



محركات الاحتراق الداخلي ٢



السنة :الرابعة
القسم :هندسة السيارات



منشورات جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

محركات الاحتراق الداخلي - ٢

الدكتور طارق الخاير
أستاذ في قسم هندسة السيارات

الدكتور علي صبح
أستاذ في قسم هندسة السيارات

الدكتور توفيق عيسى
مدرس في قسم السيارات

الدكتور ثائر سلام
مدرس في قسم السيارات

١٤٣٢ - ١٤٣٣ هـ

٢٠١١ - ٢٠١٢ م

جامعة دمشق



فهرس

الفصل الأول

9	أداء المحركات
10	الخواص (المنحنيات) العيارية
30	منحنيات (خواص) الحمولة
40	منحنيات (خواص) السرعة
59	منحنيات (خاصية) المحرك عديدة العوامل
62	منحنيات الصفع
67	منحنيات المحرك على النظم الانتقالية

الفصل الثاني

81	القوى والعزوم المؤثرة في المحركات المكبسية
81	- القوى والعزوم في المحرك وحيد الاسطوانة
97	- القوى والعزوم في المحرك عديد الاسطوانات

الفصل الثالث

109	الوقود الغازي والوقود غير النفطي في محركات الاحتراق الداخلي
113	استخدام الوقود ذات المنشأ النباتي
114	الكحول
119	ثنائي ميثل الأثير
121	الوقود الغازي

الفصل الرابع

139	الخصائص البيئية لمحركات الاحتراق الداخلي
-----	--

145	مؤشرات الضجيج لدى المحركات
151	وسائل تخفيض ضجة المحركات
162	المواد السامة في الغاز العادم
168	التحكم بمعايير الغازات السامة في المحركات
180	معالجة الغازات العادمة وتحبيدها
	الفصل الخامس
201	قيادة المحركات والتحكم بها
201	المحرك موضوع التحكم
211	التحكم بسرعة الدوران
232	التحكم الالكترونى بالمحرك
256	التحكم الديناميكي
260	تحكم متعدد العوامل
267	تشخيص المحرك
291	جداول ملحقة
313	المصطلحات العلمية
337	المراجع

مُتَكَمِّمًا:

للحصول على مؤشرات عالية في محركات الاحتراق الداخلي الحديثة تزداد المتطلبات العالية تجاه نظم القيادة في المحركات ووسائل النقل وخاصة دقة واستقرار العمليات العيارية، التي تؤدي إلى تعقيد تصاميم المحركات، وزيادة العمل المهدور أثناء الاستثمار.

ومن الضروري إضافة "المعايير والمواصفات" الحديثة. وفي المقام الأول يدور الحديث حول تحديد الإصدارات السامة وغير السامة للمحركات المكبسية وقيم الإشعاعات الصوتية.

تدل التجارب والخبرة أن إمكانية تطور المحركات ما زالت قائمة لاحقاً. يحاول الكتاب أن يعكس النجاحات الأخيرة واتجاهات المستقبل في تطوير النظريات والحسابات العائدة للعمليات الحرارية المختلفة وعمليات التشغيل، واستخدام الطرق الحديثة في تصميم المحركات. وبلغت النظر إلى استخدام أنواع الوقود الأخرى غير النفطية، واستخدام مواد جديدة في تصميم المحركات. وقد حصل تطور كبير في مجال المحركات المكبسية، مرتبط باستخدام تقنية الحواسيب لقيادة نظم المحركات والتحكم بها: كنظام التغذية، نظام الإشعال، أطوار التوزيع الغازي، نظم الإقلاع والشحن القسري للهواء، تحييد الغازات العادمة ومعالجة التلوث وغيرها.

ويستمر العمل والبحث حول التصاميم ذات الفاعلية المميزة، التي تحقق التغيير المبرمج القابل للتحكم، وذلك للحجم الفعال للاستطوانة، ونسبة الانضغاط، وإعادة الاستفادة من الحرارة الضائعة.

ونتيجة لذلك ظهرت مسألة التحكم الآلي الرقمي المعقد للمحرك، بهدف الوصول إلى تلبية المتطلبات القاسية تجاه المؤشرات الاقتصادية وتوافقها مع

المؤشرات البيئية الجيدة للمحركات. ويجب زيادة العناية بالمهمة الأساسية للمهندس وذلك في الزمن القريب والتي يمكن تلخيصها فيما يلي:

— تصميم وإنتاج محركات (مصادر القدرة) للسيارات النظيفة بيئياً ، بحيث تؤمن جودة عالية وفاعلية جيدة لعملية النقل بالسيارات من دون تأثيرات كبيرة وخطيرة على الجو المحيط ، وضمن الحدود الدنيا للعمل المهدور ، وللمواد والطاقة المهدورة في عمليات الإنتاج والاستثمار.

وتعد محطة القدرة في السيارة (المحرك) نظيفة بيئياً عندما لا تخل عمليات تصنيعها، واستخدامها وإعادة تدويرها باستقرار النظام بيئي (النقل بالسيارات — الوسط المحيط) أي إلى خروج الخواص والمواصفات المميزة عن المجالات المحدودة والمسموحة.

فيما يخص محركات البنزين للسيارات السياحية الخفيفة يأتي في المقدمة الاستطاعة النوعية العالية، الإصدارات الصغرى لأكاسيد الآزوت والهيدروكربونات العطرية عديدة الحلقات، والمستوى المسموح للصوت، والاستهلاك النوعي الأدنى من الوقود.

وفيما يخص محركات الديزل - الاستهلاك الأدنى من الوقود ، المستوى المسموح للصوت، الإصدار الأدنى لأكاسيد الآزوت والجسيمات الصلبة، والهيدروكربونات العطرية عديدة الحلقات.

المحركات المكسبة عملياً هي مصدر القدرة الوحيد في العالم المستخدم في وسائط النقل وآليات البناء والطرق، في الاقتصاد الزراعي وغيرها.

وقد بلغت المحركات حداً عالياً في تطورها وأصبحت آلية اقتصادية بدرجة عالية، وأصبح المحرك قادراً على العمل بكل أنواع الوقود السائل والغازي ، ومعها الكحول، الغاز الطبيعي المضغوط، الهيدروجين . وبلغت المحركات حداً مرتفعاً في مسألة الوثوقية (أكثر من مليون كم مسير).

الفصل الأول

أداء المحركات

١- مقدمة:

تعمل محركات السيارات في مجال واسع من نظم السرعات و الحمولات، وفي ظروف ومتغيرات كثيرة. و يقصد بنظام العمل مجموعة عوامل التشغيل والأداء، ومعاملات الوسط المحيط والحمولة الخارجية، التي تؤمن للمحرك مؤشرات قدرة ومؤشرات اقتصادية وبيئية معينة.

أداء المحرك وخواصه تعكسه العلاقة بين مؤشرات و بين أحد أو أكثر من العوامل المميزة لنظام العمل $(n, N_e, P_e, \eta_v, G_f)$ أو العوامل العيارية $(\alpha, \varphi_{0.3}, \varphi_{0.B}, P_k)$ وذلك عند ثبات بعض العوامل الأخرى .
وطبقاً لخواص المحرك تقدر وتحدد المواصفات الاستثمارية، جودة التصميم، صحة العيارات ومطابقة المحرك لهذه المهمة أو تلك وغيرها.

خواص المحرك (منحنيات العمل) تحسب على نظم العمل المستقرة، التي يدل عليها ثبات قيمة كل عامل من عوامل نظام العمل. مع العلم انه عند تقدير ثباتها واستقرارها لا تؤخذ بعين الاعتبار الطبيعة الدورية لعمل المحرك (انحراف العوامل خلال الدورة الحرارية) . والانحرافات الفجائية من دورة إلى أخرى.

نظم العمل المستقرة تميزها المساواة بين عزم المحرك T_K وعزم المستهلك T_c واستقرارها بالزمن .

$$T_k - T_c = 0 , \frac{dT_k}{dt} = \frac{dT_c}{dt} = 0$$

في نظام اللاحمل يتحدد النظام المستقر بمساواة العزم البياني T_i وعزم الضياعات الميكانيكية (الداخلية) T_M واستقرارها بالزمن أيضاً.

والشرط الضروري للنظام المستقر هو أيضاً تحقيق استقرار حرارة سائل التبريد، والزيت في المجالات المشار إليها في بيانات ووثائق المحرك.

والخواص التجريبية تحسب وتنشأ على منصات تجريبية خاصة ، تسمح بتحميل المحرك واستيعاب الاستطاعة الحاصلة في كل أنظمة العمل .

تجهيزات تحميل المحرك واستيعاب استطاعته تسمى المكابج. وإضافة لذلك تجهز منصات الاختبار بأجهزة القياس لجميع مؤشرات المحرك وعوامل نظام عمله. وبعض التجهيزات والنظم الأخرى التي تؤمن العمل الطبيعي للمحرك، والحفاظ على نظام العمل أو تغييره عند الضرورة.

٢- الخواص (المنحنيات) العيارية:

المنحنيات العيارية هي علاقة المؤشرات الرئيسية للمحرك وقيمة عامل معياري معين أو أكثر عند ثبات دوران عمود المرفق $n = \text{const}$.

مجموعة المنحنيات العيارية المحددة على عدة أنظمة للسرعة وللحمولة، تسمح بإيجاد قانون تغير القيم المثالية للعوامل العيارية على الأنظمة المختلفة، وتبعاً لذلك يمكن اختيار وتقدير عملية إجراء العيار لأنظمة المحرك المختلفة (نظام التغذية ، الإشعال ، الشحن القسري وغيرها) .

٢,١- المنحنيات العيارية لمحرك الشرارة الكهربائية وفق تركيب المزيج:

المنحني العيارية وفق تركيب المزيج هو العلاقة بين مؤشرات المحرك الأساسية وتركيب المزيج فيه ، وتحدد عند استقرار نظام السرعة للمحرك وعند القيم المثالية (نسبة للاستطاعة) لزاوية تسبيق الاشتعال لكل تركيب للمزيج

$$\varphi_{0.3} = \varphi_{0.3.0}$$

وتتحدد المنحنيات العيارية وفق تركيب المزيج بثلاثة طرق:

١- عند ثبات وضعية صمام التحكم (صمام المزيج) في المفم $\varphi_D = const$ مما يسمح بثبات تدفق الهواء ومعامل جودة السحب (الجودة الحجمية)

$$\cdot \eta_v = const, G_H = const$$

٢- عند ثبات استطاعة المحرك $N_e = const$

٣- عند ثبات استهلاك الوقود $G_f = const$

والطريقة الأولى هي الأسهل والثانية أكثر دقة لأنه عند حركة السيارات في ظروف معينة تلزم استطاعة ثابتة وغير متعلقة بتركيب المزيج ، وعندها يجب أن يحقق خيار ما بالنسبة لفتح صمام التحكم (الذي يحدد امتلاء المحرك في نظام سرعة معين) مع تركيب معين للمزيج شرط الحصول على هذه الاستطاعة عند الاستهلاك النوعي الأدنى للوقود.

والطريقة الثالثة تستخدم عند اختبار المحرك البنزيني الذي يستعمل طريقة حقن الوقود (في مجرى السحب) والتحكم الالكترونى عندما لا تتعلق التغذية الدورية بتغير الضغط في مجرى السحب عندما تتغير وضعية صمام التحكم. على أنظمة الحمولة التامة تستخدم الطريقة الأولى فقط، وعلى أنظمة اللاحمل - الطريقة الثانية، وعند الحمولات المتوسطة يمكن استخدام الطرق الثلاثة. مجموعة المنحنيات العيارية (وفق تركيب المزيج) المستخرجة على نظم السرعة المختلفة وفي عدة حالات لصمام التحكم (صمام المزيج) أو عند عدة قيم للاستطاعة تستخدم:

— لحساب المؤشرات النهائية للقدرة (الاستطاعة) والمؤشرات البيئية والاقتصادية في الأنظمة المدروسة .

— لاختيار عيارات تجهيزات الوقود أو للتحقق من صحة الإجراءات العيارية.

-لتقدير جودة العملية الحرارية وفق القيم المطلقة للمؤشرات النهائية (العظمى) ووفق تركيب المزيج المطابق للاستطاعة العظمى، والاقتصادية الأعلى أو بالقيم الحدية للمؤشرات البيئية (تلوث غازات العادم).

تغير ∞ عند استخراج المنحنيات العيارية وفق تركيب المزيج يتم عادة عند تغيير مصروف الوقود. وفي المحركات الحديثة ذات الحقن، يتم ذلك عند تغيير فترة التحكم بنبضة بخاخ الوقود.

وفي المحركات ذات المفحم تتم العملية بتغيير مقطع جريان الفوهة الرئيسية للبنزين بمساعدة الإبرة المخروطية ، أو بتغيير الضغط في حجرة الوقود في المفحم .

ومن تحليل المنحنيات العيارية وفق تركيب المزيج المستخرجة عند الوضعية الثابتة لصمام المزيج (الطريقة الأولى) يظهر من الشكل - ١، أن الاستطاعة العظمى $N_{e \max}$ والاستهلاك النوعي الأدنى للوقود $g_{e \min}$ تحصل عند قيم مختلفة لتركيب المزيج وتسمى منحنيات الاستطاعة ∞_M والمنحنيات الاقتصادية ∞_{EK} .

عندما يكون η_v ثابتاً يتناسب P_i طرداً مع النسبة $\frac{\eta_i}{\infty}$ وعندئذ تتناسب $\frac{1}{\infty}$ طرداً مع كمية الحرارة المتولدة عن الوقود في الدورة الحرارية $Q_{T.C}$ منسوبة إلى واحدة الكتلة من شحنة الهواء G_H .

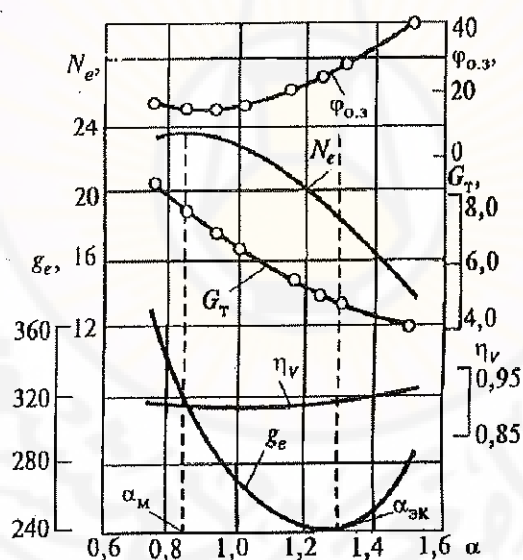
$$\text{وفي الواقع } Q_{T.C} = G_f \cdot H_u = \frac{G_{H.c} \cdot H_u}{\infty \cdot I_o}$$

لذلك النسبة $\frac{\eta_i}{\infty}$ تدل على جداء المردود η_i بكمية الحرارة المنبعثة أو كمية

الحرارة المتحولة إلى عمل بياني لذلك فإن تركيب المزيج $\infty_M = \infty$ الذي تكون فيه هذه النسبة أعظمية تنطبق مع القيم العظمى لمؤشرات الاستطاعة جميعها (P_i, P_e, N_e, T_K) .

تركيب المزيج $\alpha = \infty$ الذي يلبي هذا الشرط ، يتحدد بالاختيار الأمثل : كمية الحرارة المتوفرة في الوقود خلال الدورة منسوبة إلى واحدة شحنة الهواء (النسبة $\frac{1}{\infty}$) ، وفعالية الاستفادة منها في الدورة (η_i) .

القيم العظمى للعوامل البيانية للاستطاعة (L_i, N_i, P_i) لا تحصل عندما تكون $\alpha = 1$ بل عند الإغناء المحدود $\alpha_M = 0,85 - 0,95$ عندما تصبح النسبة $\frac{\eta_i}{\infty}$ أعظمية بغض النظر عن بعض الانخفاض لـ η_i الناجم عن عدم اتمام الاحتراق. وهذا ينشأ عن خصوصية العمليات الحرارية في المحرك التي بفضلها يحدث (عند إغناء المزيج إلى الحدود الحدية) أن زيادة انبعاث الحرارة من واحدة الشحنة يتفوق على انخفاض المردود البياني η_i .



شكل ١ -

وبسبب الخلط غير المثالي، فإن الاستخدام التام للهواء في الاسطوانة، والانبعاث الأعلى للحرارة نسبة لواحدة الكتلة من الهواء يحصل فقط عند الإغناء المحدود للمزيج.

