد الفرق في السرعة النسبية للجريان. مما يؤدي لانحراف الجريان ونشوء ضياعات. عدد الريش في أفنية القرص الدوار القطرية يتراوح بين 5 ريش و 48 (أمامية وعكسية). أثناء تصميم الريش المتحركة يوصى استخدام العلاقة:

$$z = (13.8 - 23.9) \frac{\sin \frac{\beta_1^* + \beta_2^*}{2}}{\ln \frac{D_2}{D_1}} \quad (4-5)$$

3- شكل الريش

يمكن اعتبار الأفنية بين الريش كصف متحرك للنافورة، التنسيق المنتظم على محيط القرص. شروط الجريان في الأفنية بين الريش تختلف عن شروط الجريان في الفوهات الثابتة. في البسيطة والمستوية أو حلقة الفوهة توزع السرعة متطابق بالنسبة للمحور، بينما حقل السرعة والضغط يختلفان بشكل كبير في القرص الدوار، بسبب انحناءات الأفنية بين الريش، مما يؤدي لنشوء جريان ثانوي وتزداد ضياعات الاحتكاك والأعاصير التي تتعلق أيضاً بانحناء الريشة.

كما أظهرت الدراسات، الشكل الهندسي للأفنية بين الريش لا يؤدي دوراً أساسياً في زيادة مردود الجريان. لذلك انسياب الريشة يأخذ أشكالاً مختلفة. وهذا مفهوم حيث أن مقطع القناة بين الريش يجب أن يتغير بطرق سهلة وليس بشكل قسري. في الضواغط والنافخات والمراوح القطرية تستعمل بشكل أساسي ثلاثة أنواع من الريش حلقي، مركبة وبسيطة.

المشكلة الأساسية في تشكيل شكل الريش هي وتر الدائرة، المستعمل في جميع الأنواع القطرية للقرص الدوار. بينما الريش البسيطة، تتميز بالمردود المنخفض، ويمكن استخدامها في بعض المراوح ذات كلفة التصنيع القليلة. وفي أكثر الحالات تستخدم الريش المركبة حيث يكون شكلها هو الأفضل للأفنية بين الريش هذا النوع من الريش يستخدم في القرص الدوار مع ريش منحنية للخلف.

4- الناشرات

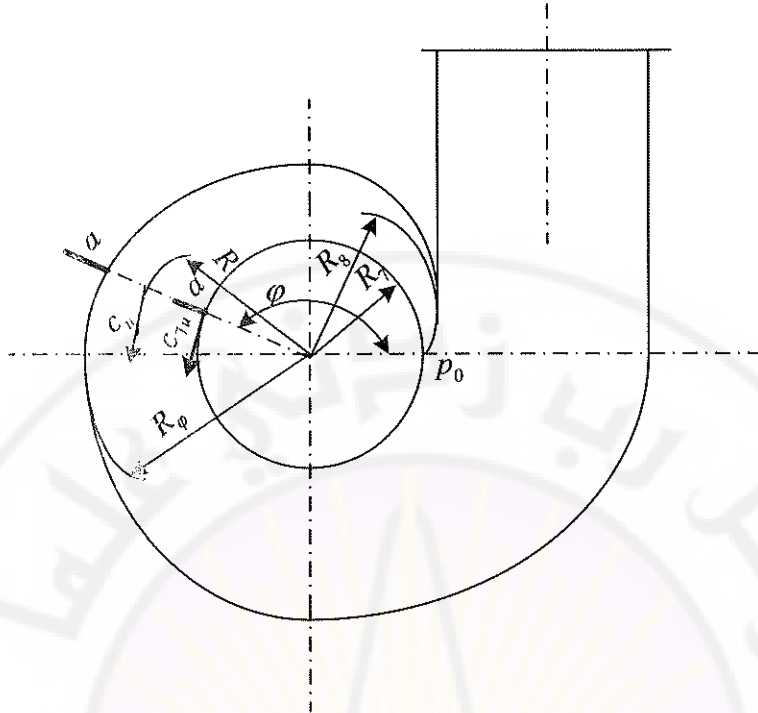
الناشرة هي عنصر تشكيل الجريان في المرحلة، حيث نتيجة انخفاض الطاقة الحركية لجسم التشغيل المار عبر أفنية الريش يؤدي إلى استمرار عملية الانضغاط. لدينا في الناشرة إعاقه للجريان بسبب زيادة المقطع. تغير الطاقة الحركية على زيادة الضغط الستاتيكي يؤدي لنشوء ضياعات مرتبطة بالسرعة والضياعات الاحتكاك. إن الناشرات تزيد حجم الآلات وكلفة تصنيعها.

الناشرات تستعمل على الأغلب في الآلات متعددة المراحل، حيث تكون العنصر المتوسط، يصل المراحل. الهدف الآخر من استعمالها في النافخات وحيدة المرحلة، مع

الانتباه لزيادة السرعة المطلقة c_2 . عادة لا تستخدم الناشرات في المراوح وحيدة المرحلة، المسألة نفسها تحققها ناشرة حلزونية ولكن كلفتها أقل. يستعمل نوعان من الناشرات في تصميم آلات الضواغط القطرية ناشرات مع ريش وناشرات بدون ريش. اختيار نوع الناشرة يتعلق بزاوية التدفق α_2 ومعامل التدفق ϕ_{2r} لذلك تستخدم الناشرة بدون ريش عندما $\phi_{2r} = 0.25 - 0.32$ ، $\alpha_2 > 20^\circ$ وتستخدم الناشرة مع ريش عندما $\phi_{2r} = 0.20 - 0.27$ ، $\alpha_2 \leq 18 - 22^\circ$ إن اختيار الناشرة يتعلق أيضاً بكلفة التصميم حيث أنها أقل في حالة الناشرة بدون ريش. في الضواغط التي تستخدم في الطيران حيث أن الكتلة والحجم مهمان تستعمل ناشرات مع ريش. ينتج مما سبق أن اختيار الناشرة مهم جداً. تصمم الناشرات بدون ريش بعرض ثابت b للقناة باتجاه القطر.

5- المجمعات

المجمع هو قناة منحنية حلزونية تتوسع حسب اتجاه دوران القرص الدائر. بشكل عام واحد فقط من المجمعات التي تحتوي على جميع العناصر وهو المبين الشكل (3-5) (قرص دائر - فوهة - مع ريش أو بدون ريش) وهو ذو مدخل اسطواني، الشعاع R_7 (بارامترات معرفة بالدليل 7 وفي الوقت نفسه بارامترات الخروج للمجمع السابق). يمكن أن نشاهد أيضاً عدداً أكبر من المجمعات، كل منها يساوي جزءاً من محيط الدائر أو الفوهة.



الشكل (3-5) مخطط المجمع

تعتمد مسألة المجمع على اختيار جسم التشغيل وتوجيهه إلى وصلة المكبس. في المجمعات تتداخل التغيرات الجزئية للطاقة الكامنة على الضغط الستاتيكي. كل مقطع مستعرض المجمع يشترك في كل منها كمية جسم التشغيل حسب مقطع الجزء السابق عند المقطع المعطى. مثال: للمجمع عبر المقطع a-a جريان جسم التشغيل ذي التدفق الحجمي.

$$V_{\phi} = V_i \frac{\phi}{2\pi} = \frac{m}{\rho_i} \frac{\phi}{2\pi} \quad (5-5)$$

ϕ - زاوية توضع المقطع المحدد، محسوباً من البداية النظرية للمجمع محدداً

في النقطة P_0

تستعمل المجمعات ذات العرض b الثابت والمتغير الذي له شكل مقطع القناة المستطيلة السابقة، الحلقية، قطر ناقص... .

عند تصميم المجمع نفترض أن الضغط عند المدخل ثابت لذلك يكون حسب معادلة أويلر

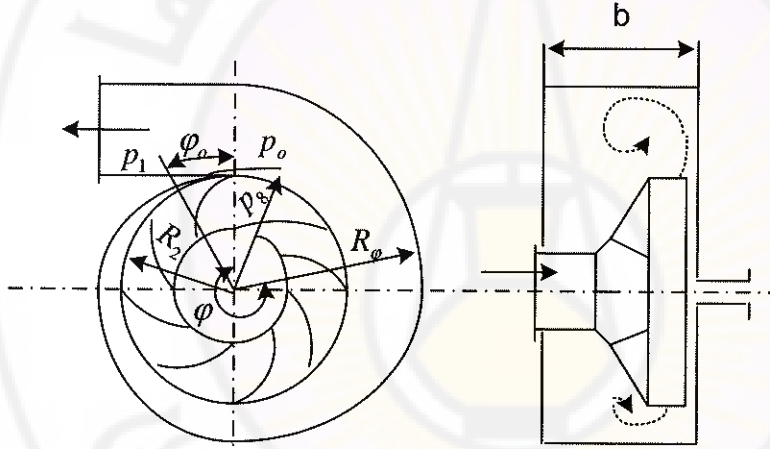
$$c_u = \frac{R_1}{R} c_{u1}$$

مجمعات المراوح:

في المراوح تثبت المجمعات مباشرة مع القرص الدوار الشكل (4-5) . بعد خروج جسم التشغيل من القرص الدائر ينتشر في المحيط، سرعة الجريان عند الخروج من المروحة تكون بحدود 25 m/s. مجمعات المراوح عادة تكون ثابتة

العرض b . لأن $R_1 = R_2$

$$c = \frac{V_2}{2\pi R_2 c_{2u} b} \quad (6-5)$$



الشكل (4-5) العلية الحلزونية للمروحة

بشكل عام يكون عرض المجمع أكبر من عرض حلقة القرص الدائر $b_2 > b$ ، حيث النسبة $\frac{b}{b_2} = 2.2 - 3$ تحقق أعلى مردود. جسم التشغيل الذي يعبر محيط حلقة القرص الدائر لا يملأ كامل عرض المجمع، وفي منطقة الضغط الثابت تكون أكبر، ويزيد عرض جسم التشغيل المار على الشفرات الدوارة.

حساب ضياعات الطاقة عند جريان جسم التشغيل حول أنابيب الدخول، على شفرات ومحور المروحة، نتيجة الاحتكاك على الجدران وامتزاج الجريانات مختلفة السرعات. المسألة الإضافية التي تعقد طبيعة الجريان هي أن شدة التدفق الحجمي تتغير طرداً مع الزاوية φ وعندها تنشأ ضياعات بالنسبة للسرعة الوسطية

$$c_{sr} = c_{2u} \frac{R_2}{R_{sr}}$$

R_{sr} نصف القطر الوسطي للمحيط

h_{sr} الضياعات الوسطية لها علاقة بنصف القطر عند الزاوية $\varphi = 2\pi$ و R_2

$$R_{sr} = \frac{1}{2} [R_2 + (R_2 + h_{sr})] \quad (7-5)$$

تحدد قيمة معامل الضياعات في المجمع $\zeta_K = 0.2 - 0.3$

زيادة الضغط في المجمع $\Delta p_K = \rho_2 (\Delta i_K - h_K)$

زيادة الضغط الكلي في المروحة $\Delta p_c^* = \Delta p_{0-1} + \Delta p_{1-2} + \Delta p_K + \frac{1}{2} \rho_2 c_{sr}^2$

المردود المفيد للمروحة

$$\eta_w^* = \frac{\Delta p_c^*}{\rho_0 (u_2 c_{2u} + L_{p-a} + L_{b-a} + L_{b-b})} \left(1 - \frac{m_{p-b}}{m}\right)$$

خطأ الحساب لزيادة الضغط $\Delta p_c = \frac{\Delta p_c^* - \Delta p_c}{\Delta p_c^*} 100 \leq 3\%$

خطأ حساب مردود المروحة $\Delta \eta_w = \frac{\eta_w^* - \eta_w}{\eta_w^*} 100 \leq 1\%$

مجمعات الضواغط والنافخات:

مجمعات الضواغط والنافخات تتوضع عادة بعد الفوهات بدون ريش. وفي هذه الحالة مقطع الدخول للمجمع، محددة بدليل، وهو مرادف لمقطع خروج الفوهة بدون ريش، الذي يعرف بدليل أيضاً. بفرض أن جميع مقاطع المجمع هي حلقات مماسة لمساحات دخول الأسطوانات. فتكون العلاقات التالية:

$$\begin{aligned} a &= R_3 + r_\varphi \\ b &= 2\sqrt{r_\varphi^2 - (R - a)^2} \end{aligned} \quad (8-5)$$

r_φ نصف قطر المقطع السابق عند الزاوية φ

كما هي الحال في المراوح فإن النسبة $\frac{R_8}{R_7} = 1.05 - 1.2$ وعلى الشكل

$R_7 = R_3$. القيمة الكبرى في القرص الدائر والشفرات الدوارة والقيمة الصغرى في الفوهات بدون ريش.

من جهة النقطة P نجد

$$a = \frac{1}{2}(R_7 + R_8)$$

$$r_p = \frac{1}{2}(R_8 - R_7)$$

يمكن إهمال الضياعات في المراوح والضواغط والنافاخت باعتماد الحسابات المختصرة أثناء التصميم.

حيث: الدليل 3 مقطع الخروج من الفوهة بدون ريش و 7 مقطع الدخول للمجمع و 8 المقطع الوسطي.

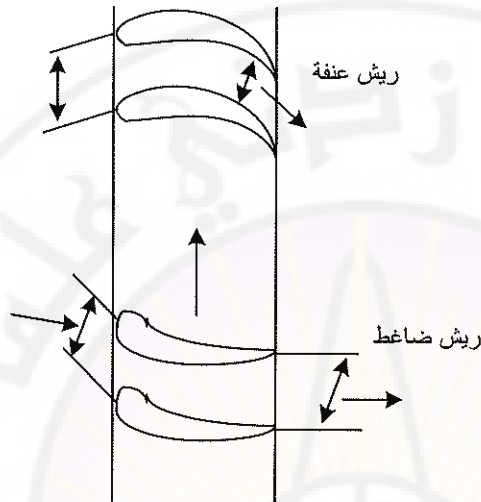
5-2 نظرية الضواغط والمراوح المحورية

إن نسبة الانضغاط العظمى في ضواغط الطرد المركزي تصل إلى 4/1 في الآلات البسيطة (وحيدة المرحلة) عند مردود حوالي 70-80%. في الضواغط المحورية يمكن أن نحصل على ضغوط أعلى ومردود أعلى - نسب الانضغاط العالية عند مردود جيد منسوبا لوحدة المساحة الأمامية. هناك تشابه كبير في العنفات المحورية، معرفة مقطع العبور للشفرة يدل على اختلاف كبير. في العنفة، مقطع ممر الدخول يكون أكبر من المخرج. وبالعكس يكون في الضاغط.

العملية في شفرات العنفة يمكن أن تؤدي لتسارع التدفق، وتحصل الزيادة في السرعة الابتدائية في الفوهة. بينما في ضواغط التدفق المحوري، التدفق يكون متباطئاً أو منتشرأ وزيادة الضغط تحدث عندما يعبر السائل خلال الشفرات.

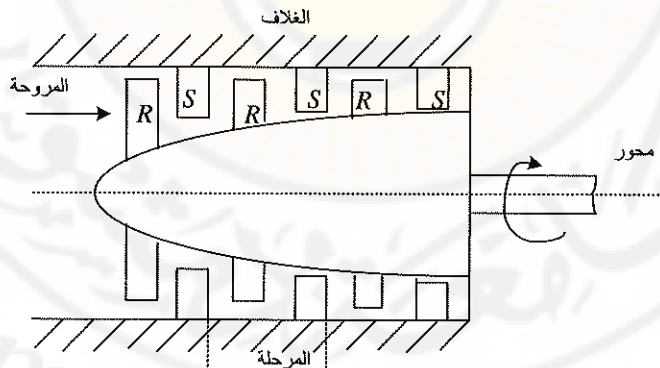
هناك صعوبة للحصول على فعالية جيدة بسبب النقاط الميتة على الجدران أثناء مرور الجريان. جزيئات الهواء تتوقف وتشكل دوامات تعكس اتجاهها حسب تناقص الضغط. خلال تسارع الجريان في الفوهة، يوجد دوامات هوائية طبيعية تملأ الجدران أثناء العبور (فقط ضياعات الاحتكاك الطبيعية تظهر في الغلاف).

يبين الشكل (5-5) نوع الشفرات. ضواغط التدفق المحوري الحديثة تعطي مردوداً يصل إلى % (86-90) - تكنولوجياً تصميم الضواغط في تطور مستمر. تتألف ضواغط التدفق المحوري من عدة مراحل، كل مرحلة تتكون من صف ريش ثابتة وصف ريش دوارة.



الشكل (5-5) مقطع ريش العنفة وريش الضاغط

الشكل (5-6) يبين ضاغط متعدد المراحل والريش الدوارة مثبتة على محور الضاغط.



الشكل (5-6) مقطع في ضاغط محوري متعدد المراحل

الريش الدوارة تعطي الهواء طاقة حركية خلال زيادة الضغط والريش الثابتة تعيد توجيه الجريان في الاتجاه المناسب وتحول جزء من الطاقة الحركية إلى ضغط. تدفق الهواء خلال الضاغط يكون باتجاه المحور، لذلك يدعى ضاغطاً ذا تدفق محوري. الشفرات الطويلة تخفض من حركة السائل عبر الضاغط. على الرغم من زيادة الضغط في اتجاه التدفق، حجم الهواء يتناقص. للمحافظة على سرعة الهواء نفسها في كل مرحلة، الشفرة الطويلة تنقص طول محور الضاغط. الصف الإضافي من الشفرات الثابتة، يدعى مراوح دليل المدخل، وتكون مثبتة عند مدخل الضاغط. شريطة وجود دليل للهواء لتصحيح الزاوية على الصف الأول من الريش المتحركة. ضواغط التدفق المحوري ذات مردود عالٍ، التدفق الثنائي خلال المرحلة مهم جداً للأسطوانات المتماثلة. التدفق يكون وهماً عند الشفرة الطويلة الرئيسية، بينما السرعة المحيطية للشفرة عند المدخل والمخرج تكون نفسها. لا يوجد تدفق وهماً في الاتجاه القطري.

آ- الجريان عبر الضاغط المحوري

إن تصميم الضاغط المحوري يختلف عن الضاغط القطري. يدخل جسم التشغيل عبر المدخل وقناة الدخول ويضغط على الريش، ويمر عبر الفوهة والمجمع حيث يفرغ إلى الخارج. نظام الريش يتألف من عدد مناسب للمراحل، ومن خلال المرحلة المحورية مجموعة الريش المتحركة والريش الثابتة المحدد من الطرفين بمقطع أسطواني. جميع الريش تشكل قناة ريش الضاغط. مركبات السرعة تكون محورية ومحيطية. وحسب شكل قناة الريش بالاتجاه القطري غير مرغوب فيه لذلك يجب التخلص منه. قبل المرحلة الأولى تتوضع ريش ثابتة تدعى ريش التوجيه التي تقوم بتصحيح اتجاه الجريان محورياً وفق زاوية مناسبة. بينما في المرحلة الأخيرة تتوضع ريش توجيه في نهاية الجريان 6 مهمتها توجيه الجريان من المرحلة الأخيرة بالاتجاه المحوري. عملية الانضغاط تتمثل في قنوات الريش الدوارة، حيث جسم التشغيل يحتاج للعمل. نتيجة هذا العمل يزداد الضغط الكلي وتتغير الحالة الترموديناميكية.