وفي هذا الاتجاه يؤثر عدم التوازن في تركيب المزيج في بعض الاسطوانات. عند إغناء الخلائط حتى $\alpha_M = 0,85 - 0,85$ تحترق بسرعة أكبر من سرعة احتراق الخلائط المتوازنة مما يسبب انبعاث الحرارة بالقرب من ن. م. ع. وتحول شبه تام للحرارة إلى عمل.

عند إغناء المزيج يزداد المعامل النظري للتغير الجزئي للمزيج μ_0 . ويزيادة نواتج الاحتراق (بالكيلومول) بالمقارنة مع كمية المزيج (كيلومول) يزداد العمل البياني للدورة الحرارية.

وبإغناء المزيج ينخفض الهدر الحراري الناتج عن تفكك نواتج الاحتراق: الهدر الحراري الأكبر الناتج عن التفكك يميز المزيج المتوازن. ولهذا السبب عند زيادة سرعة احتراق الخلائط الغنية تبلغ الحرارة والضغط قيمتها العظمى عندما تكون $\alpha_M = 0,85 - 0,95$

وبذلك تتحدد قيمة α_M بالخيار الأمثل للعوامل المذكورة أعلاه من جهة ومعامل انخفاض عملية اكتمال الاحتراق من جهة أخرى.

عندما تكون $\alpha_M < \alpha$ يكون الغالب هو المعامل لآخر مما يؤدي إلى انخفاض $\frac{\eta_i}{\alpha}$

وتبعاً لذلك انخفاض مؤشرات القدرة البيانية للمحرك (N_i, P_i) شكل ١.

إضافة لذلك وطبقاً لذلك تنخفض قيمة η_M ونتيجة هذه الأسباب مجتمعة تنخفض المؤشرات الفعلية T_K, N_e, P_e .

وتتحدد قوانين تغيير المردود البياني نسبة لتركيب المزيج تبعاً لتأثير عملية اكتمال الاحتراق ، وسرعة الاحتراق والسعة الحرارية للغازات الناتجة .

في مجال الخلائط الغنية $\infty < 1$ فإن زيادة η_i بزيادة ∞ ترتبط أساساً بزيادة إتمام الاحتراق (انخفاض إصدار CO و H_2 في مركب التشغيل).

عندئذ يمكن الاستفادة التامة من الوقود المستخدم فقط عند وجود فائض محدود للهواء ($\infty > 1$) لأنه نظراً لعدم وجود توازن في توزيع الوقود بين حبرات الاحتراق يمكن إن تصادف مناطق موضعية تكون فيها $\infty < 1$.

وبهذا الاتجاه يؤثر عدم توازن توزيع المزيج بين الاسطوانات .

عند الإفقار المستمر للخليط $\infty > 1$ يستمر η_i بالزيادة رغم إن الاحتراق مستقراً . وهذا ناتج عن انخفاض السعة الحرارية لنواتج الاحتراق . وذلك بسبب انخفاض نسب الغازات ثلاثية الذرات في غاز العادم (H_2O ، CO_2)، وزيادة نسب الغازات ثنائية الذرات O_2 عند $\infty > 1$. وبسبب انخفاض درجة حرارة مركب التشغيل (الغازات العادمة) t_r .

والنسب العظمى للغازات ثلاثية الذرات في الغاز العادم ، والحرارة العظمى أيضاً تحصل في التركيب المتوازن (المتجانس) للخليطة .

المردود البياني يرتفع عند إفقار المزيج إلى مستوى معين $\eta_{i \max}$ وينطبق مع حالة مثالية من إتمام الاحتراق، ومن السعة الحرارية لغازات العادم من جهة وسرعة الاحتراق من جهة ثانية .

بإستمرار عملية الإفقار تنخفض شروط الاشتعال وسرعة الاحتراق، وينعكس ذلك بإنخفاض η_i وزيادة g_e ، ويؤثر انخفاض المردود الميكانيكي η_M أيضاً على قيمة g_e .

ولهذا السبب فإن قيمة ∞_{EK} المطابقة لـ g_{emin} أقل قليلاً من $\infty_{\eta i max}$. وعند الإفجار الشديد للمزيج يصبح عمل المحركات غير مستقر ، ويصل إلى مستوى تتوقف فيه عملية الاحتراق في بعض الاسطوانات وتتوقف الدورات حرارية . وبذلك فإن العيار الجيد لنظام التغذية في محرك الشرارة الكهربائية يتحدد أساساً بقيمة كل من ∞_{EK}, ∞_M .

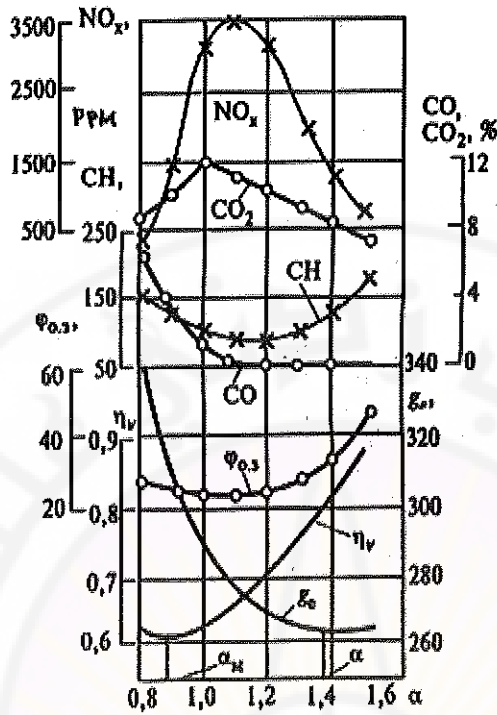
على أنظمة الحمولة العظمى من المفضل جعل تركيب المزيج أقل فقراً من مستوى ∞_M وبذلك تنخفض الاستطاعة بنسبة ١-٢% وهذا يرفع اقتصادية المحرك بنسبة تصل إلى ١٠% .

وعلى الأنظمة الجزئية يتم إغناء المزيج إلى مستوى أعلى من ∞_{EK} : وعند الانخفاض البسيط للاقتصادية يتأمن احتياط معين لحالة إفجار المزيج أو يحصل انخفاض حرارة الهواء وبعض الانحرافات التقنية وغيرها .

والانتقال من العيار الاقتصادي إلى عيار الاستطاعة في نظم تغذية محرك الشرارة يتم بمساعدة تجهيزات الإغناء وتشغيلها تبعاً لنظام عمل المحرك. عند استخراج المنحنيات العيارية وفق تركيب المزيج (عند ثبات الاستطاعة) وبالطريقة الثانية.

فإن قيمة ∞_{EK} كما في الحالة الأولى ($\varphi_D = const$) تتحدد بالقيمة الدنيا لـ g_e (أو G_f) شكل ٢- وقيمة ∞_M تتحدد بالقيمة الدنيا لـ G_H أو η_v . بانخفاض الحمولة الدوران، تنخفض قيم ∞_{EK}, ∞_M وعندها تدمج العيارات المطلوبة في مجال الخلائط الأكثر إغناءً.

انخفاض ∞_{EK} عند انخفاض الدوران، مرتبط بتراجع عملية المزج في مجرى الدخول واضطراب الشحنة في الاسطوانة ، وانخفاض ∞_{EK} عند انخفاض الحمولة شكل ٣- ناتج عن تراجع جودة ظروف الاشتعال والاحتراق الناجمة عن :



شكل ٢ -

- انخفاض الحرارة والضغط داخل الاسطوانة .
- انخفاض تركيز الوقود والأكسجين نتيجة زيادة تشتت الشحنة بالغازات المتبقية.
- انخفاض طاقة الشرارة المرتبطة بكثافة المزيج .
- انخفاض اضطراب الشحنة داخل الاسطوانة نتيجة انخفاض كتلتها وزيادة القيم المطلقة لـ g_e عند الانفتاح المحدود لصمام المزيج مرتبطة أساساً بالزيادة النسبية للضياع الداخلي، التي تسبب انخفاض المردود الميكانيكي η_M .

في المحركات البنزينية الحديثة تقع ∞_{EK} (في المجال الواسع للمحمولة) في المجال المحصور بين 1,1-1,2. وتنخفض باستمرار إغلاق صمام المزيج حتى $\infty_{EK} = 0,9 - 1,0$.

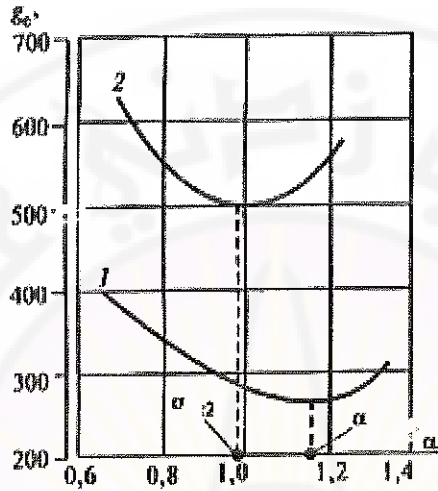
وفي المحركات ذات العمليات الحرارية المتطورة تصل ∞_{EK} إلى 1,35-1,4. وتقدر العوامل $(g_{emin}, \infty_{EK}, \infty_M)$ بالقيم المطلقة وبطبيعة تغير ∞_{EK} باستمرار عملية الخنق تبعاً لتطور وتحسن العمليات الحرارية في المحرك . على قاعدة المنحنيات الحرارية نسبة لتركيب المزيج يمكن الحصول على منحنيات العيار الأمثل شكل-4. وفي هذه الحالة فإن g_{emin} لكل حمولة تحسب وتنشأ بطريقة إجراء مماس على منحنيات الاستهلاك النوعي للوقود على المنحنيات العيارية. ونقاط التماس هي التي تحدد الخيار الأمثل لـ $\eta_v, \phi_{0,3}, \infty$ للمحمولة المعنية .

وقيمة ∞ التي تؤمن الاستهلاك النوعي الأدنى عند حمولة معينة تسمى "حد الإفقار الفعال" .

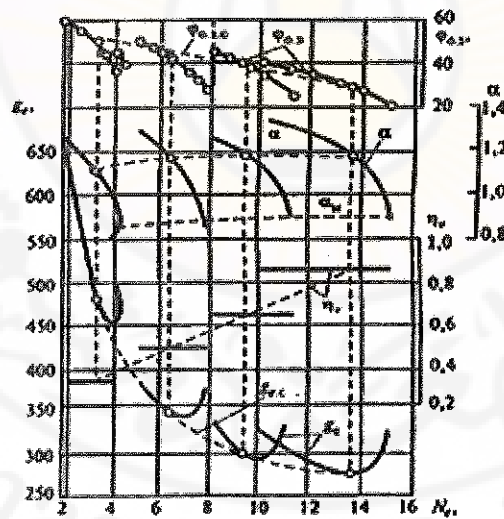
عند استخراج المنحنيات العيارية نسبة لتركيب المزيج بالطريقة الثالثة أي عند $G_r = const$ فإن العامل المثالي نسبة للمزيج الاقتصادي عند كل قيمة لـ G_r يمكن أن تكون الاستطاعة العظمى تبعاً لاستهلاك الهواء أو نسبة لتركيب المزيج شكل - 5 .

وللحصول على المنحنيات العيارية الأفضل يكفي في هذه الحالة وصل نقاط الاستطاعة العظمى N_e على كل جزء من هذه المنحنيات العيارية . وعندئذ إذا وضعنا بدلاً من استهلاك الوقود ، الفترة الزمنية لنبضة التحكم بالحقن τ (وهي تتناسب طردياً مع G_r) فإن قوانين التغذية الحاصلة $\tau = f(G_H)$ تكون مادة أولية لإنشاء الجداول الأساسية للتحكم بعملية حقن البنزين .

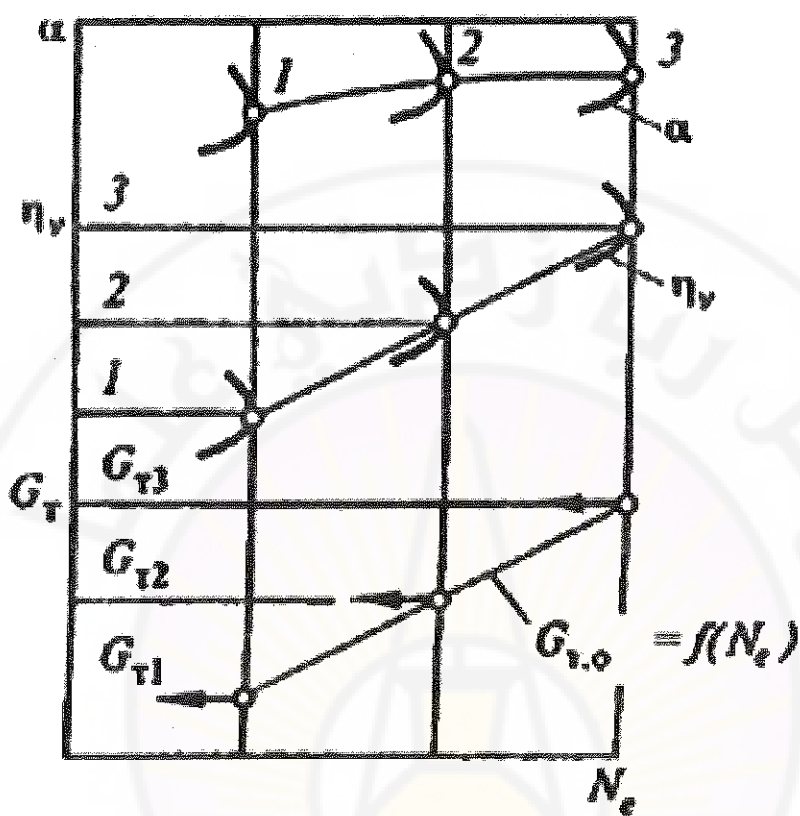
ويؤثر تركيب المزيج بشكل كبير على تلوث الغاز العادم وسموميته.
ويمكن أن تكون المعايير المعتمدة للغازات الملوثة ، عوامل محددة إضافية
عند اختيار عيارات نظام التغذية.



شكل - ٣



شكل - ٤



شكل - ٥

٢،٢ - المنحني العياري لزاوية تسبيق الاشتعال:

المنحني العياري لزاوية تسبيق الاشتعال هو العلاقة بين العوامل الأساسية للمحرك وزاوية تسبيق الإشعال $\varphi_{0.3}$. عند ثبات دوران عمود المرفق $n = \text{const}$ وثبات وضعية صمام المزيج (صمام التحكم) $\varphi_D = \text{const}$ ، ويتحدد ذلك بشروط استقرار معامل الجودة الحجمية $\eta_v = \text{const}$ ومعامل فائض الهواء $\alpha = \text{const}$. وتستخدم هذه المنحنيات (الخواص):

- لإيجاد القيم المثلى لزاوية تسبيق الإشعال على أنظمة السرعة والحمولة المختلفة لعمل المحرك، عند عيار محدد لنظام التغذية بالوقود.
- لتقدير مؤشرات الاستطاعة والمؤشرات الاقتصادية الحديثة للمحرك.
- لاختيار عيارات التحكم الآلي بزاوية تسبيق الإشعال.
- لتقدير جودة المتطلبات حول رقم الأكتان للوقود.

ونتيجة استقرار استهلاك الوقود، فإن العلاقات بين الاستطاعة N_e والاستهلاك النوعي للوقود g_e وبين الزاوية $\varphi_{0.3}$ لها طبيعة معاكسة شكل-٦ والاستطاعة العظمى والقيمة g_e الدنيا تحصلان عند قيمة واحدة للزاوية $\varphi_{0.3}$. وتسمى الزاوية المثلى $\varphi_{0.3.o}$ والاشتعال يسمى متأخراً إذا كانت $\varphi_{0.3} < \varphi_{0.3.o}$ ويسمى مبكراً إذا كانت $\varphi_{0.3} > \varphi_{0.3.o}$.