القيم الديناميكية الكامنة مرتبطة بجريان جسم التشغيل عبر الريش الدوارة التي تحدد مردود الضاغط بشكل أساسي. الريش الثابتة تتوضع بعد قرص الريش الدوارة التي تؤدي الدوران نفسه، كما هي الحال في الضواغط القطرية فوهات، مغير الاتجاه، قناة العودة.

ب- فعالية المرحلة المحورية

المرحلة المحورية هي مجموعة ريش دوارة يمكن أن تشكل الأنظمة التالية:

-موجهات أمامية- ريش دوارة- ريش ثابتة

-ريش دوارة- ريش ثابتة

-ريش ثابتة- ريش دوارة

-ريش دوارة- ريش ثابتة- موجهات نهائية

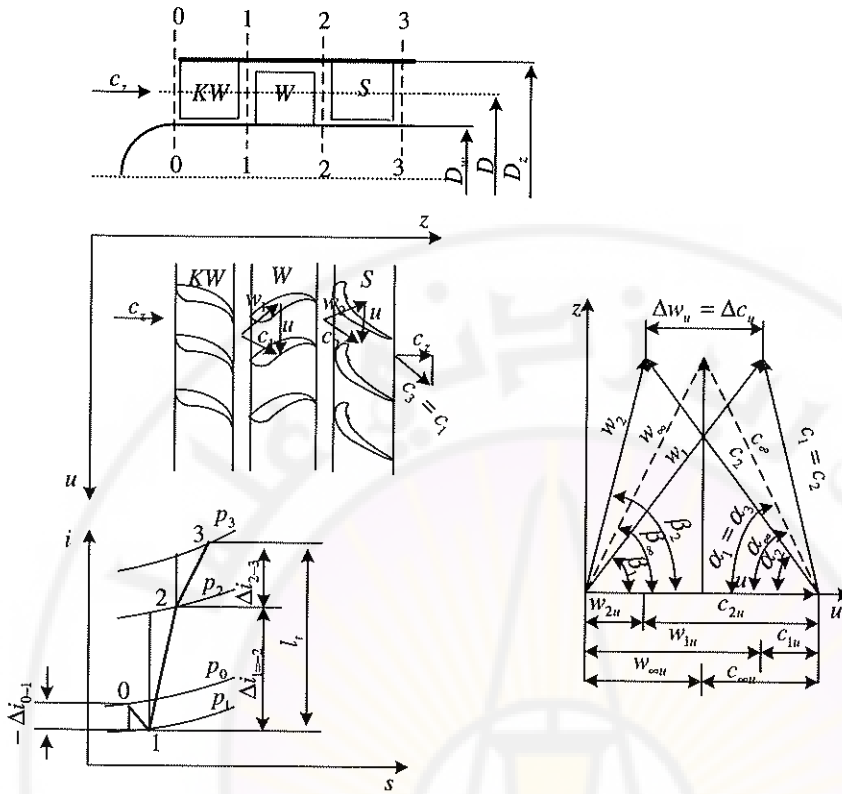
-ريش ثابتة- ريش دوارة- موجهات نهائية

-ريش دوارة.

يبين الشكل (5-7) نظام موجهات أمامية- ريش دوارة- ريش ثابتة.

حيث: $u_1 = u_2 = u$ في المقاطع 1-1 و 2-2

بارامترات الجريان لها السماكة dR نفسها



الشكل (7-4) مخطط مرحلة محورية في نظام جريان:
موجهات أمامية- ريش دوارة- ريش ثابتة، مثلث
السرعات وعملية الضغط في مخطط i-s

في حالة تناقص عدد الريش تظهر زيادة في انحراف التيار عند مخرج القناة بين المراحل وفي الوقت نفسه تتناقص الزيادة في الضغط اللازم استخدامه في القرص الدوار. إن قلة عدد الريش يزيد الفرق بالضغط المسيطر على جهتي الريشة، وبنتيجة ذلك يزداد الفرق في السرعة النسبية للجريان. مما يؤدي لانحراف الجريان ونشوء ضياعات. سرعة الجريان بالاتجاه المحوري في الضواغط والمراوح عند مدخل قناة الريش.

$$c_{z0} = \frac{V_0}{F_0} = \frac{V_0}{\frac{\pi}{4}(D_z^2 - D_w^2)} \quad (9-5)$$

هذه السرعة ثابتة خلال المراحل $c_{z0} = c_{z1} = c_{z2} = c_z$

مع زيادة قليلة بالضغط $\frac{p_3}{p_1} \leq 1.05$ عند مقطع ثابت لقناة الجريان ثبات السرعة

المحورية يؤدي لإهمال تغير الكثافة. سرعة الجريان عبر الريش الدوارة تحدد من مثلث السرعات.

$$c_{2u} - c_{1u} = w_{1u} - w_{2u}$$

$$l_t = u(c_{2u} - c_{1u}) = u\Delta c_u$$

زيادة السرعة المحيطية يؤدي لانحراف اتجاه السرعة النسبية w_1 من الزاوية β_1 إلى الزاوية β_2 حيث تنقص السرعة النسبية إلى w_2 نتيجة ذلك يزداد الضغط الستاتيكي من p_1 إلى p_2 الذي يوافق زيادة الانتالبي في القرص الدوار.

$$\Delta i_{1-2} = \frac{1}{2}(w_1^2 - w_2^2)$$

وعلى الريش الثابتة يحدث انحراف في اتجاه السرعة c_2 بزاوية $\alpha_3 - \alpha_2$ فتنقص السرعة بمقدار c_3 وبالنتيجة يزداد الضغط الستاتيكي من p_2 إلى p_3 وزيادة في الانتالبي

$$\Delta i_{2-3} = \frac{1}{2}(c_2^2 - c_3^2)$$

فتكون زيادة الانتالبي خلال المرحلة

$$\Delta i_{st} = \Delta i_{1-3} = \Delta i_{1-2} + \Delta i_{2-3} = \frac{1}{2}(w_1^2 - w_2^2) + \frac{1}{2}(c_2^2 - c_3^2)$$

كما هي الحال في المرحلة القطرية حيث $c_3 = c_1$

$$\Delta i_{st} = \frac{1}{2}(w_1^2 - w_2^2) + \frac{1}{2}(c_2^2 - c_3^2)$$

والانتالبي الكلي للمرحلة (العمل التكنيكي خلال المرحلة)

$$l_t = \Delta i_{c-st} = \Delta i_{st} + \frac{1}{2}(c_3^2 - c_1^2) = \frac{1}{2}(w_1^2 - w_2^2) + \frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2) \quad (10-5)$$

ت-بارامترات المقطع الهندسي والانسايي

يحصل انحراف التيار على القرص الدوار والثابت في المرحلة المحورية بمساعدة ريش ذات مقاطع تشبه شكل بروفيل الطائرات. هذه البروفيلات يمكن أن تكون ثنائية التحدب، مستوي محدب، مقعر محدب. الانحراف الخارجي للبروفيل محدد

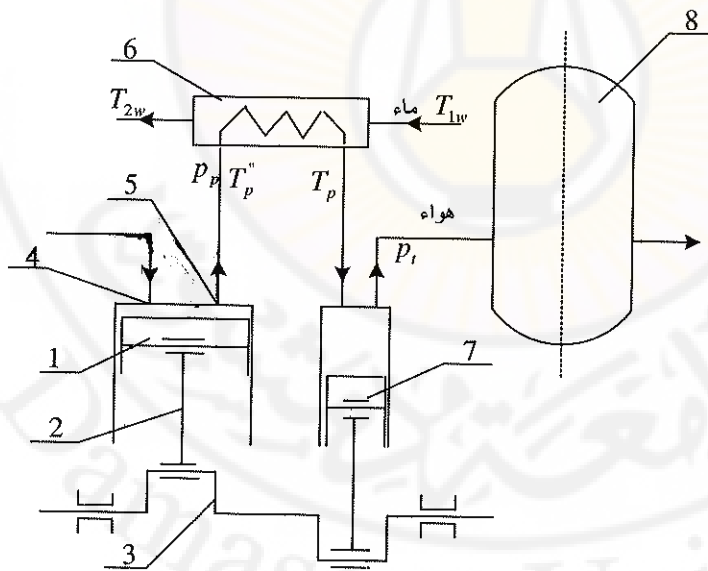
بالعلاقة $y_o=y_u=f(x)$ التي تعطى في الجداول أو على شكل معادلات مناسبة. البعد بين النقاط الهندسية من أعلى وأسفل التحذب البروفيل يأخذ شكل خط، تعرف بهيكل البروفيل. في البروفيل يمكن رسم كرات مماسه للانحناء الخارجي التي تقع على هيكل البروفيل. القطر الأعظمي للكرة يحدد سماكة البروفيل g . نسبة القطر الأعظمي d_{max} إلى وتر البروفيل يعطى كنسبة مئوية وتدعى السماكة النسبية g البروفيل ذو السماكة $g = 10\%$ يدعى طبيعي وفي المجال $g = (6 - 8)\%$ رقيقة، بينما في المجال $g = (12 - 14)\%$ تدعى ثخينة. نتيجة الوثوقية حسب ارتفاع الريش يمكن الحصول على ثخانات مختلفة.

عند السرعات المنخفضة للجريان $[M \leq 0.3]$. وفي حالة السرعات الأعلى يفضل اعتماد بروفيـل NACA.

3-5 نظرية الضواغط المكبسية

آ- مبدأ عمل الضواغط المكبسية

يبين الشكل (8-5) مخططاً لضاغط ثنائي المرحلة مع تبريد بيني.



الشكل (8-5) مخطط ضاغط مكبسي ثنائي المرحلة مع تبريد بيني

مبدأ عمله: المكبس 1 مثبت على عمود المرفق 2 خلال الحركة الدورانية لمحور المرفق 3 ينسحب المكبس للأسفل. الفراغ المحصور فوق المكبس في الأسطوانة يزداد ضغطه. تحت تأثير الضغط الجوي وعند لحظة معينة يفتح صمام السحب ويسحب الهواء الخارجي إلى الفراغ فوق المكبس وتستمر العملية حتى يصل المكبس لنهاية الشوط (النقطة الميتة السفلى). وفي لحظة تغير اتجاه حركة المكبس إلى الأعلى، يسبب ضغط الغاز. الصمام 5 يفتح ولحظة وصول المكبس للنقطة الميتة العليا يخرج الهواء المضغوط إلى المبرد 6. يبرد الهواء المضغوط في المبرد ويستمر بسحب الهواء للفراغ فوق المكبس ذي الضغط العالي 7. من لحظة وصول المكبس إلى النقطة الميتة السفلى تنتهي عملية الامتصاص، وفيما بعد يتغير اتجاه حركة المكبس لتبدأ عملية انضغاط حتى الضغط النهائي p_i ثم يخرج الهواء المضغوط إلى الخزان 8. تقسم الضواغط المكبسية من حيث مجال العمل لضغط الغازات حسب ما يلي:

قيمة الضغط

- مضخات تخليلية امتصاصية للغاز عند ضغط 0.001-0.08 MPa وضغطه إلى قيمة أكبر من الضغط الجوي 0.105-0.12 MPa .
- نافخات امتصاصية للغاز عند ضغط قريب من الضغط الجوي وضغطه إلى قيمة 0.11-0.3 MPa.
- ضواغط تضغط الغاز من الضغط 3-100 MPa وأكبر.

نوع عملية ضغط الغاز

- ضواغط هواء أو غازات أخرى
- ضواغط غازات تقنية
- ضواغط الغازات القابلة للانفجار
- ضواغط البخار المستعملة في المبردات.

مجال قيمة الانضغاط

- الضغط النهائي للضاغط
- ضغوط منخفضة إلى 2.5 MPa
- ضغوط متوسطة 2.5-10 MPa
- ضغوط مرتفعة أعلى من 10 MPa
- شدة التدفق الحجمي للغاز المسحوب للضاغط
- صغير حتى $0.2 \text{ m}^3 / \text{s}$
- متوسط $(0.2 - 1) \text{ m}^3 / \text{s}$
- كبير أعلى من $1 \text{ m}^3 / \text{s}$

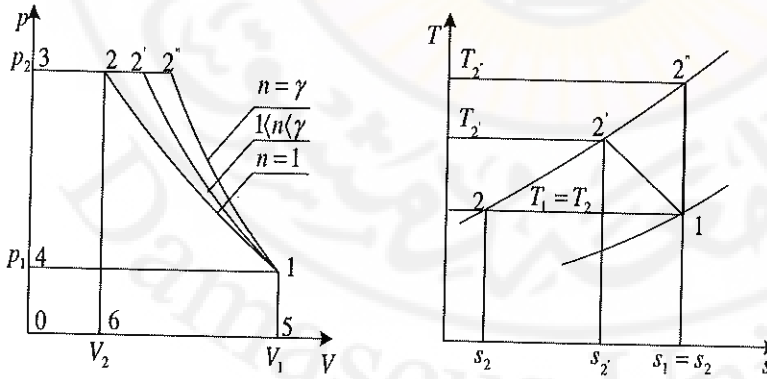
بنية ونظام الأسطوانات للضاغط

- وحيد الأسطوانة
- ثنائي الأسطوانات
- متعدد الأسطوانات

ب- أسس نظرية

الضاغط المثالي وحيد المرحلة

يبين الشكل (5-9) عملية الانضغاط المثالية.



الشكل (5-9) عملية الانضغاط المثالية على مخطط p-V

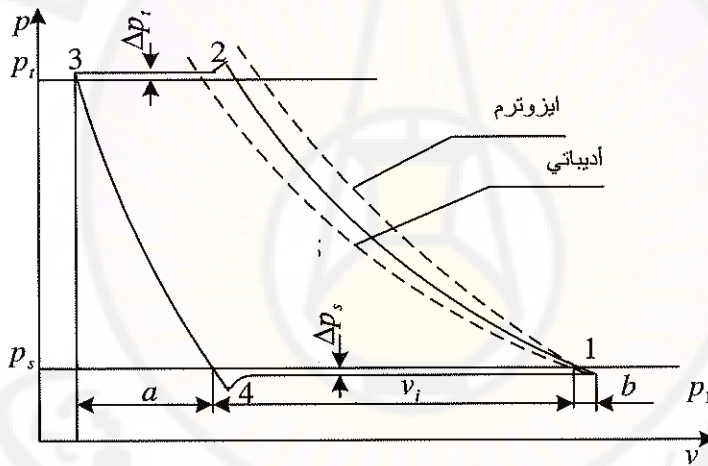
حيث لا يوجد فراغ خلوصي (ميت) ودرجة حرارة الغاز ثابتة (عملية الانضغاط ايزوترمية حيث $n=1$) ولا يوجد ضياعات ميكانيكية، لا يوجد خنق ولا تسرب. الضاغط المثالي يختلف عن الضاغط الحقيقي (الفعلي) حيث عملية انضغاط الغاز تكون بوليتروبية $1 < n < \gamma$.

العمل التكنيكي المنفذ خلال دورة واحدة يساوي مجموع أعمال الانضغاط L_{su} الشكل (9-5) الحقل (5-1-2-6) وعمل الطرد L_{tr} الحقل (6-2-3-0) وعمل السحب L_{sc} الحقل (0-1-4-5) فيكون العمل التكنيكي L_t محدداً بالحقل (1-2-3-4)

$$L_t = L_{su} + L_{tr} - L_{sc} = \int_{V_1}^{V_2} p dV + p_2 V_2 - p_1 V_1 \quad (11-5)$$

الضاغط الحقيقي وحيد المرحلة

عملية الانضغاط للضواغط الحقيقية مبينة على مخطط P-V الشكل (10-5)



الشكل (10-5) عملية الانضغاط الحقيقية على مخطط p-V

المنحني 4-3 يمثل عمل تمدد الغاز المتبقي في الحجرة من الدورة السابقة. الفراغ الخلوصي يحدد بين رأس المكبس ونهاية الاسطوانة.

المنحني 1-4 يمثل عمل السحب

المنحني 2-1 عمل الانضغاط

المنحني 3-2 عمل الطرد.

منحني الانضغاط والتمدد تتغير فيهما قيمة الأس البوليتروبي.

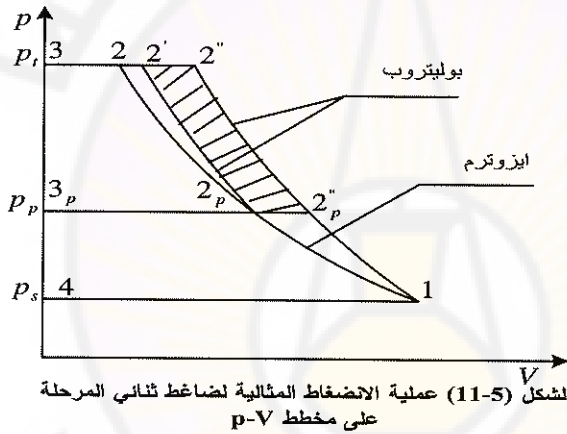
متوسط قيمة الأس لضغط وحيد المرحلة $\chi = (0.92 - 0.98) n_s$

لضغوط متعددة المراحل $n_{sz} \cong n_{s(z-1)} + 0.015 \chi$

أما لعملية التمدد فتؤخذ القيمة $n_r \cong (0.94 - 0.98) n_s$

ت- الضواغط متعددة المراحل

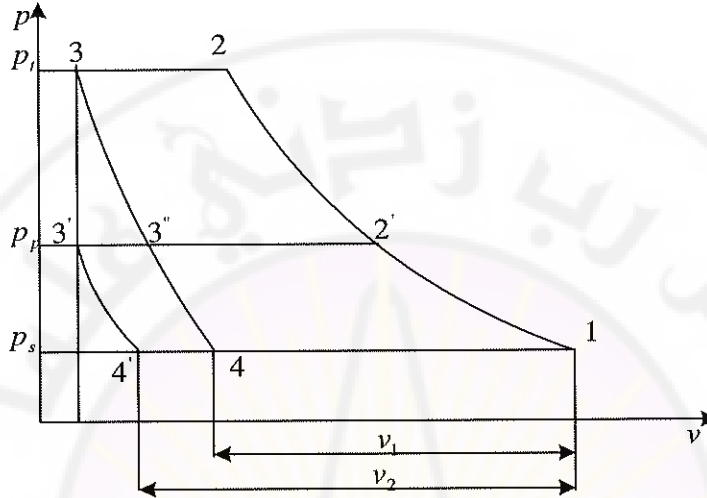
يبين الشكل (11-5) ضاغط ثنائي المرحلة بعد انضغاط الغاز في المرحلة الأولى إلى القيمة p_p يجري الغاز إلى المبرد، حيث يبرد من الدرجة T_p'' إلى الدرجة T_p ، ثم يضغط في المرحلة الثانية إلى القيمة p_i . مخطط عملية الانضغاط لضغط ثنائي المرحلة مثالي على مخطط p-V كما في الشكل .



الضواغط متعددة المراحل تخفض العمل اللازم للانضغاط (الحقل المهرش)، ويخفض درجة حرارة الانضغاط النهائية، ويزيد قيمة معامل الحجم الحقيقي λ_{ob} وإنقاص القوة المطبقة على المكبس.