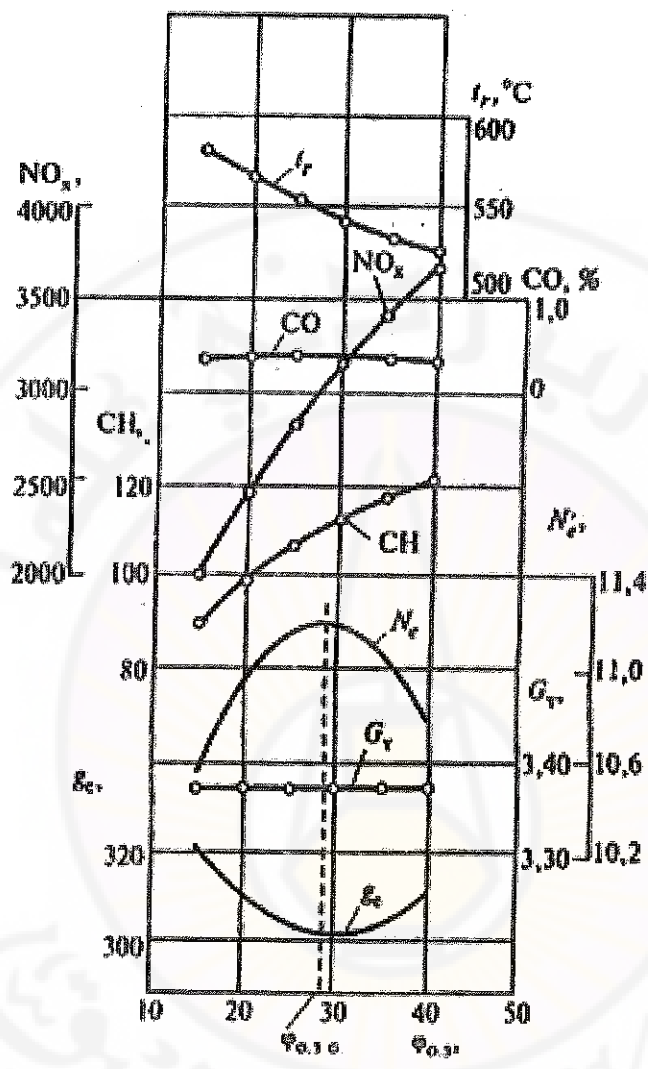
وضرورة تسبيق الاشتعال تملئها الفترة الزمنية المحدودة للاحتراق التي لاتسمح بإعطاء الحرارة في ن.م.ع بالدقة المطلوبة.

وعند إعطاء الحرارة في ن.م.ع تحصل نظرياً نسبة التمدد الأعلى لنواتج الاحتراق وتبعاً لذلك يحصل المردود الأعلى للدورة الحرارية.

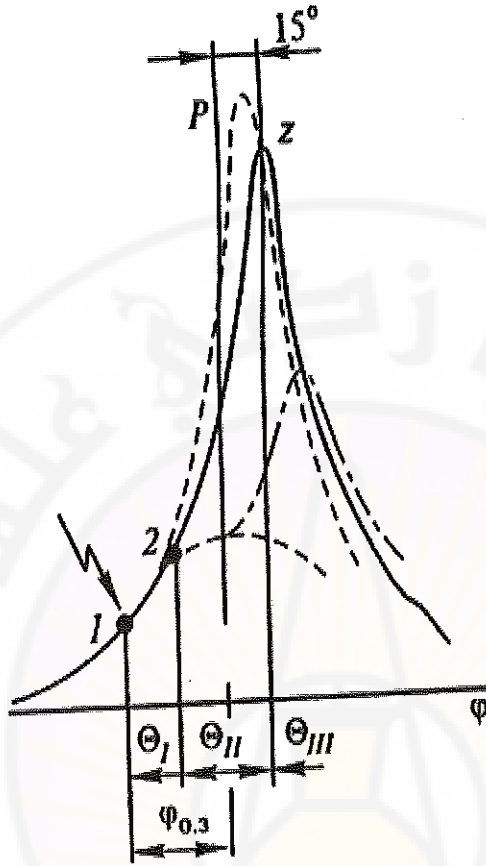
في الدورة الفعلية لإتمام عملية الاحتراق تلزم فترة زمنية محددة ينزاح خلالها المكبس لمسافة بسيطة. لذلك في الدورة الفعلية تبدأ عملية انبعاث الحرارة الفعلية دائماً قبل وصول المكبس إلى ن.م.ع (في نهاية شوط الانضغاط) وتنتهي بعد

تجاوز ن.م.ع (في شوط التمدد). وعندئذ الحرارة المنبعثة في شوط الانضغاط كما في شوط التمدد لا يمكن استخدامها بالفاعلية نفسها التي تستخدم بها الحرارة المنبعثة عند وجود المكبس في ن.م.ع . الضياعات الحرارية الناجمة عن السرعة المحدودة لانبعاث الحرارة ، وفي اللحظة غير المثالية لبداية انبعاثها تسمى "الضياعات الحرارية في غير زمانها".

ولتخفيض هذه الضياعات يفضل أن يكون انبعاث الحرارة كما يلي :
إن ينبعث القسم الأكبر منها بالقرب من ن.م.ع. وقد دلت التجربة أنه في محركات السيارات البنزينية الحديثة يتم الحصول على الاستطاعة العظمى في الحالة التي يكون فيها الضغط الأعظمي في الاسطوانة في المجال ١٥-٢٠ درجة بعد ن.م.ع . شكل-٧. وهذا ينطبق مع حالة الضياع الحراري في غير زمانه ، وتتعلق الزاوية $\phi_{0.3}$ المثلى بطول فترة الدور الأول والثاني من عملية الاحتراق ، وبنسبة الحرارة المنبعثة عند إتمام الاحتراق . عند الإشعال المبكر و بزيادة P_z ، T_z في الدورة الحرارية تزداد الضياعات الحرارية في جدران الاسطوانة ، والضياعات الناجمة عن تفكك نواتج الاحتراق والضياعات الناجمة عن تسرب مركب التشغيل أيضاً . وهذا يسبب انخفاض كمية الحرارة الفعالة المصروفة لتغيير الطاقة الداخلية ، وللحصول على العمل المفيد .



شكل ٦ -



شكل ٧ -

منحني التمدد في هذه الحالة يتوضع أسفل المنحني الذي يحصل عند الإشعال الأمثل شكل-٧. وهذا بسبب انخفاض حرارة الغازات العادمة . وبنتيجة ازدياد حرارة السطوح المحيطة بحجرة الاحتراق وحرارة بقايا المزيج التي لم تحترق عند الإشعال المبكر يزداد ميل المحرك لظاهرة الصفع .

عند الإشعال المتأخر تزداد حرارة مركب التشغيل (المزيج) في إنشاء عملية التمدد شكل ٦ - مما يسبب زيادة في هدر الحرارة في الغازات العادمة وزيادة الحماوة في بعض أجزاء المحرك .

لذلك في بعض المحركات الحديثة يستخدم الإشعال المتأخر لتسريع عملية تسخين موانع التلوث (محيّدات التلوث) بعد إقلاع المحرك .

ويتم تقدير جودة جريان العمليات الحرارية في المحرك من خلال القيم المطلقة للزاوية $\phi_{03.0}$ و g_{emin} وكلما كانت $\phi_{03.0}$ أصغر كلما كانت العمليات أفضل، وكلما كانت فترة الدور الأول للاحتراق أصغر .

وتؤثر زاوية تسببق الإشعال بشكل كبير على تلوث الغازات العادمة .

وزيادة نسب NO_x في الغازات عند زيادة الزاوية ϕ_{03} شكل ٦ - تسببها الزيادة في درجة الحرارة العظمى T_z . لذلك في المحركات الحديثة ذات التحكم الآلي الرقمي يتم تخفيض الزاوية ϕ_{03} لتخفيض انبعاث NO_x أو للتغلب على الصفع.

وانخفاض نسب CH في الغازات العادمة عند انخفاض ϕ_{03} مرتبط بعمليات احتراقها الحاصلة عن ارتفاع حرارة الغازات العادمة t_r . شكل ٦ -

قيمة الزاوية ϕ_{03} المثلى تتعلق بنظام عمل المحرك فزيادة n تزداد فترة الدور الأول للاحتراق محسوبة بالدرجات. وللمحافظة على الوضعية المثلى لبداية الطور الثاني للاحتراق نسبة لـ ن.م.ع. وللمحافظة على مدتها (بالدرجات) يجب زيادة زاوية تسببق الإشعال.

وهذه المهمة في هذه المحركات ذات التحكم الآلي الرقمي العاملة بنظام الإشعال من دون موزع ، تحصل بواسطة خوارزميات تبعاً للدوران . وفي المحركات ذات النظم العادية للإشعال - بواسطة التحكم الآلي الميكانيكي (بالقوة الطاردة المركزية) بزاوية الاشتعال .

عند انخفاض الحمولة في المحرك تضعف ظروف الإشعال الجيد بسبب انخفاض الضغط في الاسطوانة في نهاية شوط الانضغاط ، وارتفاع نسبة بقايا الغازات العادمة في المزيج، وانخفاض شدة الحرارة الكهربائية ، وانخفاض اضطراب الشحنة .

كل هذا يؤدي إلى زيادة فترة الطور الأول للاحتراق ، ويحتاج إلى زيادة الزاوية $\phi_{0.3}$ شكل ٨- . وهذه المهمة يتم الحصول عليها عبر خوارزميات نظام التحكم الرقمي بالزاوية $\phi_{0.3}$ تبعاً لمصروف الهواء ، الذي يحدد بشكل غير مباشر حمولة المحرك .

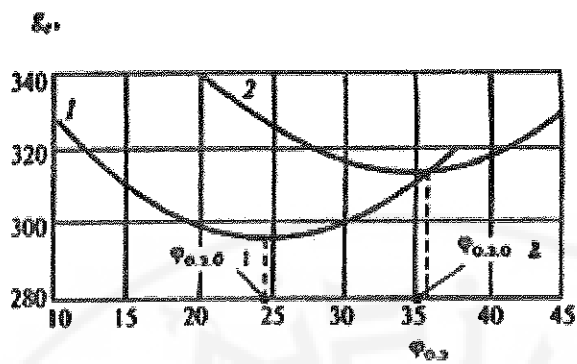
وفي المحرك العادي يقوم بهذه المهمة المنظم التخلخلي . وفي هذه الحالة يكون العامل الذي يتحكم بالزاوية $\phi_{0.3}$ هو التخلخل في مجرى السحب ΔP_k ، الذي يتناسب خطياً وعكسياً مع حمولة المحرك .

وتتعلق الزاوية $\phi_{0.3.0}$ المثلى بتركيب المزيج ، وبإفقار المزيج تزداد فترة الطور الأول للاحتراق ويضعف استقرار عملية الإشعال في الدورات الحرارية اللاحقة .

مما يسبب زيادة $\phi_{0.3.0}$ شكل ٩- . وبذلك ففي الحالة العامة تتحدد قيمة الزاوية $\phi_{0.3}$ بتغيير ظروف الاحتراق الناجمة عن انخفاض امتلاء الاسطوانة ، أو بسبب تغيير معامل فائض الهواء أيضاً .

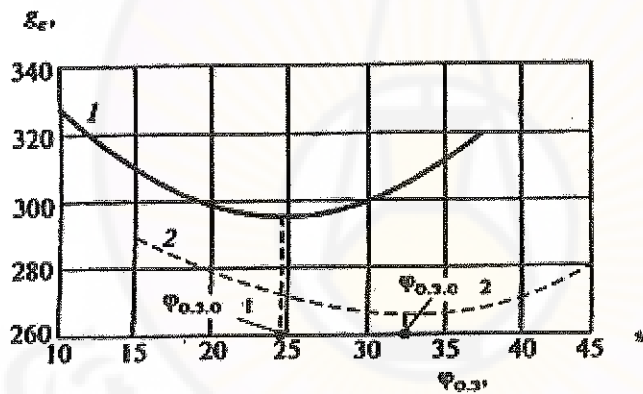
عند الحمولات البسيطة جداً وعند المزيج الفقير يصبح تأثير هذه العوامل المذكورة عالياً لدرجة أن زيادة $\phi_{0.3}$ تسبب إضعاف ظروف الاشتعال (بسبب الضغط المنخفض في الاسطوانة في لحظة الإشعال) .

لذلك في بعض الحالات، وعند الحمولات المنخفضة تتوقف زيادة $\phi_{0.3.0}$ بل يمكن أن تنخفض.



$\eta_{0.3.0}$ ($V_k=6,0$ A, n
 1 — $\eta_V=0,78, \alpha=0,90$; 2 — $\eta_V=0,50, \alpha=1,05$

شكل ٨ -



$\eta_{0.3.0}$ ($\phi_{D3}=100\%, \eta_0=0,80$):
 1 — $\alpha=0,85$; 2 — $\alpha=1,05$ ($V_k=6,0$ A, $n=2300$)

شكل ٩ -

٣,٢. المنحني العياري لزواوية تسبيق الحقن:

الخواص العيارية للديزل نسبة لزواوية تسبيق الحقن هي العلاقة بين المؤشرات الأساسية للديزل ، وزاوية تسبيق الحقن فيه، $\varphi_{0,\ell}$ عند ثبات الدوران وثبات كمية التغذية بالوقود .

هذه الشروط تعني ثبات η_v, ∞ .

تستخدم هذه الخاصية (المنحني) لإيجاد القيم المثلى لزواوية الحقن على مختلف نظم السرعة ونظم الحموله للديزل .

هذه الخاصية مماثلة لخاصية محرك الشرارة نسبة لزواوية تسبيق الإشعال .

ونتيجة ثبات استهلاك الوقود فإن علاقة P_e و g_e بـ $\varphi_{0,B}$ لها طبيعة عكسية شكل - ١، اذ يبلغ الضغط قيمته العظمى و g_e قيمتها الصغرى عند القيم ذاتها للزواوية $\varphi_{0,B}$ والتي تسمى مثلى.

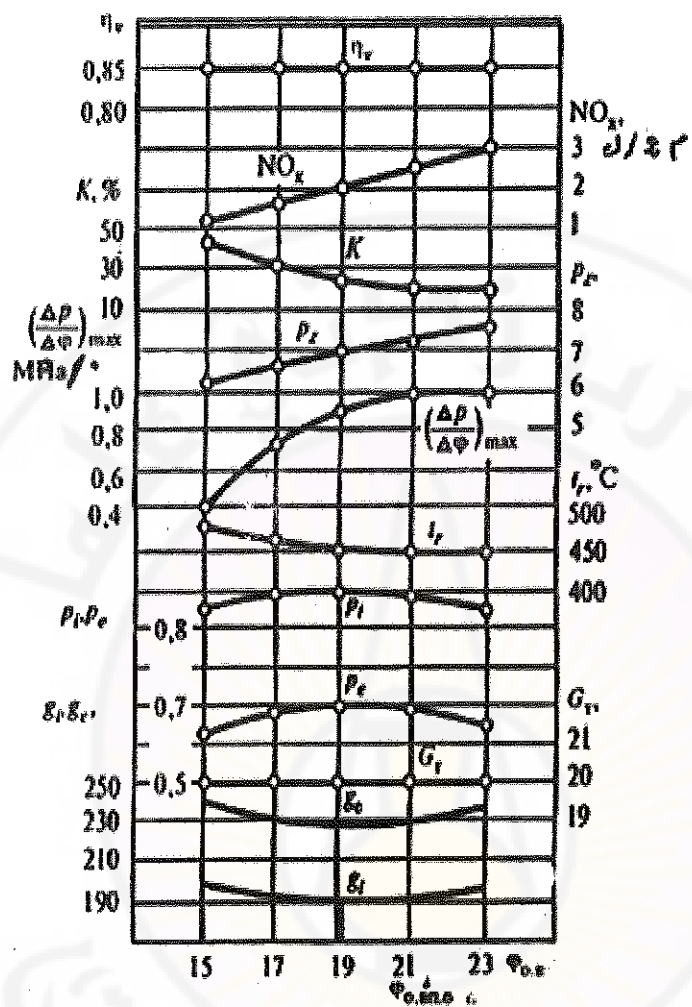
والحقن يسمى متأخراً إذا كانت $\varphi_{0,B} < \varphi_{0,B,0}$ ومبكراً إذا كانت $\varphi_{0,B} > \varphi_{0,B,0}$.

عند بداية الحقن المبكرة تزداد فترة تأخير الإشعال ، وكمية الحرارة المنبعثة في طور الاحتراق السريع ، ولذلك يزداد $P_z, (\frac{\Delta P}{\Delta \varphi})_{\max}$.