يبين الشكل (12-5) الهدف من مقارنة مخطط عملية الانضغاط مع الأخذ بالاعتبار الحجم الميت لضغط وحيد المرحلة وضاغط ثنائي المرحلة. في حالة الضاغط وحيد المرحلة وعند الشوط الحجمي نفسه للأسطوانة V_{sc} عمل التمدد محدد بالمنحني 4 - 3''، بينما للضاغط ثنائي المرحلة المنحني 4'' - 3'' من عملية

التمدد ينتج، أن للضاغط وحيد المرحلة للأسطوانة ذات الشوط الحجمي V_{sc} فإن الحجم الميت للغاز ينقص القيمة $V_2 - V_1$ ، وبالقيمة نفسها تنقص شدة تدفق الهواء المضغوط عند المخرج من الضاغط. اختيار عدد مراحل الانضغاط يحدد بحيث تكون



الشكل (12-5) مقارنة عملية الانضغاط مع وجود حجم ميت على مخطط p-V

قيمة درجة الحرارة في نهاية المرحلة لا تتجاوز $T_p \leq 400 - 470 \text{ K}$. أعلى درجة للغاز المضغوط يجب أن تكون أقل حوالي 40K من درجة حرارة الزيت المستخدم في تبريد الأسطوانة.

تحدد قيمة نسبة الانضغاط المتماثلة بين المراحل لضواغط الغازات الكاملة بالعلاقة:

$$\pi_{st} = \sqrt[n]{\left(\frac{p_t}{p_s}\right)_z}$$

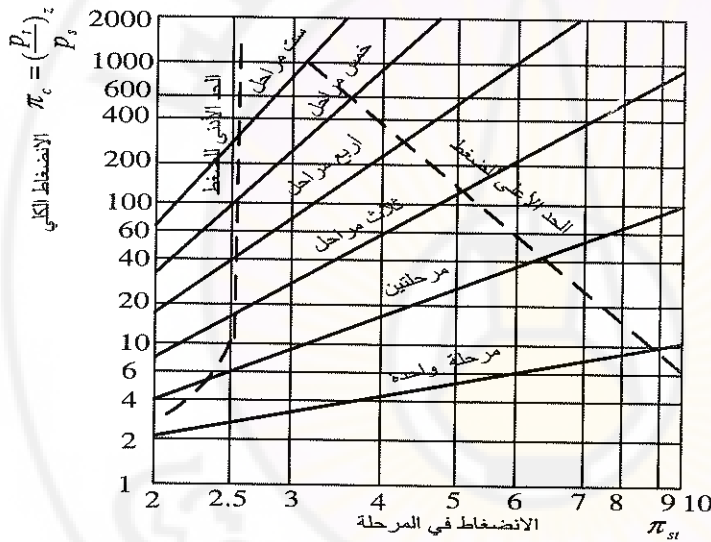
استعمال قيمة نسبة الانضغاط نفسها نحصل على قيمة واحدة لعمل كل مرحلة

$$L_{t1} = L_{t2} = \dots = L_{tn}$$

والزيادة نفسها في درجة الحرارة

$$\left(\frac{T_t}{T_s}\right)_1 = \left(\frac{T_t}{T_s}\right)_2 = \dots = \left(\frac{T_t}{T_s}\right)_n = \pi_{st}^{\frac{n-1}{n}}$$

نسبة الانضغاط الكلية π_c بالنسبة لعدد المراحل ونسبة الانضغاط في كل مرحلة π_{st} مبينة في الشكل (5-13). للضواغط المتوسطة والكبيرة تؤخذ نسبة الانضغاط في كل مرحلة $\pi_{st} \leq 4$ ، للضواغط الصغيرة ذات العمل المستمر $\pi_{st} \leq 6$ ، وفترات العمل القصيرة $\pi_{st} \leq 8$. الغازات الحثيقية وفي مجالات الضغوط المتوسطة والعالية لا تنطبق عليها معادلة الحالة للغاز المثالي. عند الحسابات الترموديناميكية للضواغط المكبسية عند ضغوط متوسطة ومرتفعة يجب الأخذ بالاعتبار تأثير الضغط على تغير الحجم النوعي للغاز المضغوط.



الشكل (5-13) علاقة نسبة الانضغاط الكلية بالنسبة لعدد المراحل

5-4 الضواغط الطاردة المركزية والمراوح

تعتبر الضواغط والمنايفخ والمراوح آلات عنفية امتصاصية تستعمل لضغط السوائل. المروحة تسبب رفعاً بسيطاً في ضغط جسم التشغيل خلال المرحلة وتتألف من الدولاب الدائر (الجزء الدوار) ويكون محاطاً بعنصر ثابت يعرف بالغلاف. تنتقل الطاقة إلى الهواء بواسطة الدولاب الدائر حيث يحدث اختلاف بالضغط يؤدي إلى

جريان الهواء. يدخل الهواء من مدخل المروحة (أنبوب السحب) بينما يخرج مدفوعاً خارج المروحة من أنبوب الدفع.

المنافخ تقوم بضغط الهواء خلال سلسلة من المراحل وغالباً ما يمر عبر الناشرة المتوضعة قرب المخرج. تعمل في المجال $(1.5-2.5) \text{ atm}$ عند سرعة دوران أعلى من 30000 r.p.m

- ضاغط الطرد المركزي

يمكن للضاغط أن يكون ذا تدفق محوري أو تدفق طرد مركزي أو مركب بالحالتين. حيث تنتج الضواغط الهواء اللازم لعملية الاحتراق بضغط عالٍ. ينشأ الضغط العالي في الضواغط العنقية أو الضواغط الديناميكية من الطاقة الحركية للهواء في الجزء الدوار وهي تتحول إلى ضغط في الناشرة. تكون سرعات جريان الهواء عالية ويقترّب عدد ماخ من قيمة منسجمة عند عدة نقاط من تيار الهواء. تؤخذ بالاعتبار فعالية الانضغاط عند كل مرحلة من مراحل الضاغط ومعدلات الضغط (نسبة الانضغاط) $4/1$ في المرحلة الواحدة ويمكن أن تصل إلى $6/1$ إذا كان المعدن من التيتانيوم. لأجل المراوح العنقية أو المحركات الهوائية يمكن أن تتكرر في مرحلة الطرد المركزي حيث تستعمل في ضم وحدة أو أكثر من المراحل المحورية. لا يعمل ضاغط الطرد المركزي باستقرار عندما تكون نسبة الانضغاط المطلوبة أكبر من نسبة مرحلة واحدة في السلسلة بسبب المشاكل الايروديناميكية. في هذه الحالة، استعمال مرحلتي طرد مركزي للانضغاط يكون أكثر فائدة في المحركات والمراوح العنقية.

يتألف ضاغط الطرد المركزي من:

- الجزء الثابت الذي يحتوي على الجزء الدوار حيث تتحول الطاقة الحركية للهواء إلى ضغط عالٍ.
- ممرات التوزيع حيث تتحول الطاقة الحركية إلى ضغط ثابت وهذه العملية تدعى بالناشرة.

هناك أنواع من ضواغط الطرد المركزي تحتوي ممرات تدعى ناشرات. قد تكون ضواغط الطرد المركزي بمدخل واحد أو مدخلين للجزء الدوار.

يمكن أن يكون لضواغط الطرد المركزي مدخلان حيث يدخل الهواء إلى الجزء الدوار فيدور حوله بسرعة عالية بواسطة الشفرات الدوارة المثبتة على القرص الدوار ليمر بعدها عبر الناشرة حيث تتحول الطاقة الحركية إلى ضغط.

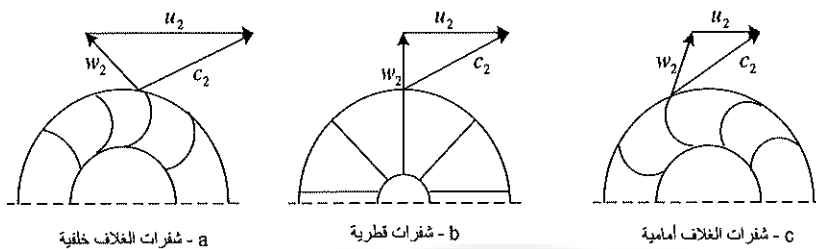
تتولد الطاقة من دوران الشفرات الدوارة وتؤدي لزيادة الضغط الستاتيكي لجسم التشغيل الذي يتحرك ما بين المدخل ذي القطر r_1 والمخرج ذي القطر r_2 ويستمر ازدياد الضغط الستاتيكي في الناشرة. عملياً ازدياد الضغط الستاتيكي في الضاغط حول محور الضاغط يحصل في الدائر والمحور والناشرة. ثم يتجمع الهواء الخارج من الناشرة ويوزع للخارج.

1- فعالية الريش في أداء العمل

تم الحديث سابقاً عن الأنواع الثلاثة من الأجزاء الدوارة في الدائر الشكل (5-14) المسار العكسي (شفرات أمامية) - المسار الخلفي (شفرات خلفية) - الدوران القطري (شفرات قطرية).

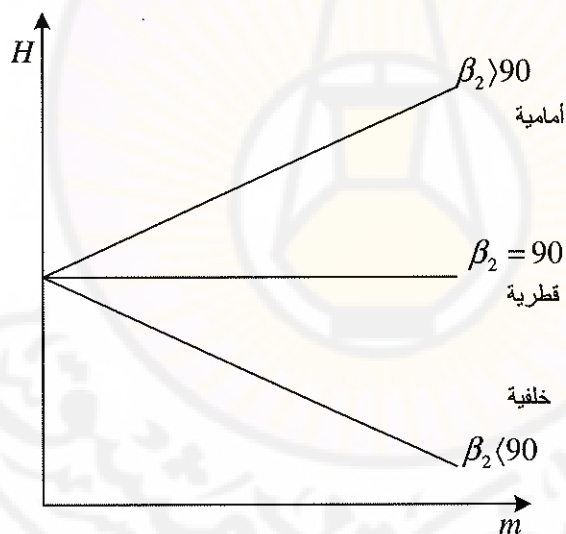
يتعرض الجزء الدوار لإجهادات وثرية عالية، إن الانحناء للخارج وفق خط منحنٍ يسبب نشوء قوة الطرد المركزي (يؤخذ شكل الشفرات أيضاً في بعض المضخات الهيدروليكية). الشفرات القطرية لا تتعرض فقط للإجهادات الوثرية.

يبين الشكل (5-14) مخطط الأنواع الثلاثة للجزء الدوار. ومثلثات السرعات في المخطط القطري عند الخروج لكل نوع منها.



الشكل (14-5) مخطط الأنواع الثلاثة للجزء الدوار ومثلثات السرعات في المخطط القطري عند الخروج

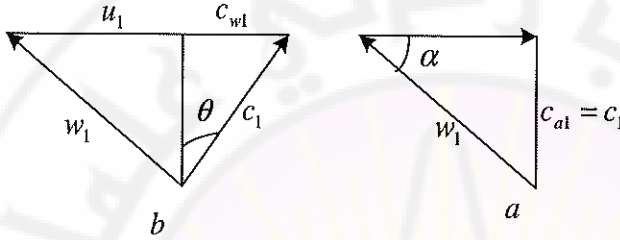
يبين الشكل (5-15) العمل النسبي الناتج عن الأنواع الثلاثة، يبدو واضحاً وزيادة التدفق الكتلي مع تناقص الضغط على الشفرة القطرية. وزيادة الضغط على الأمامية لأجل انحراف محدد للسرعة. إن الشفرات الأمامية للجزء الدوار تنقل طاقة أعظمية وتجعل حجم الآلة صغيراً مقارنة مع التصميمين الآخرين تليها الشفرات القطرية وأقلها الشفرات الخلفية.



الشكل (5-15) العمل النسبي الناتج عن الأنواع الثلاثة (معدل التدفق الحجمي ونسبة الضغط)

2- مخططات السرعة

يبين الشكل (5-16) مخطط سرعتي الدخول والخروج a مثلث السرعات عند الدخول بالاتجاه المحوري حيث $C_{a1} = C_1$ و b مثلث السرعات عند خروج الهواء ودخوله إلى الشفرات الدوارة من الجزء الدوار حيث: θ زاوية الالتفاف ثم ينحرف جريان الهواء من الجزء الدوار بزاوية 90 درجة وتكون $C_{w2} = u_2$ أي أن سرعة الجزء الدوار (السرعة المحيطية) تساوي سرعة الانحراف.



الشكل (5-16) مخطط سرعتي الدخول والخروج

a- مثلث السرعات عند الدخول بالاتجاه المحوري حيث

b- مثلث السرعات عند خروج الهواء ودخوله إلى الشفرات الدوارة من الجزء الدوار

3- معامل الانزلاق

من المناقشة أعلاه نجد أن عدم التأكد من أن جريان السائل الحقيقي سيمر على الشفرة ويغادر الضاغط في الاتجاه القطري، يؤخذ بالاعتبار معامل الانزلاق σ الذي يحدد بالعلاقة:

$$\sigma = \frac{C_{w2}}{U_2} \quad (12-5)$$

يحصل انزلاق السائل عن الاتجاه القطري للشفرة حيث $C_{w2} \neq U_2$ ومعامل الانزلاق $\sigma < 1$. إذا كانت سرعة الخروج القطرية هي نفسها سرعة السائل الحقيقية، فإن انحراف زاوية الخروج للشفرة باتجاه انحراف الشفرات الأمامية حوالي (10-14) درجة ومعامل الانزلاق يكون قريباً من قيمة ثابتة لأية آلة ويتعلق بعدد الشفرات على الجزء الدوار. لقد بينت الدراسات التجريبية أن التدفق في قناة الجزء الدوار ينحرف بمقدار معامل الانزلاق المحدد بالعلاقة

حيث: n عدد الشفرات في الجزء الدوار $\sigma = 1 - \frac{0.63 \cdot \pi}{n}$

مؤشرات منحني السرعة C_{w2} و U_2 تبين أن قيمة σ تزداد، وأن زيادة عدد الشفرات الدوارة يزيد بقيمة معامل الانزلاق σ ولكن ينقص التدفق عند المدخل. عندما $\sigma = 0.9$ فإن $n=(19-21)$

4- أداء العمل

إن العزم النظري يساوي معدل تغير القوة الزاوية الدافعة التجريبية للهواء من

أجل 1kg هواء ويعطى بالعلاقة $\tau = C_{w2} \cdot r_2$

والعمل بالعلاقة $W_c = C_{w2} \cdot r_2 \cdot \omega = C_{w2} \cdot U_2$

ω السرعة الزاوية، العمل موجب

$$W_c = \sigma \cdot U_2^2 \quad (13-5)$$

يصرف جزء من الطاقة للسوائل الحقيقية لتغطية الضياعات في الأجنحة وقرص الاحتكاك وغلاف الاحتكاك وهي تنقص فعالية الضاغط. مع الأخذ بالاعتبار هذه الضياعات فإن معامل طاقة الدخل تتراوح قيمته بين (1.04-1.035) عندما $\psi =$

$$T_{o2} - T_{o1} = \frac{\psi \cdot \sigma \cdot U_2^2}{c_p} \quad , \quad W_c = \psi \cdot \sigma \cdot U_2^2 \quad \cdot C_{w1} = 0$$

درجة الحرارة عند مدخل ومخرج الجزء الدوار T_{o2}, T_{o1}

c_p الحرارة النوعية

T_{o3} درجة الحرارة عند مخرج الناشرة

لا يوجد عمل في الناشرة وبالتالي $T_{o2} = T_{o3}$ ويكون المردود الأدبياتي:

$$\eta_c = \frac{T_{o1} \cdot \left(\frac{T_{o3}}{T_{o1}} - 1 \right)}{T_{o3} - T_{o1}} \quad , \quad \eta_c = \frac{T_{o3} - T_{o1}}{T_{o3} - T_{o1}}$$

$$\frac{p_{o3}}{p_{o1}} = \left[1 + \frac{\eta_c \cdot (T_{o3} - T_{o1})}{T_{o1}} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad , \quad \frac{p_{o3}}{p_{o1}} = \left(\frac{T_{o3}}{T_{o1}} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

العلاقة تحدد نسبة الانضغاط بمعرفة درجتي حرارة الدخول والخروج

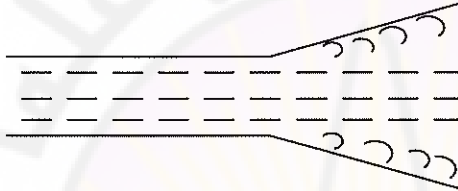
$$\frac{p_{o3}}{p_{o1}} = \left[1 + \frac{\eta_c \cdot \psi \cdot \sigma \cdot U_2^2}{c_p \cdot T_{o1}} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

حيث: p_{o1} و p_{o3} الضغط عند مدخل الضاغط ومخرج الناشرة

عندما $U_2 = 460 \text{ m/sec}$ فإن $p_{o3}/p_{o1} = 4/1$

5- الناشرة

تزداد فعالية نظام حجرة الاحتراق في المحركات والعنفات الغازية إذا كانت سرعة الهواء الداخل للحجرة أقل ما يمكن. مخرج الناشرة المثالي يكون عند سرعة 90 m/sec والانحراف الطبيعي للهواء في الناشرة يؤدي لتشكل نقاط ميتة عند جدران الممر الشكل (5-17)



الشكل (5-17) التدفق في الناشرة

مسائل محلولة

المسألة الأولى:

يدخل الهواء في ضاغط محوري عند ضغط [bar] 1 ودرجة حرارة 292 [K] ونسبة الانضغاط 9.5 إذا كان المردود الأديباتي للضاغط 0.85 أوجد العمل اللازم للانضغاط ودرجة الحرارة النهائية للهواء المضغوط حيث:

$$c_p = 1.005 \text{ [kJ / kg .k]}, \gamma = 1.4$$

الحل:

$$p_{o1} = 1 \text{ bar}, T_{o1} = 292^\circ \text{ K}, \eta_c = 0.85$$

من علاقة العملية الأديباتية نحسب درجة الحرارة النهائية للعملية الأديباتية

$$\frac{p_{o2}}{p_{o1}} = \left(\frac{T_{o2}'}{T_{o1}} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}},$$

$$T_{o2}' = 292 \times (9.5)^{\frac{1.4}{1.4-1}} = 555.92^\circ \text{ K}$$

درجة الحرارة النهائية الفعلية

$$T_{o2} = T_{o1} + \frac{T_{o2}' - T_{o1}}{\eta_c},$$

$$T_{o2} = 292 + \frac{555.92 - 292}{0.85} = 602.49^\circ \text{ K}$$

العمل اللازم للانضغاط

$$w_c = c_p (T_{o2} - T_{o1}),$$

$$w_c = 1.005 (602.49 - 292) = 312 \text{ kJ / kg}$$

المسألة الثانية:

ضاغط محوري مكون من عشرة مراحل للحصول على نسبة انضغاط 9.5 والمردود الأديباتي 0.88 درجة حرارة الهواء عند الدخول 290 K وبفرض أن ازدياد درجة الحرارة نفسه بعد كل مرحلة ومعامل العمل 0.87 المطلوب: حدد زاوية دخول

الهواء حيث سرعة الشفرة 218 m/s وسرعة المحور 165 m/s ودرجة رد الفعل

$$c_p = 1.005 [kJ / kg . k], \gamma = 1.4 \text{ حيث: } 0.76$$

الحل:

$$R = 9.5, T_{o1} = 290^\circ K, \eta_c = 0.88, \Lambda = 0.76$$

$$c_a = 165 [m / s], u = 218 [m / s], \tau = 0.87$$

مقدار الزيادة الكلية في درجة الحرارة

$$T_o = \frac{T_{o1}}{\eta_c} (R^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1),$$

$$T_o = \frac{290}{0.88} (4.5^{\frac{1.4-1}{1.4}} - 1) = 155.879^\circ K$$

مقدار الزيادة بعد كل مرحلة

$$T_{os} = \frac{T_o}{10},$$

$$T_{os} = \frac{155.879}{10} = 15.588^\circ K$$

$$T_{os} = \frac{\tau . u . c_a}{c_p} (\tan \alpha_2 - \tan \alpha_1)$$

$$\tan \alpha_2 - \tan \alpha_1 = \frac{T_{os} . c_p}{\tau . u . c_a} = \frac{15.588 \times 1005}{0.87 \times 218 \times 165} = 0.501$$