زيادة زاوية تسبيق الحقن تؤدي إلى زيادة نسب NO_x في الغازات العادمة ، وانخفاض نسب هباب الفحم في الوقت نفسه .

وتثبت في محركات الديزل عادة قيمة $\varphi_{0,B}$ التي تقل قليلاً عن الزاوية المثلى $\varphi_{0,B,0}$.

وعند الزاوية القليلة لـ g_e تنخفض الحمولات الحرارية والميكانيكية وتنخفض نسب أكاسيد الآزوت NO_x .



شكل ١٠ -

٣. خواص الحمولة (منحنيات الحمولة).

منحنيات الحمولة هي علاقة المؤشرات الأساسية للمحرك بإحدى العوامل المميزة للحمولة (N_e, T_K, P_e). وتحدد الخواص عند ثبات الدوران .
عند استخراج (إنشاء) خواص الحمولة ، يتم تغيير وضعية جهاز التحكم بالمحرك (صمام المزيج في محرك الشرارة وذراع قيادة المنظم في الديزل) من الوضعية التامة إلى الوضعية المطابقة لنظام اللاحمل عند دوران محدد .
عندئذ للمحافظة على نظام سرعة مستقر ، يتم تغيير حمولة المحرك بمساعدة منصة الكبج. وتؤمن منصة الكبج الحديثة الاستقرار الآلي لنظام السرعة عند تغيير استطاعة المحرك أو تؤمن إمكانية التصحيح اليدوي الخفيف بواسطة أجهزة التحكم بالحمولة .

العمل على نظم منحنيات الحمولة يميز المحركات، التي يحافظ فيها على ثبات استطاعة المستهلك عند نظام سرعة مستقر، وعندما تتغير الحمولة الخارجية (محركات تشغيل المولدات، المضخات، الضواغط، الجرارات وغيرها) وأيضاً عندما تتحرك السيارة مثلاً بسرعة ثابتة على نسبة تحويل معينة من علبة السرعة في الظروف المتغيرة لمقاومة الطريق .

المؤشرات الأساسية على منحنيات السرعة هي G_f و g_e . وتبعاً للهدف من الاختبار يمكن استخدام مؤشرات أخرى : تراكيز المواد الملوثة السامة، المؤشرات الدخانية للديزل، مؤشرات امتلاء الاسطوانة ($\Delta P_k, G_H, \eta_v$)، معامل فائض الهواء ، زاوية تسبيق الإشعال أو زاوية تسبيق الحقن ، درجة حرارة الغازات العادمة، وغيرها .

عند استخراج منحنيات الحمولة يجهز المحرك بنظم تغذية وإشعال منفصلة .
النقطة الطرفية اليمنى N_{emax} تنطبق مع الحمولة العظمى ، التي يستطيع المحرك التغلب عليها عند دوران معين (محرك الشرارة الكهربائية) أو

تساوي قيمتها عند الوضعية النهائية لجهاز التحكم (الديزل) والنقطة الطرفية اليسرى تنطبق مع نظام اللاحمل $N_e=0$.

تنشأ منحنيات الحمل استناداً على نتائج الاختبارات العيارية . في هذه الحالة لكل قيمة للاستطاعة يتم اختيار عوامل تحكم معينة تؤمن للمحرك القيمة الصغرى لـ g_e .

في محرك الشرارة الكهربائية ، عوامل التحكم الأساسية هي $\eta_v, \infty, \varphi_{0.3}$ وفي محركات الديزل ، $\varphi_{0.8}, \infty$ ضغط الشحن وغيرها .

المنحنيات السابقة تسمى منحنيات التحكم المثلى . وتستخدم في البحوث ولتطوير المحرك . ولتقدير جودة العمليات الحرارية فيه ، وهي أساسية لاختيار عيارات نظم المحرك المختلفة .

ونظراً لاعتماد معايير قاسية تجاه مؤشرات التلوث في غازات العادم ، فإن هذا يقود إلى ضرورة أخذها بعين الاعتبار عند اختيار التحكم المثالي .

وعملية الحصول على منحنيات حمولة مثالية عند احتساب الشروط والحدود المختلفة هي أكثر تعقيداً بسبب زيادة عوامل التحكم المختلفة (إضافة نسبة تدوير الغازات العادمة مثلاً) وزيادة العوامل المثلى : (زيادة اعداد الغازات السامة مثلاً) على عامل الاستهلاك النوعي للوقود .

وبمقارنة منحنيات الحمولة الفعلية مع المنحنيات المثالية يمكن تقدير مدى صحة اختيار العيارات المختلفة لنظم التغذية والإشعال في المحرك .

إضافة لذلك تسمح منحنيات الحمولة بمايلي :

— وفق المنحنيات المستخرجة عند الدوران المختلف ، يمكن تقدير المؤشرات الاقتصادية والبيئية للمحرك في كل مجالات العمل ومقارنتها مع مؤشرات أخرى لمحركات أخرى .

— اختيار نظم العمل الأفضل اقتصادياً وبيئياً ، والتي تتحقق عند الاختيار الصحيح للمحرك الذي يركب على السيارات .

— حساب المؤشرات الاقتصادية والبيئية للسيارات عند حركتها في ظروف طرقية مختلفة .

يتم التركيز في منحنيات الحمولة على النقاط المميزة التالية :

— الاستهلاك النوعي الأدنى للوقود $g_{e \min}$ ، وقيم الحمولة (p_e , T_K , N_e) وقيم $\varphi_{0.3}, \infty$ المطابقة له .

— الاستهلاك الساعي من الوقود $G_{f, \max}, \varphi_{0.3}, \infty$ على نظام $N_{\max}$.

— الاستهلاك الساعي من الوقود $G_{f, \text{xx}}, \varphi_{0.3}, \infty$ على نظام اللاحمل .

٣-١- خاصية الحمولة للمحرك العامل بالشرارة الكهربائية:

في المحركات البنزينية تتغير الاستطاعة أساساً بتغير كمية المزيج (تغير وضعية صمام المزيج) الواردة إلى الاسطوانات .

تركيب المزيج على أنظمة منحنى الحمولة يجب أن يبقى اقتصادياً $\infty = \infty_{EK}$ لكل قيم الاستطاعة N_e ماعدا نظام الحمولة القصوى ، عندما تكون إمكانية التحكم الكمي معدومة . في هذه الحالة يمكن بلوغ نظام $N_e = N_{\max}$ فقط عند إغناء المزيج إلى مستوى التركيب المطابق للاستطاعة العظمى .

في المحركات الحديثة ذات الحقن المباشر للبنزين ، تدخل خوارزمية الإغناء في ذاكرة وحدة التحكم الإلكتروني :

والإغناء يحصل تبعاً لكمية الهواء (أو تبعاً لمستوى التخلخل في مجرى السحب) مع احتساب وضعية صمام المزيج (صمام التحكم) ونظام السرعة للمحرك .

والإغناء الضروري للمزيج في المحركات ذات المفحم يحصل بمساعدة عنصر التوفير (المقتصد)، أو بوصل حجرة ثانية في المفحم (في المفحومات ثنائية الحجرات المتسلسلة) .

التغيير المشترك لعملية امتلاء الاسطوانات ، وعملية تأمين النظم الخاصة وفق القيم الحقيقية لكل من $\varphi_{0.3}, \infty$ يسبب تأثيراً معقداً على العملية الحرارية وعلى مؤشرات المحرك شكل - ١١ .

طبيعة تغيير المؤشرات الأساسية للمحرك تتحدد نتيجة التأثير المشترك لتغيرات η_M, η_i شكل - ١٢ . وتحدد قيمة η_i في منحنى الحمولة من خلال تركيب المزيج، η_v ومقدار الزاوية $\varphi_{0.3}$.

وقيمة η_M تتعلق عملياً فقط بحمولة المحرك . وتتغير من الصفر على نظام اللاحمل إلى القيمة القصوى على نظام $N_{e\max}$.

عندما يفتح صمام المزيج بالكامل وبسبب عدم إتمام الاحتراق كيميائياً $\alpha < 1$ ينخفض η_i ويزداد g_e ، بغض النظر عن القيمة العظمى لـ η_M شكل - ١٢ . بإغلاق صمام المزيج يتحول عمل نظام التغذية لتأمين تركيب المزيج القريب من الاقتصادي $\alpha = 1.1 - 1.2$ مما يرفع η_i ، والاستهلاك النوعي الفعلي الأدنى للوقود يتحدد من خلال القيمة العظمى للجداء $\eta_e = \eta_i \eta_M$ وينطبق مع الاستطاعة $N_e = (0.8 - 0.9) N_{e\max}$ شكل - ١١ و ١٢ لكن إغلاق صمام المزيج ولعدة أسباب يقود إلى إضعاف ظروف الإشعال والاحتراق.

ونتيجة ذلك يجب تخفيض α قليلاً وخاصة على نظم الحمولات البسيطة ونظام اللاحمل .

حيث يلزم للحصول على اقتصادية جيدة ، إغناء المزيج حتى $\alpha = 0.9 - 0.95$ شكل - ١١ .

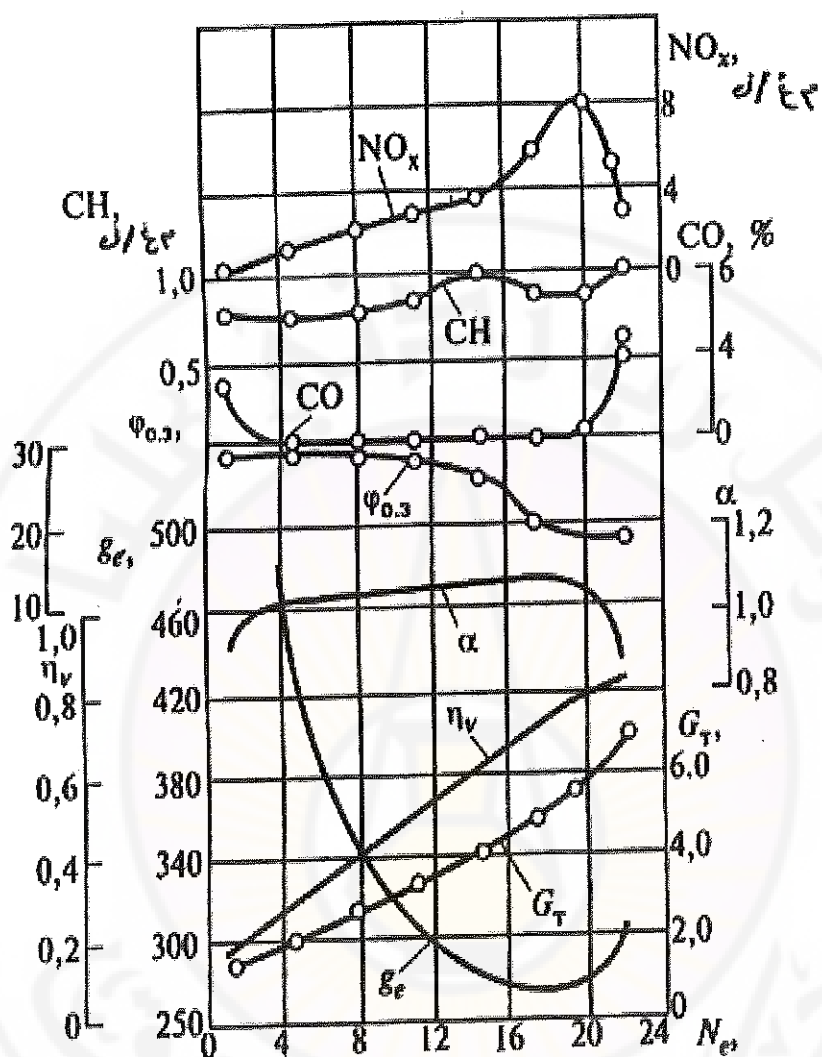
ولهذا السبب يجب زيادة زاوية تسبيق الحقن ، لموازنة الزيادة في زمن
الطور الأول للاحتراق .

إضعاف ظروف الاحتراق ، وإغناء المزيج عند الاستمرار بإغلاق صمام
المزيج يقودان إلى انخفاض η_i قليلاً شكل ١٢-، مما يرفع قيمة g_e . لكن
التأثير القوي على العلاقة ($g_e = f(N_e)$) يأتي من جانب تغير المردود η_M .
استطاعة الضياعات الميكانيكية تتغير قليلاً بانخفاض N_e . لكن نتيجة انخفاض
الاستطاعة البيانية ينخفض η_M بسرعة ويبلغ حد الصفر على نظام اللاحمل شكل
١٢- . وهذا يقود إلى الزيادة الكبيرة في g_e بانخفاض الحمولة لأن قسماً كبيراً
من الحرارة يتحول للتغلب على الضياعات الميكانيكية (الداخلية) وليس إلى
عمل مفيد ، وهذا يدل على عدم جدوى استخدام المحرك على الأنظمة ذات
الحمولة المنخفضة .

في المجال الواسع للحمولات التي يتغير خلالها η_i ، ∞ في مجالات ضيقة
نسبياً ، فإن G_H و η_v والضغط في مجرى السحب p_k وأيضاً G_f مرتبطة
عملياً بشكل خطي بالاستطاعة N_e .

وفي المنطقة القريبة من الحمولة العظمى فقط عندما يبدأ عملياً التحكم
النوعي ، فإن الطبيعة الخطية لزيادة هذه العوامل بزيادة N_e تختل : درجة
ارتفاع G_f تزداد ، وشدة ازدياد G_H ، η_v على العكس تتباطأ .

أما طبيعة تغيير حرارة الغازات العادمة t_r تحددها كمية المزيج المحترق
وتركيبه. وبزيادة الحمولة تزداد كتلة الشحنة نسبة إلى واحدة المساحة من
سطوح الاسطوانة مما يؤدي إلى زيادة t_r . وعند الحمولات الكبيرة (في مجال
عمل تجهيزات المقتصد) . فإن العامل الحاسم هو إغناء المزيج الذي يؤدي إلى
انخفاض t_r .



شكل ١١ -

أما نسبة تراكيز الغازات السامة في الغازات العادمة على منحنيات الحمولة يحددها التأثير المشترك لكل من $\varphi_{0.3}, \eta_v, \infty$.

وتركيز Co يحدده تركيب المزيج : يزداد التركيز عند الحمولة العظمى ، وعند الحمولات المنخفضة شكل ١١- وبصورة مشابهة يتغير تركيز CH : على نظام الحمولة العظمى يكون تركيب المزيج هو العامل الحاسم وعلى الحمولات المنخفضة ونظام اللاحمل - تركيب المزيج والسرعة المنخفضة للاحتراق .

التراكيز العظمى لـ NO_x في الغازات العادمة . تتواجد على الأنظمة ذات الاقتصاد العالية التي تسبق الانتقال إلى المزيج الموافق للاستطاعة الأكبر . شكل ١١-.

عند الحمولة العظمى، تراكيز NO_x تنخفض بسبب عدم وجود فائض من الأوكسجين وعند الحمولات المنخفضة بسبب انخفاض الحرارة العظمى للدورة الحرارية نتيجة تشتت المزيج ببقايا الغازات العادمة وانخفاض سرعة الاحتراق.

٣ . ٢٠ . خاصية (منحني) الحمولة للديزل .

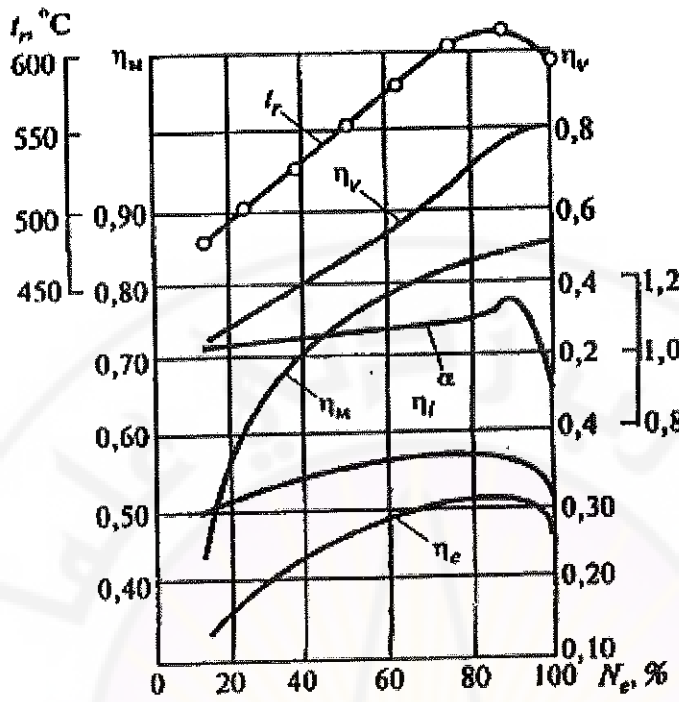
عند استخراج منحني الحمولة يتم تخفيض الحمولة بتخفيض كمية التغذية الدورية، أما الدوران فيبقى ثابتاً.

في الديزل غير المشحون شكل ١٣- زيادة ∞ عند انخفاض الحمولة ناتج عن انخفاض الاستهلاك الساعي للوقود G_F . وفي الوقت نفسه فإن استهلاك الهواء G_H يزداد قليلاً . ودرجة حرارة الغازات العادمة T_F تنخفض نظراً لانخفاض كمية الحرارة المنبعثة من الاحتراق .

وزيادة ∞ تسبب انخفاض الدخان في الغازات k ، وانخفاض g_i نتيجة ازدياد η_i .

لكن على الحمولات المنخفضة جداً يمكن أن تزداد g_i بسبب انخفاض جودة عمليات الحقن وتذير الوقود .

الاستهلاك النوعي الفعلي يبلغ حده الأدنى عند ٧٠ - ٨٠ % من الحمولة .



شكل ١٢ -

وعند الحمولة الكاملة تزداد g_e بسبب انخفاض $\eta_{p,\infty}$ وعند الحمولات المنخفضة تزداد بسبب انخفاض η_M .

والمردود الميكانيكي للدبزل يتغير على منحنى الحمولة كما في حالة المحرك البنزيني.

في الدبزل المشحون شكل b13. عند تخفيض الحمولة وبسبب هبوط حرارة الغازات أمام العنقة T_T تنخفض قيمة العمل المتوفر في الغازات ، مما يؤدي إلى انخفاض دوران العنقة والضاغط . وبالنسبة لتخفيض عوامل الهواء المشحون (G_H, T_k, ρ_k) وهذا بدوره يقود إلى انخفاض تدفق الغاز عبر دولاب العنقة ، والضغط المعاكس للغازات أمام الثوربين P_T وبالنسبة يظهر انخفاض إضافي لدوران كل من الثوربين والضاغط .

وتستمر العملية حتى يظهر نظام عمل جديد مشترك بين الديزل ونظام الشحنة ، وهو يستمر عادة عدة ثواني .

عند انخفاض الحمولة في الديزل المشحون تزداد $\propto$ بشكل انسيابي نظراً لانخفاض تدفق الهواء .

أما طبيعة تغير $\propto$ فتولد انخفاض أكثر انسيابية للحرارة T_T . ونتيجة انخفاض T_K ، ρ_k فإن η_v ينخفض .

وعند انخفاض الحمولة ينخفض مردود الشاحن . ويفسر ذلك بانحراف نظام عمله عن النظام المصمم والمحسوب عليه. وهذا يولد انخفاض لضغط الشاحن P_K أكبر من الضغط المعاكس أمام الثوربين P_T . وهذا يقود إلى زيادة إضافية لـ g_e عند الحمولات المنخفضة ، وذلك بسبب زيادة الهدر في العمل المبذول على عملية التبادل الغازي .

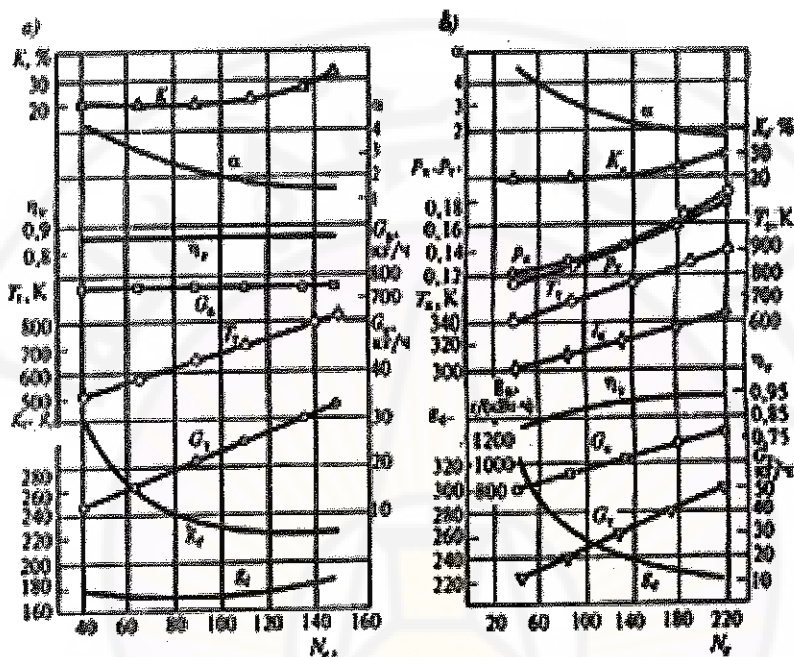
لذلك من المفضل استخدام عمليات التحكم والعيار لضغط الشحن على الحمولات الخفيفة .

وعند استعمال الشاحن الميكانيكي، عندما تنعدم كل طرق التحكم والعيار ، فإنه في حالة انخفاض الحمولة ستتغير قيم الضغط والحرارة P_K ، T_K في الهواء المشحون بشكل بسيط ، وتتبع هذه القيم مواصفات الشاحن نفسه . والضغط المعاكس على مخرج الاسطوانات P_T يكون قريباً من الضغط الجوي كما في الديزل غير المشحون .

عندئذ. عند الحمولات المنخفضة تزداد g_e بشكل أكبر من حالة استخدام الشاحن الثوربيني بسبب انخفاض المردود الميكانيكي للمحرك .

لأنه عند الحمولات المنخفضة تلزم نفس الاستطاعة المبذولة لتشغيل الشاحن كما في حالة الحمولة الكاملة . والاستطاعة الفعالة للمحرك تنخفض ولذلك على الحمولات المنخفضة يفضل فصل الشاحن الميكانيكي .

وبما أنه عند زيادة الحمولة تزداد كثافة الدخان ، والحمولة الحرارية لأجزاء المحرك فإن حدود تقوية الديزل نسبة للحمولة تتحدد من خلال إحدى القيمتين وهي التي تقترب بسرعة قبل غيرها إلى الحد الحرج.



شكل - ١٣

محركات الديزل المشحونة (بالمقارنة مع غير المشحونة) عند السرعات المتوسطة والعالية للدوران تكون فيها قيم α كبيرة، ولذلك يحدد مستوى التقوية فيها من خلال الحمولة الحرارية للأجزاء في الاسطوانة وفي دولاب عنفة الشاحن.

٤ . خواص السرعة (منحنيات السرعة):

خاصية السرعة هي العلاقة بين المؤشرات الرئيسية للمحرك وسرعة دوران عمود المرفق عند ثبات وضعية تجهيزات قيادة المحرك .
من بين خواص السرعة تتميز الخاصية الخارجية بأكبر قيمة عملية . هذه الخاصة تستخرج في المحركات البينزينية عندما يكون صمام المزيج (التحكم) مفتوحاً بالكامل .

وفي الديزل تستخرج في الوضعية النهائية لتجهيزات التغذية بالوقود ، في هذه الحالة تكون التغذية الدورية أعظمية على نظام السرعة الاسمي ونحصل على الاستطاعة الاسمية المقررة من قبل الشركة الصانعة .

في محركات الديزل ذات نظم التغذية التقليدية والفاعلية المباشرة والمنظم الميكانيكي عديد المراحل للدوران . تنطبق هذه الوضعية لجهاز التحكم مع الوضعية النهائية للنابض الرئيسي للمنظم والخواص (المنحنيات) المستخرجة خلال الوضعية المتوسطة لتجهيزات القيادة تسمى جزئية .

نظم عمل المنحني الخارجي تميز عمل محرك السيارة عند حركتها في ظروف المقاومة المتغيرة للطريق لكن عند ثبات الوضعية النهائية لتجهيزات التغذية في المحرك .

يتم تغير نظام السرعة في المحرك عند استخراج منحنيات السرعة بتغيير الحمولة الخارجية بمساعدة تجهيزات الكبح .

وإذا كان المحرك غير مزود بمنظم للسرعة أو إذا كان المنظم مفصول فإن منحني السرعة الخارجي يستخرج في المجال المحصور بين n_{min} , $1,1n_{Nom}$.
المنحني الخارجي هو الحد الأعلى لحقل نظم العمل الاستثمارية . على نظم العمل هذه يتعرض المحرك للحمولات الحرارية والميكانيكية العظمى . وتصدر عنه أكبر كمية من المواد السامة في غازات العادم.

منحنيات السرعة الخارجية هي أساس مواصفات وخواص المحركات التي تزود بها الشركة الصانعة. وعلى أساسها تحدد المؤشرات الفنية الأساسية للمحرك:

- على منحنى السرعة الاسمي تحدد الاستطاعة الاسمية للمحرك N_{Nom} ، العزم الاسمي الفعال $T_{k.Nom}$ ، والاستهلاك الفعلي للوقود $g_{e.Nom}$ وقيمة ∞ أيضاً
- العزم الأعظمي $T_{k.max}$ ، والدوران المطابق له n_T .
- الاستهلاك النوعي الفعلي الأدنى للوقود g_{emin} والدوران المطابق له n_{gemin} .
- عدد الدوران الأدنى المستقر n_{min} .

— معامل التكيف للمحرك $K_n = \frac{T_{k.max}}{T_{k.Nom}}$ وهو يميز بشكل غير مباشر استقرار

نظام عمل المحرك على المنحنى الخارجي للسرعة.

— معامل العزم الاحتياطي ويساوي النسبة التالية $K_T = \frac{T_{k.max} - T_{k.Nom}}{T_{k.Nom}}$

وهو يميز تكيف المحرك وقدرته للتغلب على المقاومة التي تزداد فجأة وبشكل مؤقت دون الانتقال إلى السرعة الأدنى للسيارة أو الجرار.

— معامل السرعة $K_n = \frac{n_T}{n_N}$ وهو يحدد مجال سرعات الدوران بين القيم

المطابقة لـ $N_{e.Nom}, T_{k.max}$.

تبعاً للتجهيزات التي يزود بها المحرك وفقاً للمعايير والمواصفات، تحسب الاستطاعة الخالصة والكاملة.

في الحالة الأولى يجب أن يكون المحرك مزوداً بالتجهيزات الأساسية (المروحة، المولد، مصفاة الهواء، كاتم الصوت) والتي تحددها المعايير. وعملية العيار يجب أن تتفق مع الشروط الفنية.

وتفصل فقط النظم المساعدة المستهلكة للاستطاعة، التي لا تخدم المحرك (ضاغط الهواء في نظام الكبج ، مضخة المقوي في نظام المقود وضاغط المكثف وغيرها) .

عند تحديد الاستطاعة الكاملة يمكن فصل أو فك بعض التجهيزات التي تخدم المحرك، واستخدام العيارات المثلثي لبعض النظم، لذلك فإن الاستطاعة الكلية أكبر من الخالصة .

ظروف الجو المحيط (الضغط ، الحرارة ، الرطوبة) تؤثر بشكل كبير على عمل المحرك ومؤشراته. ولمقارنة نتائج الاختبارات الحاصلة خلال الظروف الجوية المختلفة يتم تحويل مؤشرات المحرك (P_e , T_k , N_e) على المنحني الخارجي للسرعة إلى الظروف الطبيعية (المعيارية):

الضغط الجوي $B_o = 100 kpa$ (750 مم زئبق)، حرارة الجو $T_o = 298 k$.

ضغط الهواء الجاف $P_k = 99 kpa$ ، درجة حرارة الوقود (للديزل) $T_{o,f} = 298$ والقيم المتحولة $P_{e,o}$, $T_{k,o}$, $N_{e,o}$ تكون هي حاصل ضرب القيم الحاصلة خلال الاختبارات (P_e, T_k, N_e) بمعامل التصحيح المرتبط بحرارة الجو المحيط ، ورطوبة الهواء ونوع المحرك (بنزين ، ديزل).

١,٤ - خواص السرعات للمحرك البنزين (منحنيات السرعة):

الخاصية الخارجية تستخرج عند القيادة والتحكم المنفرد لنظم التغذية ، ونظم الإشعال. وفي مختلف نظم العمل على منحنيات السرعة يقترب تركيب المزيج من المزيج المطابق للاستطاعة الاسمية. شكل - ١٤ ، شكل - ١٥ .

ويتم التحكم المنفرد بالإشعال عند $\varphi_{0.3} \approx \varphi_{0.3,0}$ و على الدوران المنخفض والمتوسط عند $\varphi_{0.3}$ وهي تكون محدودة من خلال ظاهرة الصفع المتوقعة .

بزيادة n تتخفض الضياعات الحرارية عبر جدران الاسطوانات ، تتحسن عملية الخلط وتختصر فترة الطور الثاني من عملية الاحتراق (بالزمن) لكنها تبقى

ثابتة بالدرجات عملياً. وهذا يقود إلى زيادة η_i بزيادة عدد الدوران شكل-١٥ ثم بقاءه مستقراً لاحقاً، وهذا تسببه بعض الزيادة في عملية الاحتراق المتمم ، الذي يرفع من ضياع الحرارة عبر جدران الاسطوانة وعبر الغازات العادمة أساساً . وبصورة مشابهة تتغير النسبة $\frac{\eta_i}{\infty}$ وبذلك فإن جودة العمليات في محرك الشرارة لاتضع حداً لإمكانية تقويته بنظام السرعة .

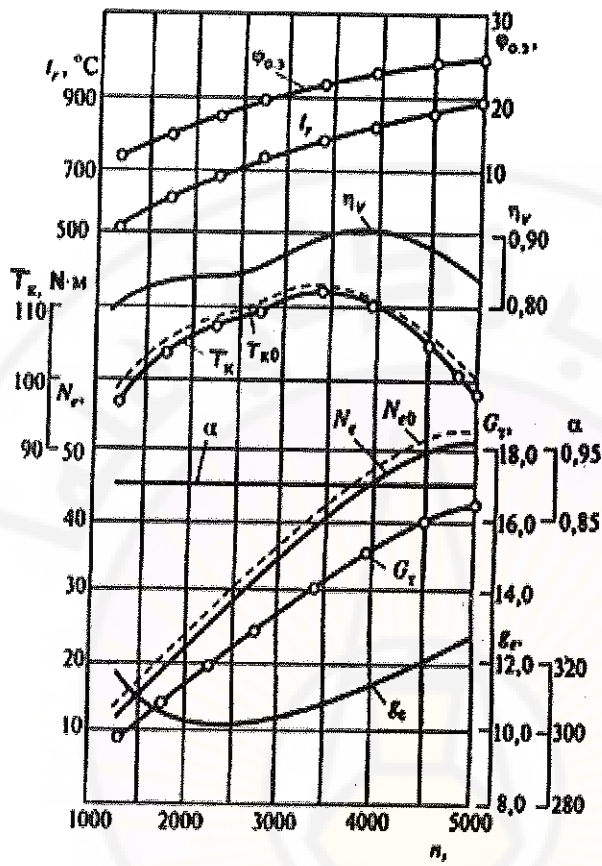
طبيعة تغير η_v تبعاً للدوران ليست موحدة للمحركات المختلفة رغم وجود بعض القوانين العامة .

في محركات السيارات الخفيفة ، تؤمن القيمة المرتفعة للمعامل η_v في مجال الدوران المرتفع استطاعة اسمية كبيرة وهذا في النهاية يقدم سرعة أعظمية عالية وديناميكية جيدة لتسارع السيارة .