ومن علاقة درجة رد الفعل

$$\Lambda = [1 - \frac{c_a}{2 . u} (\tan \alpha_2 + \tan \alpha_1)],$$

$$\tan \alpha_2 + \tan \alpha_1 = \frac{\Lambda . 2 . u}{c_a} = \frac{0.76 \times 2 \times 218}{165} = 0.634$$

$$\alpha_1 = 38^\circ, \alpha_2 = 29.57^\circ \text{ نجد مما سبق أن}$$

وبشكل مشابه نحسب:

$$\beta_1 = 51.46^\circ, \beta_2 = 37.03^\circ$$

INDEX OF TECHNICAL TERMS

ENGLISH

ARABIC

A

ACCELERATION SYSTEM	نظام التعجيل في المغذي
ADIABATIC COMPRESSION	ضغط أديباتي
ADIABATIC EXPANSION	تمدد أديباتي
ADIABATIC PROCESS	إجراء أديباتي
AIR CONSUMPTION	مقدار استهلاك الهواء
AIR COOLED ENGINE	محرك مبرّد بالماء
AIR FILTER	مصفاة هواء
AIR FLOW	تدفق الهواء
AIR FLOW SENSOR	حساس تدفق الهواء
AIR POLLUTION	تلوث الهواء
AIR/ FUEL MIXTURE	خليط الوقود والهواء
AIR/ FUEL RATIO	نسبة الوقود للهواء
ALDEHYDES	الألدهيدات
ALPHA	
METHYLNAPHTHAENE	مركب ألفا ميتيل نفتالين
ALTERNATIVE FUEL	وقود بديل
AROMATICS	مركب عطري
ATOMIZATION	تذير - تفتيت إلى حبيبات دقيقة
ATOMIZER	فوهة تذير - مذرّر
AUTOIGNITION	الاشتعال الذاتي للوقود
AUTOMOTIVE ENGINE	محرك سيارة

B

BARREL	أسطوانة مضخة الضغط العالي
BATTERY	مدخرة - بطارية
BEARING	محمل - رولمان
	محمل النهاية الكبرى لذراع
BIG END BEARING	التوصيل
BLOW-BY GASES	الغازات المتسربة لعلبة المرفق
BORE	قطر الأسطوانة
BOTTOM DEAD CENTER(BDC)	النقطة الميتة السفلى
BRAKE (HORSE)POWER	الاستطاعة الفعالة
BRAKE FACTORS	العوامل الفعالة
BRAKE MEAN EFFECTIVE PRESSURE	متوسط الضغط الفعال
BRAKE SPECIFIC FUEL CONSUMPTION	الاستهلاك النوعي الفعال للوقود
BRAKE THERMAL EFFICIENCY	الجودة الحرارية الفعالة
BRAKE(THERMAL) EFFICIENCY	الجودة الحرارية الفرملية
	C
CALORIFIC VALUE	القيمة الحرارية
CAMSHAFT	عمود الكامات
CARBON DIOXIDE	ثاني أكسيد الكربون
CARBON MONOXIDE	أول أكسيد الكربون
CARBON PARTICLES	جسيمات الكربون
CARBURATION	عملية مزج الوقود والهواء
CARBURETOR	المغذي-المفحم

CATALYST	معجل (وسيط) كيميائي
CATALYTIC CONVERTOR	مانع وسيطي (معجل)
CETAN	وقود السيتان
CETAN NUMBER	رقم السيتان
CHAIN REACTION	تفاعل تسلسلي
CHEMICAL ENERGY	الطاقة الكيميائية
CHEMICAL REACTION	تفاعل كيميائي
CLEARANCE VOLUME	حجم الخلوص
COIL	وشيعة
COMBUSTION CHAMBER	غرفة الاحتراق
COMBUSTION OF THE FUEL	احتراق الوقود
COMBUSTION PROCESS	عملية الاحتراق
COMBUSTOR	غرفة الاحتراق-حراق
COMPOSITE CYCLE	الدورة المشتركة
COMPRESSION RATIO	نسبة الانضغاط
COMPRESSION STROKE	شوط الانضغاط
COMPRESSOR	ضاغط
CONNECTING ROD	ذراع التوصيل
CONSUMPTION	استهلاك
CONTROL UNIT	وحدة التحكم
COOLING	التبريد
COOLING BLOWER	مروحة التبريد

COOLING SURFACES	سطوح التبريد
COOLING WATER	ماء(سائل) التبريد
CRANK	المرفق
CRANK ANGLE(c.a)	زاوية دوران العمود المرفقي
CRANK CASE	علبة المرفق
CRANK RADIUS	نصف قطر المرفق
CRANK WEB	ساعد المرفق
CRANKSHAFT	العمود المرفقي
CYCLE MEAN PRESSURE	متوسط الضغط للدورة
CYLINDER	الاسطوانة
CYLINDER BLOCK	كتلة الأسطوانات
CYLINDER BORE(DIAMETER)	قطر الأسطوانة
CYLINDER HEAD	رأس(غطاء الأسطوانة)
CYLINDER HEAD GASKET	جوان رأس الأسطوانة
CYLINDER JACKET	قميص الأسطوانة
CYLINDER LINER	بطانة الأسطوانة
	D
DENSITY	الكثافة
DENSITY	الكثافة
DETONATION	ظاهرة الصفع
DIESEL CYCLE	دورة ديزل
DIESEL CYCLE	دورة ديزل
DIESEL ENGINE	محرك ديزل

DIESEL ENGINE	محرك ديزل
DIFFUSION	انتشار
DIFFUSOR	ناشر
DIRECT INJECTION DIESEL	محرك ديزل ذو حقن مباشر
DIRECT INJECTION DIESEL	محرك ديزل ذو حقن مباشر
DIRECT INJECTION(DI)	حقن مباشر
DIRECT INJECTION(DI)	حقن مباشر
	التفكك الحراري لجزيئات نواتج الاحتراق
DISLOCATION	موزع
DISTRIBUTOR	محرك مستقيم ذو أسطوانتين
DOUBLE CYLINDER IN-LINE ENGINE	بطانة جافة
DRY LINER	تزييت قسري من الحوض الجاف
DRY SUMB LUBRICATION	محرك ثنائي الوقود
DUAL FUEL ENGINE	E
	فعال
EFFECTIVE	جودة-مردود-كفاية
EFFICIENCY	مضخة وقود كهربائية
ELECTRIC FUEL PUMP	وحدة تحكم إلكترونية
ELECTRONIC CONTROL UNIT(ECU)	إشعال إلكتروني
ELECTRONIC IGNITION	تحكم بغازات العادم
EMISSION CONTROL	طاقة
ENERGY	

ENGINE	محرك
ENGINE COOLING SYSTEM	نظام تبريد المحرك
ENGINE EFFICIENCY	جودة - كفاءة - المحرك
ENGINE LUBRICATION	تزييت المحرك
ENGINE PERFORMANCE	أداء المحرك
ENGINE-SPEED SENSOR	حساس سرعة المحرك
ENRICHING OF THE MIXTURE	إغناء الخليط
EVAPORATION	تبخر
EXCESS AIR COEFFICIENT	معامل فائض الهواء
EXHAUST GASES	غازات العادم
EXHAUST MANIFOLD	مجمع أنابيب العادم
EXHAUST MUFFLER	كاتم صوت العادم
EXHAUST STROKE	شوط العادم
EXHAUST VALVE	صمام العادم
EXHAUST-GAS RECIRCULATION SYSTEM(EGR)	نظام إعادة تدوير غازات العادم
EXPANSION RATIO	نسبة التمدد
EXPANSION STROKE	شوط التمدد
	F
FEED PUMP	مضخة تغذية
FILTRAION EFFECTS	فعالية التنصيف
FIRING ORDER	ترتيب الاشتعال
FLAME	لهب-شعلة

FLAME FRONT	جبهة اللهب
FLAMMABILITY	قابلية الاشتعال
FLOAT CHAMBER	كأس العوامة
FLYWHEEL	الحدافة
FOUR-STROKE ENGINE	محرك رباعي الأشواط
FRICTION LOSSES	ضیاعات الاحتكاك
FRICTIONAL HORSEPOWER	الاستطاعة الضائعة على الاحتكاك
FUE PUMP	مضخة وقود
FUEL CONSUMPTION	استهلاك الوقود
FUEL FILTER	مصفاة الوقود
FUEL INJECTOR	حاقن وقود
FUEL TANK	خزان وقود
	G
GAS EXCHANGE	التبادل الغازي
GAS SEAL	مانع تسرب الغازات
GAS TURBINE(GT)	توربين غازي
GASOLINE	وقود البنزين
GASOLINE DIRECT-INJECTION SYSTEM	نظام حقن بالوقود مباشر
GASOLINE FILTER	مصفاة وقود
GEARBOX	علبة المسمنات
GENERALIZED CYCLE	الدورة العامة
GREENHOUSE EFFECT	ظاهرة الاحتباس الحراري