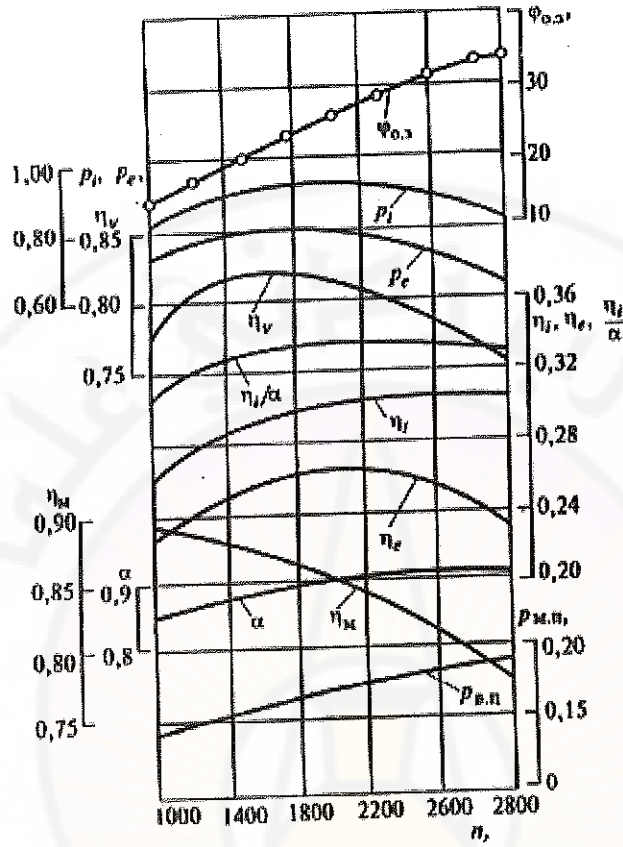
ولمحركات السيارات الشاحنة ، القيمة العظمى لـ η_v في مجال الدوران المنخفض والمتوسط شكل - ١٥ تؤمن مواصفات شد جيد للسيارة (معامل تكييف مرتفع) .

في المحركات ذات الأطوار المبرمجة للتوزيع الغازي و (أو) ذات مجرى الدخول المتغير هندسياً (الطول المتغير لمجرى السحب) . فإن العلاقة $\eta_v = f(n)$ لها شكل أكثر استقامة شكل - ١٢ .

والتأثير المشترك لـ η_i, ∞, η_v هو الذي يحدد طبيعة التغيرات الموافقة لـ $P_i(n)$: انخفاضه عند الدوران المنخفض مرتبط بانخفاض η_v, η_i وعند الدوران العالي - فهو مرتبط فقط بانخفاض η_v .



شكل ١٤ -



شكل ١٥ -

- انخفاض η_i عند انخفاض نظام السرعة مرتبط:
- بزيادة الانتقال الحراري النسبي إلى الجدران خلال الدورة نتيجة زيادة الزمن الذي تلامس الغازات منه الجدران المحيطة .
 - بإضعاف شروط المزج نتيجة انخفاض سرعة الهواء في مجرى السحب وانخفاض اضطراب الشحنة في الاسطوانة .

— زيادة تسرب مركب التشغيل عبر الإحكام على حساب زيادة فترة الدورة الحرارية .

— ببعض الإغناء في المزيج عند انخفاض نظام السرعة ، وهذا ليس دائماً .
انخفاض η_v عند انخفاض نظام السرعة ينتج عن عدم توافق أطوار التوزيع الغازي لهذا النظام وبالنتيجة تتخفض عملية السحب المتمم للاستطوانة ويمكن أن يحصل جريان أو خروج معاكس للمزيج .

انخفاض η_v بزيادة نظام السرعة (على الدوران المرتفع) مرتبط بزيادة الضياع الهيدروديناميكي في مجرى السحب .

الضغط الوسطي للضياعات الميكانيكية P_M يزداد بزيادة n وفق القانون القريب من الحظي، مما يقود إلى انخفاض المردود الميكانيكي η_M (بزيادة n) وذلك بالتأثير الإضافي لطبيعة تغير $P_i(n)$ شكل — ١٥ .

انخفاض P_e عند الدوران المنخفض تسببه نفس العوامل المؤثرة على انخفاض P_i (η_i, η_v) وعند $n > n_r$ يتسبب نتيجة انخفاض η_M, η_v .
في محركات الشرارة معامل السرعة يقع في مجال $K_n = 0,55 - 0,7$ ومعامل التكيف $K_n = 1,1 - 1,3$.

وزيادة N_e بزيادة n تستمر حتى تتغلب زيادة اعداد الدورات الحرارية المتناسبة مع n على انخفاض P_e .

وعندما يتوازن هذان العاملان تصبح استطاعة المحرك أعظمية $N_{e,max}$ وهي على العادة $n_{Ne,max} > n_{Nom}$.

عند $n > n_{Ne,max}$ يحصل انخفاض حاد للاستطاعة N_e بسبب الانخفاض الموافق لكل من η_v, η_M وعند $P_i = P_{M\pi}$ ينتقل المحرك إلى نظام اللاحمل وعندها يكون صمام المزيج مفتوحاً بالكامل . ويبلغ الدوران الأعظمي لنظام اللاحمل $n_{x,max}$ أو كما يسمى أحياناً دوران الطنين n_R وهو يزيد عادة بنسبة ٣٠

٥٠% عن الدوران الاسمي . عندئذ وبسبب خصوصية فاعلية نظم التغذية في محرك الشرارة فإنه لا يحصل تغير ملموس لتركيب المزيج ولجودة العمليات الحرارية.

في محركات السيارات الخفيفة فإن الانتقال اللحظي إلى هذا النظام لا يشكل خطورة تذكر .

في محركات السيارات الشاحنة التي تحتوي على كتل متحركة كبيرة للجملة الترددية وتبعاً لذلك على قوى عطالة كبيرة فإن الدوران الأعظمي يمكن أن يشكل خطورة نسبة لدرجة الوثوقية .

لذلك تزود هذه المحركات بتجهيزات تحدد سرعة الدوران وتقوم بتخفيض كمية مزيج الوقود بالهواء عند $n > n_{Nom}$.

على مخطط المنحني الخارجي للسرعة توضع قيم العزم والاستطاعة المحولة إلى الشروط النظامية العيارية شكل - ١٤. وهكذا أيضاً منحنيات الاستهلاك الساعي للوقود $G_f(n)$.

وإذا اعتبرنا تركيب المزيج ثابتاً على المنحني الخارجي للسرعة (قيمة ∞ تتغير في مجالات بسيطة 0,85-0,95) فيمكن بيان، أن قيمة G_f تناسب طردياً مع الجداء $\eta_i \cdot n$. والعلاقة $G_f(n)$ هي عبارة عن منحني محدب قليلاً .

تغيير الاستهلاك النوعي للوقود على منحنيات السرعة الخارجية يتحدد عبر الجداء $\eta_i \cdot \eta_M$ وزيادة g_e عند القيم المنخفضة للدوران مرتبطة بانخفاض η_i وعند القيم المرتفعة بانخفاض η_M . وعندما تكون $n = n_{x.max}$ فإن $g_e = \infty$.

درجة حرارة الغازات العادمة على منحنيات السرعة الخارجية تزداد بزيادة n بسبب انخفاض الانتقال الحراري إلى جدران الاسطوانة عند الاحتراق والتمدد نتيجة اختصار فترة الدورة الحرارية وزيادة حرارة بعض أجزاء المحرك ، وأيضاً بسبب زيادة طور الاحتراق المتمم .

وتتحدد تراكيز المواد السامة في الغازات العادمة على منحنيات السرعة بالتأثير المشترك لـ $\varphi_{0.3, \infty}$ وظروف المزج والاحتراق .

التركيب المطابق للاستطاعة العظمى على منحنيات السرعة يحقق تراكيز Co في الغاز العادم في مجال ٣-٤ % . (نسبة Co تتعلق فقط بـ ∞).

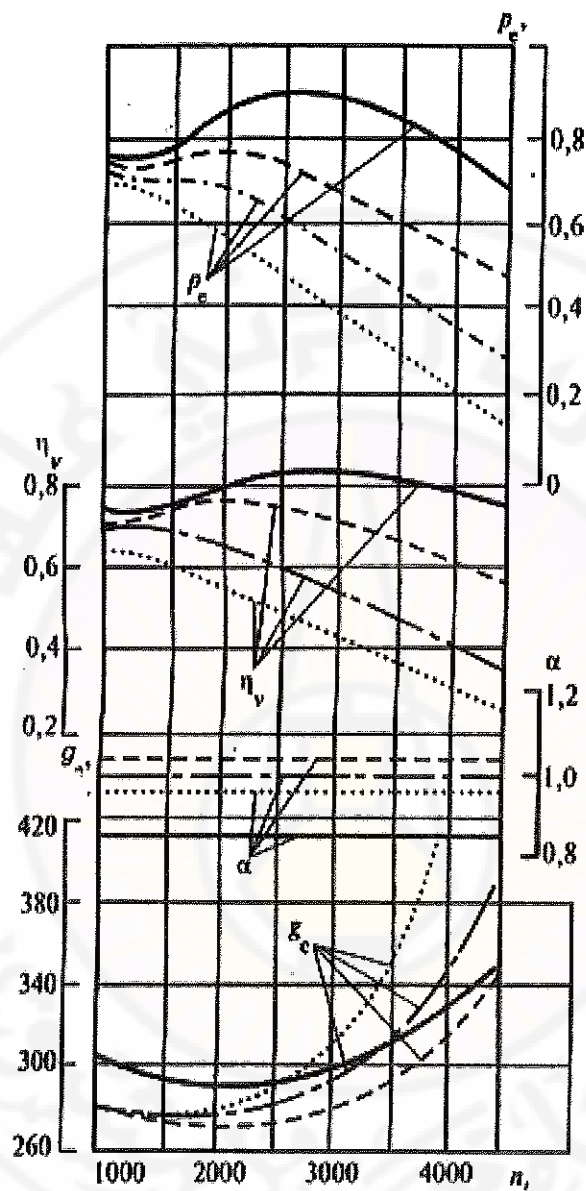
وتراكيز No_x لا تتغير كثيراً تبعاً لنظام السرعة وتتنوع فقط بـ $\varphi_{0.3, \infty}$.

والزيادة البسيطة لـ No_x عند زيادة عدد الدوران ناجمة عن زيادة $\varphi_{0.3, \infty}$ وظروف الاحتراق على منحنى التمدد .

انخفاض ∞ وانخفاض جودة المزج عند الدوران المنخفض يمكن أن يسبب زيادة بسيطة في تراكيز C_H في الغازات العادمة .

لكن بعيداً عن تراكيز الغازات السامة على منحنيات السرعة المختلفة فإن كمية هذه الإصدارات في واحدة الزمن ستزداد بزيادة n لان استهلاك الوقود والهواء يزدادان .

منحنيات السرعة الجزئية شكل-١٦ . تستخرج عند ثبات وضعية صمام المزيج الوسطية وإغلاق الصمام يؤدي إلى انخفاض أكثر حدة لـ η_v بزيادة n مما يؤدي إلى انخفاض P_e, η_M, P_i وكلما كان الإغلاق سريعاً كلما كانت العلاقات (المنحنيات) $P_e(n), T_K(n), N_e(n)$ محدبة أكثر . وعندئذ تتزاح القيم العظمى لها إلى مجال الدوران المنخفض . وعند الإغلاق المحدود لصمام المزيج يكون انخفاض η_v ليس كبيراً ، ويمكن تحسين اقتصادية المحرك (انخفاض $g_{e \min}$) في مجال الدوران المنخفض والمتوسط ، عند العمل على المنحني الجزئي للسرعة بالمقارنة مع العمل على المنحني الخارجي شكل -١٦ وهذا مرتبط بانتقال عمل نظام التغذية لتحضير الخلائط الفقيرة .



شكل ١٦ -

لكن عند الدوران المرتفع يكون العامل الحاسم هو انخفاض η_M الذي يقود إلى زيادة حادة في g_e .

وباستمرار إغلاق صمام المزيج تحصل زيادة في $g_{e\min}$ نتيجة انخفاض η_M . وعند الإغلاق الحاد جداً للصمام يدخل عامل آخر — انخفاض η_i .

٤. ٢. خاصية السرعة الخارجية لمحرك الديزل (المنحني الخارجي):

مجموعة العلاقات التي تربط عوامل الديزل بسرعة الدوران (الاستطاعة، العزم، الاستهلاك النوعي للوقود، معامل جودة السحب) هي نفسها كما في حالة المحرك البنزيني.

على الشكل ١٧ تظهر المنحنيات الخارجية للسرعة لمحركات الديزل الخالية من نظام الشحن أو ذات الشحن المنظم، والمجهزة بمنظم الدوران.

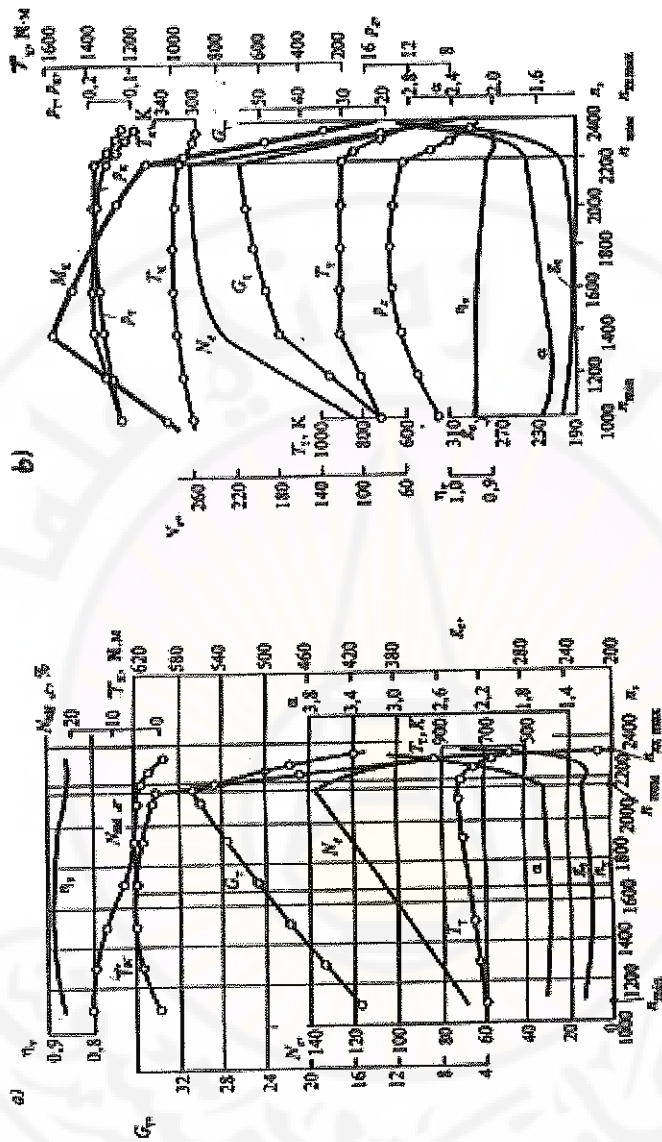
وخاصية السرعة الخارجية هي تغير المؤشرات في مجال السرعات من $n_{\min}$ إلى n_{Nom} أي من الدوران الفعّال الأدنى إلى الدوران الاسمي الذي تؤكد عليه الشركة الصانعة. وعلى الجزء المحصور بين n_{Nom} وسرعة الدوران العظمى لنظام اللاحمل $n_{x.\max}$.

علاقات المؤشرات بسرعة الدوران تسمى الجزء المعياري للمنحني الخارجي. وإذا أعيد رسمها تبعاً للاستطاعة المفيدة أو تبعاً للعزم نحصل على المنحني المعياري.

— منحنيات السرعة الجزئية للديزل هي المنحنيات الحاصلة عند عمل منظم عدد الدوران (الميكانيكي أو الإلكتروني) الذي يظهر عنده أن انخفاض الاستطاعة والعزم والمتغيرات الأخرى في طبيعة علاقة المؤشرات الأخرى تبعاً لسرعة الدوران تبدأ من $n_x < n_{Nom}$ حيث n_x الدوران الناتج عن عيار المنظم الذي يبدأ عنده انخفاض استهلاك الوقود تحت تأثير المنظم.

كل منحني من المنحنيات الجزئية للسرعة يتألف من منحني السرعة الخارجية (من $n_{\min}$ إلى n_x) ومنحني المنظم الذي يبدأ من n_x ينتهي في N_e ، والعزم $T_K=0$.

وعندئذ يكون الدوران نظام اللاحمل أكبر من n_x لكنه أقل من $n_{x,\max}$.
منحنيات السرعة الخارجية هي الأكثر أهمية . والتغيرات في وظيفة الحمولة الخارجية للمؤشرات في مجال الأجزاء العيارية من المنحنيات العيارية (أو على منحنيات المنظم) تفسر عملياً بنفس العوامل التي تتأثر بها تغيرات المؤشرات على منحنيات الحمولة. مع فارق وحيد هو أنه على منحنيات المنظم تؤثر على المؤشرات قليلاً تغيرات الدوران . وهذا التأثير كمي وليس نوعي .
على المنحني الخارجي تظهر المؤشرات الفعلية ومما سبق نجد أن الضغط الوسطي الفعلي، العزم، استطاعة المحرك والمردود الفعلي تحسب كحاصل جداء العوامل البيانية المطابقة بالمردود الميكانيكي.
تدل الاختبارات أن فائض الهواء عند تغير دوران الديزل لا يبقى مستقراً وهذا مرتبط بضرورة التأثير على طبيعة تغير عزم الدوران بسرعة الدوران .



شكل ١٧-

طرائق هذا التأثير أو تشكيل الخاصية الخارجية مختلفة في محركات الديزل المشحونة وغير المشحونة:

في الديزل غير المشحون لدينا:

$$T_k = \frac{1000}{\pi \cdot \tau} P_e \cdot V_{h,i} = \frac{1000}{\pi \cdot \tau} \frac{H_u}{\ell_o (1+d)} \propto \frac{\eta_i}{\eta_v \cdot \eta_M \cdot \rho_o}$$

يمكن التأثير بفاعلية على العلاقة $T_k = f(n)$ فقط بتغيير $\eta_v = f(n)$ و $\propto = f(n)$.

وفي الأول يمكن فقط بواسطة نظم التوزيع الغازي القابلة للتحكم . وفي حالة نظم التوزيع غير القابلة للتحكم يتم عيارها على نظام العزم الأعظمي (n_T) أو على الدوران الوسطي بين n_{Nom}, n_T . والتحكم بالعلاقة $\propto = f(n)$ يمكن في حالة النظم الخالية من التحكم الالكتروني وذلك بالتصحيح المباشر أو العكسي.

عند التحكم الالكتروني بالحقن يمكن تأمين أي نوع من أنواع التغيير في التغذية الدورية مع عدد الدوران عملياً ولحظة بداية الحقن وطبيعة الحقن لكن يجب أن نأخذ بعين الاعتبار أن العلاقة المختارة $\propto = f(n)$ تتشكل ليس انطلاقاً من هدف الحصول على العوامل المناسبة (K_T و K_n) بل أيضاً للحصول على بعض الحدود: نسبة لدرجة الاقتصادية ، إصدار الجزيئات الصلبة والغازات السامة ، وللمحولات الميكانيكية والحرارية .

زيادة معامل جودة السحب من n_{min} إلى النظام المعياري يفسر بانخفاض تسخين الشحنة عند السحب وتحسين ظروف السحب وزيادة الشحنة في مرحلة السحب المتمم وانخفاض اصدار نواتج الاحتراق في مجرى الدخول . عند زيادة الدوران عن الحد المعياري ينخفض معامل جودة السحب نتيجة التأثير الإضافي لزيادة الضغط في مجاري السحب والطرْد واضعاف ظروف

السحب. والزيادة البسيطة لـ η_v عند $n > n_{Nom}$ تفسر بانخفاض تسخين الشحنة عند مرورها على جزء من المنحني العياري .

معامل فائض الهواء في الديزل غير المشحون ينخفض قليلاً عادة عند انخفاض عدد الدوران عن n_{Nom} حتى n_M .
ويؤدي ذلك مع الزيادة التي تطرأ على معامل جودة السحب والمردود الميكانيكي إلى زيادة عزم المحرك . وبغض النظر عن هذا فإن المردود الفعال يكون أعظمياً ($\eta_e = 0,385$) .

والاستهلاك النوعي للوقود يكون أقل ما يمكن بالقرب من n_M ويفسر ذلك بأن تأثير زيادة المردود الميكانيكي عند انخفاض n من n_{Nom} إلى n_M . يتغلب على تأثير الانخفاض الحاصل للمردود البياني .

ويلاحظ أنه في حالة الديزل غير المشحون وبسبب العمليات المعيقة المذكورة فإن إمكانية زيادة K_M ليست كبيرة وخاصة في حالة نظم التوزيع الغازي غير الخاضعة للتحكم ، ولا يزيد احتياط العزم عن ١٠ - ١٢ % .

عند انخفاض الدوران إلى أقل من n_M فإن معامل فائض الهواء يزداد قليلاً وهذا بالإضافة لانخفاض المردود البياني ومعامل جودة السحب يسبب انخفاض العزم .
انخفاض المردود البياني عند انخفاض عدد الدوران في محركات الديزل الحديثة يحصل أساساً بسبب زيادة الضياعات النسبية في سائل التبريد .

وفي بعض الحالات وبسبب إضعاف عملية المزج ، وعند الزيادة الكبيرة لمعامل فائض الهواء عند $n < n_M$ يمكن أن لا ينخفض المردود البياني في هذا المجال لسرعة الدوران . لكن هذا لا يحدث إلا نادراً .

عتامة أو (شفافية) الغازات العادمة تزداد عند انخفاض الدوران عادة إذا استخدمنا نظام التغذية غير خاضع للتحكم . وتفسر عملية تباطؤ الزيادة في

عتامة الغازات $N\%$ في مجال $n < 1400$ شكل ١٧ـ بزيادة معامل فائض الهواء .

وبزيادة الدوران تزداد أعداد الدورات الحرارية في الثانية ، ولذلك يزداد الاستهلاك الساعي للوقود وتزداد استطاعة المحرك .

وتؤثر على العلاقة $G_f = f(n)$ ، طبيعة تغير كمية التغذية الدورية تبعاً للدوران .

وهي إضافة للعلاقة $\eta_v = f(n)$ تحدد طبيعة تغيير معامل فائض الهواء .

وعلى طبيعة $N_e = f(n)$ يؤثر شكل العلاقة $T_k = f(n)$.

وتزداد درجة حرارة الغازات في مجرى الخروج T_T في محرك الديزل غير المشحون عادة بزيادة الدوران لسببين :

— انخفاض ضياع الحرارة في سائل التبريد .

— الزيادة المقدرة بالدرجات لعملية الاحتراق ونتيجة لذلك تتأخر نهايته أكثر (نسبة للنقطة ن . م . ع) .

وتزداد الزاوية المثلى لبداية الحقن بزيادة الدوران للأسباب التالية:

— الإطالة في فترة تأخير الاشتعال و في الأطوار الأخرى للاحتراق .

— زيادة الزاوية المثلى لتسبيق الاشتعال .

ويفسر السبب الأخير بإطالة دور الاحتراق وانخفاض الضياعات الحرارية

في سائل التبريد مما يسمح ببداية الاحتراق بتسبيق نسبة ن . م . ع . وانتهائه

على منحنى التمدد بالقرب من ن . م . ع . ولأن هذا لا يسبب زيادة مذكورة في

الضياع الحراري الحاصل في سائل التبريد أو انخفاض مردود الدورة الحرارية .

هنا يجب الانتباه أنه يمكن تثبيت زاوية تسبيق الاشتعال غير المثالية اقتصادياً

وذلك بهدف تحقيق المعايير البيئية (إصدار الغازات السامة) .

الضغط الأعظمي للدورة الحرارية يزداد بزيادة الدوران ، ويفسر هذا بأن قسماً كبيراً من الوقود يحترق عند تناقص الحجم وعند أقل ضياع حراري في سائل التبريد .

وليس مستبعداً أيضاً تأثير زيادة السرعة الأعظمية لانبعاث الحرارة والتي تحصل عملياً في لحظة بلوغ الضغط الأعظمي للدورة الحرارية .

في الديزل المشحون يظهر أيضاً عامل فعال في تشكيل المنحني الخارجي وهو عامل الضغط في مجرى السحب .

وفي حالة الشحن الغازي يؤثر الضغط في مجرى الطرد بشكل ملحوظ أيضاً (من خلال η_M, η_v) .

على الشكل ١٧ـ b، يظهر المنحني الذي يساوي فيه معامل العزم الاحتياطي ٣٨ %، وبفضل ذلك (في المجال $1400 < n < 2200$) لا تنخفض استطاعة الديزل كثيراً عند انخفاض الدوران .

عيار الشحن عند $n > 1500$ يؤثر على طبيعة استهلاك الوقود الساعي ، ودرجة حرارة الهواء في مجرى السحب T_K ، وحرارة الغازات إمام الثوربين T_T والضغط الأعظمي في الاسطوانة والسرعة العظمى على المحيط الخارجي لدولاب الثوربين U_{Tmax} .

وفي هذه الحالة عند استخدام شاحن غازي الذي يتم التحكم بتصريف جزء من الغازات فيه خارج الثوربين (عند $n > 1500$) وبزيادة سرعة الدوران ، فإن مقطع التصريف في صمامات التصريف يزداد بشكل حاد في المجال المحصور ما بين $2200 < n < 2400$.

وبانتقاء مقطع التصريف الأدنى للعنفتين المستخدمتين في الديزل شكل حرف V
(الذي تكون فيه $\frac{S}{D} = \frac{130}{120}$ واستطاعته ٣٦٠ ك.وات عند $n = 2200$ د/د)

يتحقق عزم قريب من ١٦٠٠ ن × متر (١٤٠٠ د/د) .

عند تخفيض دوران الديزل فإنه بنتيجة انخفاض تدفق الغازات ودرجة حرارتها أما العنقة، تتخفض بشكل حاد سرعة الغازات على مدخل دولا ب العنقة، ويتغير اتجاه دخول تيار الغازات بشكل غير مناسب في العنقة ، مما يؤدي إلى انخفاض مردودها .

وبالنتيجة ينخفض ضغط الهواء المشحون وكثافته أمام صمامات السحب . وهذا يؤدي إلى انخفاض العزم .

وعلى عملية انخفاض العزم يؤثر أيضاً الانخفاض الكبير للمردود البياني والميكانيكي . ويحدث الأخير بغض النظر عن انخفاض الضغط الوسطي للضياعات الميكانيكية الناتج عن الانخفاض الهام للضغط البياني الوسطي .

والاستهلاك النوعي الأصغر للوقود يطابق المردود الفعلي الذي يساوي
٠٠،٤٣٨

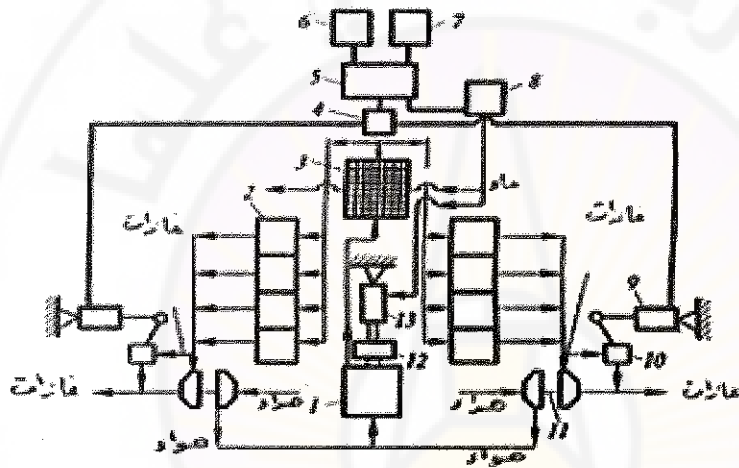
ويفسر تحسن اقتصادية الديزل المشحون بالمقارنة مع الديزل غير المشحون ، أساساً بالمردود الميكانيكي الأعلى الحاصل والمردود العالي للدورة الحرارية عند استخدام وسائل حديثة لتنظيم عمليات المزج والانبعاث الحراري .

وتفسر زيادة الاستهلاك النوعي للوقود عند $n > 1500$ بغض النظر عن زيادة المردود البياني، بانخفاض المردود الميكانيكي الناجم عن زيادة ضغط الضياع الميكانيكي وانخفاض الضغط البياني .

وباستخدام الشحن الغازي القابل للتحكم يمكن الحصول على عزم احتياطي أعلى ويمكن التخلص من القيم الفجائية العالية للسرعة الخطية المؤثرة على

محيط الثوربين، وزيادة الحمولات الميكانيكية والحرارية في مجال السرعات العالية لدوران الديزل .

ويظهر على الشكل - ١٨ مخطط الديزل مع شاحن خاضع للتحكم ويظهر فيه مجرى لتصريف الغاز خارج العنفة.



شكل - ١٨

٥ . خاصة المحرك عديدة العوامل (المنحنيات عديدة العوامل):

في المجال العلمي تتولد ضرورة لدراسة تغيرات عوامل ومؤشرات المحرك تبعاً لعاملين أو أكثر وليس تبعاً لعامل واحد كما مر معنا سابقاً في دراسة الخواص المختلفة للمحرك .

دراسة وتحليل علاقات المؤشرات الخارجية بعاملين مستقلين متغيرين يمكن إجراؤها باستخدام الخواص (المنحنيات) المتعددة العوامل .
والأكثر استخداماً في تحليل المحركات هو رسم المؤشر (في إحداثيات تغير عزم المحرك أو P_e تبعاً الدوران) بشكل منحنيات للقيم الثابتة للمؤشر المدروس مما يسمح بدراسة تغيراته في مجال نظم عمل المحرك (الحمولة، السرعة) الفعالة.

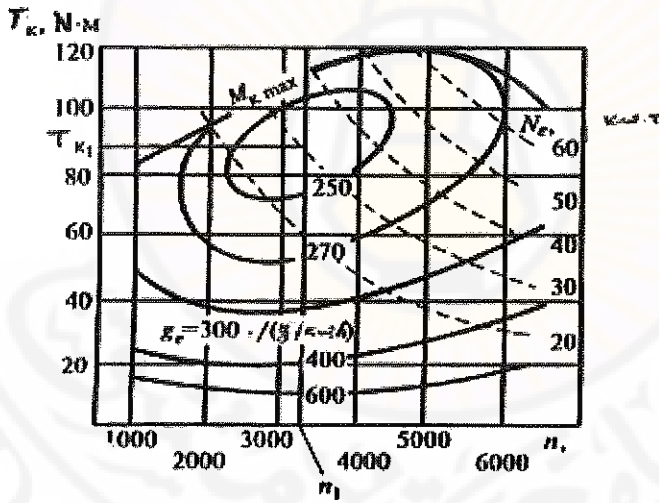
على الشكل ١٩- تظهر منحنيات عديدة المؤشرات للمحرك ، في الإحداثيات $T_K - n$ وهي تميز اقتصادية المحرك (استهلاك الوقود).
حقل هذه الخاصية بواسطة منحنيات القيم الثابتة لـ η_e, g_e يتحدد من الأعلى بواسطة منحنى العزم (المنحني الخارجي للسرعة)، ومن الأسفل بمحور السينات المطابق لنظم اللاحمل ومن اليمين واليسار - السرعة الأعظمية والدنيا للدوران. ولسهولة التحليل توضع على المخطط غالباً شبكة من المنحنيات المطابقة للقيم الثابتة للاستطاعة N_e .

ونلاحظ هنا أنه لرسم منحنيات القيم الثابتة للاستطاعة ليس هناك ضرورة للاعتماد إلى الاختبارات لأنه بين الاستطاعة والقيم T_K و n توجد علاقة موحدة.

تحليل هذه الخاصية يسمح بسرعة، تقدير ومعرفة نظم العمل الأكثر اقتصادية للمحرك، ومقارنة عدد من المحركات فيما بينها أو مقارنة نتائج حالات متنوعة لمحرك معين ، واختيار نظام العمل الأكثر اقتصادية حيث يمكن الحصول على

استطاعة معينة من خلال توافق قيم مختلفة لكل من n و T_K . لكن اقتصادية الوقود ، والمؤشرات البيئية والمؤشرات الأخرى للمحرك سوف تكون مختلفة . من الشكل ١٩- يظهر أن الاقتصادية المثلى لهذا المحرك (السيارة) عند الاستطاعة ٣٠ ك. وات مثلاً تحصل عند توافق معين وهو (M_{K1}, n_1) . ولذلك فإن هذه المنحنيات عديدة المؤشرات تسهل عملية اختيار نظام العمل الاقتصادي للمحركات الثابتة ، أو عند تحديد نسب التحويل في جملة نقل الحركة في السيارة .