GREENHOUSE GASES	غازات الدفيئة
GUDGEON PIN	اصبع(بنز) المكبس
	H
HEAT BALANCE	التوازن الحراري
HEAT CAPACITY	السعة الحرارية
HEAT CONDUCTION	انتقال الحرارة
HEAT ENERGY	طاقة حرارية
HEAT ENERGY	محرك حراري
HEAT ENGINE	محرك حراري
HEAT EXCHANGER	مبادل حراري
HEAT LOSSES	ضياعات حرارية
HEAT REJECTED	الحرارة المطرودة
HEATRECEIVED	الحرارة المعطاة
HEPTANE	وقود الهيبتان
HIGHER CALORIFIC VALUE	القيمة الحرارية العليا للوقود
HIGH-PRESSURE PUMP	مضخة الضغط العالي
HOMOGENOUS MIXTURE	شحنة متجانسة
HYDRCARBONS	الهيدروكربونات
HYPRID ENGINE	محرك هجين
	I
IDEAL CARBURETOR	مغذي مثالي
IGNITION ADVANCE	زاوية تسبيق الاشتعال
INDICATED FACTORS	العوامل البيانية

INDICATED(THERMAL)	الجودة الحرارية البيانية
EFFICIENCY	
INDIRECT INJECTION	محرك بحقن غير مباشر
ENGINE	
INJECTION ADVANCE	زاوية تسبيق الحقن
INJECTION DURATION	فترة (استمرار) الحقن
INJECTION NOZZLE	فوهة الحقن
INLET MANIFOLD	مجمع أنابيب السحب
INLINE ENGINE	محرك اسطواناته على صف واحد
INTERNAL COMBUSTION	
ENGINE	محرك الاحتراق الداخلي
INTERNAL ENERGY	الطاقة الداخلية
ISO-OCTANE	وقود الأيزوأوكتان
	J
JET	نافورة
	K
KNOCK(DETONATION)	ظاهرة الصفع
	L
LEAD COMPOUNDS	مركبات الرصاص
LEAN MIXTURE	شحنة فقيرة بالوقود
LOWER CALORIFIC VALUE	القيمة الحرارية الدنيا للوقود
	M
MANIFOLD	مجمع - وصلة عامة
MARINE ENGINE	محرك بحري
MARINE ENGINE	محرك بحري
MEAN	وسطى

MECHANICAL EFFICIENCY	الجودة الميكانيكية
MIXTURE	مزيج-خليط
MIXTURE FORMATION	تشكيل الخليط
MIXTURE STRENGTH	(تركيز) تركيب الشحنة
MUFFLER	كاتم صوت
MULTIFUEL ENGINE	محرك متعدد الوقود
NAPHTHENES	N
NATURAL ASPIRATED ENGINE	النفثانات
NEEDLE VALVE	محرك بتغذية طبيعية
NITROGEN	صمام ابري
NITROGEN DIOXIDE	الآزوت
NITROGEN OXIDE	ثاني أوكسيد الازوت
N-NEPHTANE	أول أوكسيد الآزوت
NOMINAL RATING	الهيبتان العادي
NORMAL COMBUSTION	الشروط الاسمية
OCTANE	احتراق طبيعي
OCTANE NUMBER	O
OCTANE RATING	الأوكتان
OIL FILTER	رقم الأوكتان
OIL RADIATER	درجة أوكتان الوقود
OIL SUMP	مصفاة الزيت
	المشع(المبرد) الزيتي
	حوض الزيت

OTTO CYCLE	دورة أوتو
OUTLET VALVE	صمام الخروج
OVERHEAD VALVE	صمام علوي
OXIDATION	الأكسدة
OZONE(O ₃)	الأوزون
P	P
PARAFINES	البارافينات
PART LOAD	حمل جزئي
PERFORMANCE	أداء
PEROXIDE	البيروكسيد (مركب غني بالأكسجين)
PETROLE	وقود البنزين
PETROLE ENGINE	محرك بنزين
PETROLE INJECTION SYSTEM	نظام حقن بالوقود لمحرك بنزين
PISTON DISPLACEMENT	انتقال المكبس
PISTON RINGS	الحلقات المكبسية
PISTON STROKE	شوط المكبس
PLUNGER	مكبس مضخة الوقود ذات الضغط العالي
POLLUTANT	عنصر ملوث
POLLUTION	تلوث
POSITIVE CRANKCASE VENTILATION(PCV)	نظام تهوية علبة المرفق الإيجابي
POWER STROKE	شوط القدرة

PPM(PART PER MILLION)	جزء من المليون حجماً
PUMP INJECTOR UNITE	وحدة مضخة / حاقن
	Q
QUANTITY	مقدار (معدل) التدفق
	R
PREIGNITION	الاشتعال المبكر
RACK	الجريدة المسننة في مضخة الوقود
RADIATOR	المشع
RATING	درجة - تقدير
REACTION	تفاعل - رد فعل
RECIPROCATING PISTON ENGINE	محرك مكبسي ترددي
RECIRCULATION	إعادة تدوير
RESIDUAL GASES	الغازات المتبقية
RETURN VALVE	صمام رجوع
RICH MIXTURE	شحنة غنية بالوقود
ROCKER ARM	الذراع المتأرجح
ROCKET ENGINE	محرك صاروخي
ROTARY PISTON ENGINE	محرك مكبسي دوار (فانكل)
	S
SEAL	مانعة تسرب
SHORT STROKE ENGINE	محرك قصير الشوط
	محمل النهاية الصغرى لذراع
SMALL END BEARING	التوصيل
SMOG	ضباب صناعي ناتج عن تلوث

	الهواء
SOOT	هباب الفحم
SPARK IGNITION ENGINE	محرك اشتعال بالشرارة
SPARK PLUG	شمعة الاحتراق
SPLASH LUBRICATION	تزييت بالرش
STEAM ENGINE	محرك بخاري
STROKE	شوط المكبس
SUPERCHARGING	الشحن القسري
	الحجم الفعال (المزاح) من قبل
SWEPT VOLUME	المكبس
	T
TETRAETHYLLEAD(TEL)	رابع إيثيل الرصاص
TETRAMETHYLLEAD(TML)	رابع ميثيل الرصاص
THERMAL CALCULATION	الحساب الحراري
THERMAL EFFICIENCY	الجودة الحرارية
THERMOSTAT	منظم الحرارة
THROTTLE VALVE	صمام التحكم
TOP DEAD CENTER(TDC)	النقطة الميتة العليا
TOTAL VOLUME	الحجم الكلي (للاسطوانة)
TURBINE	توربين - عنفة
TWO STROKE ENGINE	محرك ثنائي الشوط
	U
	V
VALVE	صمام

VALVE GUID	دليل الصمام
VALVE OVERLAP	تداخل الصمامات
VALVE SEAT	مقعد الصمام
VALVE SPRING	نابض الصمام
VALVE TIMING	توقيت فتح الصمامات
VAPOUR RECOVERY SYSTEM	بخار (الوقود)
VAPOUR	نظام استرداد الأبخرة
VEE ENGINE	محرك مرتبة اسطواناته على شكل V
VENTILATION	تهوية
VENTURI	فنتوري
VOLATILITY	قابلية التطاير (التبخّر)
VOLUME	حجم
VOLUMETRIC EFFICIENCY	الجودة الحجمية
W	
WANKEL ENGINE	محرك فانكل
WATER COOLED ENGINE	محرك مبرّد بالماء
WET LINER	بطانة مبللة (معرضة لماء التبريد)
X	
Y	
Z	

المراجع العلمية
REFERENCE BOOKS

- 1-Г. П. ПАНКАТОВ -ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ-ТРАКТОРЫ И ИХ ЭКСПЛУАТАЦИЯ -МОСКВА(ВЫСШАЯ ШКОЛА) 1989
- 2-В. Н. ЛУКАНИНА -ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ-МОСКВА(ВЫСШАЯ ШКОЛА)- 1985 .
- 3-ROBERT BOSCH GMBH-GASOLINE-ENGINE MANAGEMENT SYSTEM AND COMPONENTS-3-rd EDITION – 2006.
- 4- Podstawy projektowania silowni cieplnych , Warsaw ,1974..Stanislaw Andrzejewski
- 5-Turbiny parowe I gazowe, Polska Akademia Nauk,1992,Stefan Perycz
- 6-Pompy,Warsaw 1985,Mieczyslaw Stepniewski
- 7-Sprezarki I Wentylatory,Wroclaw 1982,Edward Waniek and Ryszard Wyszynski
- 8-A Course in Power Plant Engineering, Nal Sarak, Delhi 1994 ,Arora o s. Domkundwar
- 9- Turbomachinary-design and theory,2003,ISBN

- 10- أ.د.محمد ياسر حياني-محركات ومحطات -الجزء الأول-محركات الاحتراق الداخلي-مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية-منشورات جامعة حلب 1993 .
- 11- أ.د.علي صبح- أ.د.طارق الخاير الجاسم-محركات ومحطات طاقة-منشورات جامعة دمشق 1992 §
- 12- أ.د.أحمد فيصل العمر- محركات الاحتراق الداخلي-الجزء الثاني--مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية-منشورات جامعة حلب . 1990
- 13- أ.د.جميل غوجل- محركات الاحتراق الداخلي-الجزء الأول 1982 .
- 14- أ.د.محمد غصوب السراقبي-تصميم محركات الاحتراق الداخلي-منشورات جامعة دمشق . 2010
- 15-تكنولوجيا المركبات الآلية-المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني 1985
- 16- د.محمد سعيد السابق-دراسة إمكانية تخفيض نسبة الغازات السامة المطروحة مع غازات العادم من محرك سيارة خفيفة 1987 .
- 17- د.محمد سعيد السابق-الملوثات الصادرة عن محركات البنزين ومحركات الديزل العادية والحدود المسموح بها عالمياً-مجلة بحوث جامعة حلب-سلسلة العلوم الهندسية-العدد 35 لعام 2003 .
- 18- أ.د. أحمد حميد و أ.د. جمال العباس - آلات حرارية (1) جامعة دمشق
- 19- أ.د. أحمد حميد و أ.د. جمال العباس - آلات حرارية (2) جامعة دمشق

المدققون العلميون :

- أ.د. محمد غصوب السراقبي

- أ.د. حسين تينة

- د. علي خلوف

المدقق اللغوي :

- د. فائق كوكبة

- حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات الجامعية

جامعة دمشق
Damascus University