إنشاء المنحنيات عديدة العوامل في الإحداثيات $T_K - n$ يحصل على أساس مجموعة من منحنيات الحمولة المحسوبة على نظم سرعة مختلفة ، أو منحنى سرعة خارجي ومجموعة من المنحنيات الجزئية للسرعة. الحاصلة من خلال الاختبارات .



شكل ١٩ -

وفي حال عدم كفاية عدد المنحنيات الأولية فإن النقاط الوسطية في منحنيات القيم الثابتة يمكن إيجادها بطريقة الرسم.

ويمكن إنشاء المنحنيات عديدة العوامل على أساس نتائج النمذجة الحسابية . وتستخدم المنحنيات عديدة العوامل ليس فقط عند تحليل اقتصادية صرف الوقود، والثلوث، والمردود الميكانيكي وعوامل المحرك الأخرى ، بل عند دراسة عوامل أخرى مثال مؤشرات عملية الاحتراق ، وانبعثات الحرارة ويمكن أن تنشأ في إحداثيات أخرى .

وبوجود نظم التحكم الالكترونية ، ترسم على المنحنيات عديدة العوامل منحنيات للقيم الثابتة لبعض العوامل: $\phi_{0.3}, \infty$ وغيرها. مما يسمح لاحقاً بوضع الجداول المطابقة لقيم العوامل الخاضعة للتحكم في المنظمات ذات التحكم المبرمج .

إنشاء المنحنيات عديدة العوامل يمكن أتمتته بواسطة الحاسوب . ولهذا السبب فإن هذه الاختبارات (مثال منحنيات الحمولة أو نتائج الاختبارات متعددة العوامل) تمثل بعلاقات رياضية، من خلالها يتم لاحقاً إيجاد إحداثيات النقاط ذات القيمة الثابتة للعامل المدروس .

توضع هذه النقاط على مخططات المنحنيات عديدة العوامل وتمثل لكل أجزاء المنحنيات بعلاقات تربيعية أو أكثر تعقيداً وتشكل منحنيات القيم الثابتة. عند الضرورة وعندما يتم تحليل التأثير المشترك لثلاثة أو أكثر من العوامل المستقلة على المؤشر المدروس يمكن الاعتماد على النمذجة الرياضية . ولإيجاد الحلول المثالية لا تستخدم طرائق الرسم بل الحسابات بواسطة الحاسوب.

٦ . منحنيات الصفع:

من المعلوم أن ميل محرك الشرارة الكهربائية لظهور الصفع فيه ، يتعلق بمجموعة من العوامل منها:

الخواص التصميمية للمحرك وبالدرجة الأولى نسبة الانضغاط ، شكل حجرة الاحتراق ، مادة رأس الاسطوانات (غطاء الاسطوانات) وأيضاً نظام عمل المحرك وحالته الحرارية ، ومواصفات الوقود ، والظروف الجوية المحيطة على مدخل المحرك ، ونظم التحكم والقيادة في المحرك وغيرها .

تأثير هذه العوامل معقد لدرجة كبيرة يصعب حيالها تحديد المواصفات الفعلية المضادة للصفع للمحرك أو للوقود بالطريقة الحسابية ، وبصورة أكبر لأن رقم الأكتان المعتمد لتقدير هذه المواصفات هو قيمة شرطية ونسبية .

لذلك فإن عملية تقدير المواصفات المضادة للصفع للمحرك أو الوقود تجري بطريقة تجريبية لتحديد خواص أو منحنيات الصفع .

منحني الصفع في المحرك:

هو العلاقة بين رقم اكتان الوقود المطلوب لعمل المحرك على حدود ظاهرة الصفع ، تبعاً للعامل المدروس في نظام العمل .

منحني الصفع في الوقود :

هو العلاقة بين رقم الأكتان الفعلي لوقود معين ومعامل تصميمي أو استثماري للمحرك (معامل نظام عمل ما). بمساعدة منحنيات الصفع يمكن حل مسائل عدة مهمة لتحسين المحركات والوقود وعلى الأخص:

- تقدير المتطلبات القصوى للمحرك من رقم أكتان الوقود المطلوب .
- تقدير الرقم الفعلي لاكتان الوقود في محرك معين .
- تقدير تأثيرات العوامل الاقتصادية والتشغيلية وغيرها على تغيرات المواصفات المقاومة للصفع لدى المحرك.

— اختيار عيارات نظام التحكم ، التي تحقق عمل المحرك على وقود معين من دون ظهور الصفع .

— اختيار الوقود المناسب لمحرك معين .

— دراسة تأثير تركيب الوقود ، على المواصفات المقاومة للصفع عند العمل في محرك معين.

ويمكن إجراء اختبارات الصفع على منصة المحرك وعلى السيارة أيضاً.

طريقة هذه الاختبارات معيارية وتجرى على مرحلتين :

— في المرحلة الأولى، تتم عند عمل المحرك على خلائط الوقود المعياري (خليطة ايزواكتان مع ن. الهيبتان) التي تختلف برقم الأكتان، وتؤخذ الخواص الأولية للصفع التي تحدد خلالها زاوية تسبيق الاشتعال المطابقة لظهور الصفع وذلك عند قيم مختلفة لعامل التشغيل المدروس .

على الشكل — ٢٠ a تظهر خواص (منحنيات) أولية للصفع مأخوذة على نظم منحنى السرعة الخارجي، عند العمل على الخلائط المعيارية ذات الأرقام المختلفة للأكتان (خطوط متواصلة).

على المنحني المنقطع (المنحني b) تظهر القيم المثلّى لزاوية التسبيق الحاصلة في المرحلة الأولى لعملية استخراج المنحنيات العيارية نسبة لزاوية التسبيق.

وعلى أساس تحليل هذه المعطيات يمكن إنشاء خاصية الصفع لدى المحرك (شكل — ٢٠ b المستقيم ١) ومنحني رقم الأكتان الفعلي للوقود التجاري في محرك معين (شكل — ٢٠ b المنحني ٢) وكما يظهر فإن المتطلبات القصوى لمحرك ما تجاه رقم الأكتان لدى الوقود يساوي ٩٥ .٧ واحداث، وتنخفض بزيادة عدد دوران عمود المرفق .

وتتغير عملية تقدير الأكتان الفعلي للوقود تبعاً لنظام العمل .

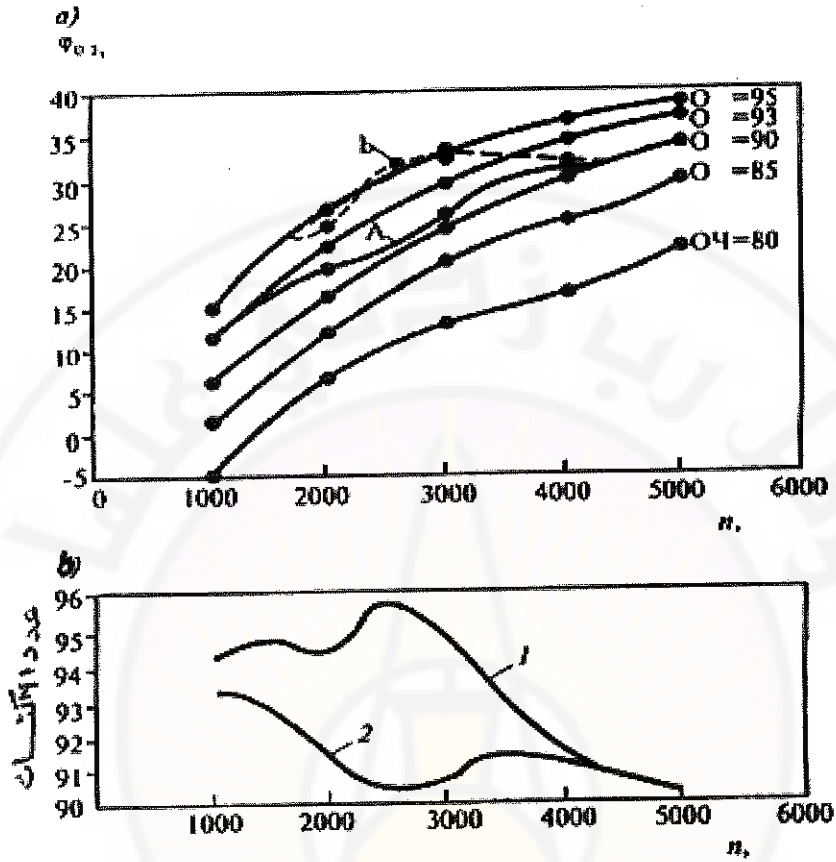
وتستخرج خواص الصفع غالباً بطريقة عملية، ليس على خلائط عيارية بل على عدة أنواع من الوقود التجاري مختلفة برقم الأكتان .

وهذه الاختبارات لا تسمح بتقدير المواصفات المضادة للصفع، للمحرك أو للوقود بشكل موضوعي، بل تعطي إمكانية اختيار وقود معين لعمل المحرك من دون صفع. واختيار زاوية تسبيق الاشتعال التي يجب وضعها عند عمل المحرك (على نظام منحنى السرعة الخارجي) عند استخدام وقود معين ما .

على الشكل -٢١ تظهر عملية اختيار عيارات زاوية التسبيق على نظم السرعة الخارجية. وعند استخدام البنزين التجاري الذي على أساسه صمم المحرك، وعند زوايا التسبيق المحددة على أساس ظهور الصفع (المنحني ٢)، وقيم الزاوية المثلى (نسبة الاستطاعة) عند العمل على وقود برقم أكتان أعلى يمنع ظهور الصفع عند هذه القيم للزاوية (المنحني ١).

يظهر أن البنزين التجاري الذي تم اختياره لا يستطيع أن يؤمن عمل المحرك (من دون الصفع) على أنظمة العمل الجزئية (على السرعات الخفيفة والمتوسطة) عند التسبيق المثالي للإشعال. ويمكن تخفيض المتطلبات من الأكتان لدى الوقود بطريقة تخفيض نسبة الانضغاط لكن هذا ليس مستحباً لأنه يؤثر على اقتصادية المحرك على جميع نظم العمل .

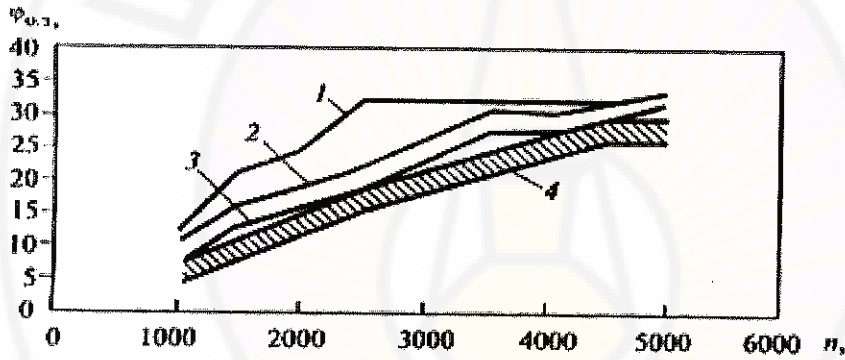
ومن الأفضل تخفيض زاوية التسبيق على أنظمة العمل التي يظهر فيها الصفع وفق المنحني ٢، وإهمال الانخفاض المتوقع للاستطاعة وهو في مجال ٣ - ٤ % بالمقارنة مع الحالة المثالية الأفضل.



شكل - ٢٠

عندئذ قيمة زاوية التسبيق الفعلية يفضل اختيارها باحتياط معين لا يزيد عن ٣
 ٥- درجات نسبة لحدود ظاهرة الصفع (المنحني ٣) وذلك لموازنة الضعف
 الذي يلحق بخواص الصفع للمحرك أو الوقود أثناء الاستثمار أو عندما تتغير
 الظروف الخارجية .

وللتخلص من هذه الضياعات يمكن استخدام التحكم الالكتروني المبرمج وفي هذه الحالة، يمكن الحصول على منحنيات تسبيق الإشعال التي تنطبق عملياً مع المنحني ٣ لأن مجال الخطأ على المنحنيات في هذه النظم قليل جداً .
 والتحسين الممكن لاحقاً لمؤشرات المحرك ممكن باستخدام دائرة تحكم جاهزة (موضوعة في نظام التحكم) بزاوية التسبيق .
 وعندئذ ليس من الضروري احتساب الاحتياطي في تغير ظروف ظهور الصفع لأنه عند ظهوره يقوم نظام التحكم آلياً بتخفيض زاوية التسبيق إلى المستوى الذي يحقق العمل من دون الصفع.



شكل - ٢١

٧ . خواص المحركات على النظم الانتقالية (المنحنيات الانتقالية):

في مجال الاستثمار غالباً ماتعمل محركات السيارات على ما يسمى نظم العمل الانتقالية ومن أهم هذه النظم ، نظام التسارع . والنظم الانتقالية ممكن أن تكون بسرعة دوران ثابتة ، يتم المحافظة عليها عند تغير الحمولة الخارجية إما من قبل السائق مباشرة أو بمساعدة المنظم الآلي.

وأخطر النظم الانتقالية نسبة لمسألة التلوث هي نظام الإقلاع وتسخين المحرك ونظام اللاحمل القسري.

وحالة النظم الانتقالية هي اختلاف (عدم توازن) الطاقة المعطاة من قبل المحرك والطاقة المستهلكة من قبل العجلات (المستهلك) .

$$T_k - T_e = \pm J \frac{dw}{d\tau}$$

حيث J — عزم العطالة الإجمالي للكتل الترددية في المحرك المحوّل إلى محور عمود المرفق ويقاس $kg.M^2$.

T_e, T_k — عزم المحرك و عزم المستهلك على التوالي .

W — السرعة الزاوية للعمود المرفقي . راديان/ ثانية

τ — الزمن بالثانية .

على هذه النظم الانتقالية يتغير نظام السرعة في المحرك .

والحالة العامة للنظم الانتقالية هي تغير عامل واحد على الأقل من العوامل

المميزة لحالة المحرك ، نسبة للزمن.

تغير نظام عمل المحرك وفق تسلسل معين للنظم الانتقالية يسمى العملية

الانتقالية أي إن العملية الانتقالية هي عبارة عن جملة أنظمة انتقالية منتظمة بالزمن .

أسباب ظهور العملية الانتقالية هو التأثير الخارجي الناجم عن تغير وضعية تجهيزات قيادة (التحكم) المحرك، أو تغير الحمولة الخارجية. مؤشرات المحرك في العملية الانتقالية تتعلق بالزمن الجاري من بداية التأثير ، وبنوع التأثير . في النظم الانتقالية المرتبطة بتغير نظام السرعة في المحرك، التي تختلف فيها مؤشرات الطاقة الخارجية عن القيم المطابقة للقيم الأولية (السابقة) للنظم المستقرة ، تتولد جزئياً عن العطالة الميكانيكية للمحرك . مثال عند التسارع يكون عزم المحرك عند النظام الانتقالي (T_k^H) المعطي للمستهلك مختلفاً عن العزم البياني T_i^H ليس فقط بقيمة الضياع على الاحتكاك، والتبادل الغازي وتشغيل الأجهزة المساعدة $T_{B,M}$ بل بقيمة الضياع على تسارع الكتل المتحركة دورانياً وانسحابياً في المحرك .

$$T_k^H = T_i^H - T_{B,M} - J_D \frac{dw}{d\tau}$$

حيث J_D - عزم عطالة الكتل المتحركة منسوباً لمحور عمود المرفق (عزم عطالة المحرك) . لذلك كمؤشر مشابه للعزم الفعّال على الأنظمة المستقرة T_K^y يستخدم مفهوم العزم الفعّال العام على الأنظمة الانتقالية $T_e^{H'}$ الذي يضم ضياعات تسارع الكتل المتحركة في المحرك .

وعندئذ يكون الفرق $T_k^y - T_k^{H'}$ مرتبطاً بالاختلافات الحاصلة في العمليات الفعلية في المحرك، الحاصلة في المركبات المطابقة للضياعات الداخلية على النظم الأولية المستقرة وعلى النظم غير المستقرة.

تقود النظم الانتقالية إلى تغير η_v ، وتركيب المزيج في الاسطوانات ، وظروف عمليات المزج والاحتراق وانبعاث الحرارة وكل هذا ينعكس في تغيرات η_i .

في محرك الشرارة الكهربائية أكثر التغيرات الحاصلة للعوامل المذكورة تحصل عند الانفتاح السريع لصمام المزيج . وتحصل بسبب تغير كمية الهواء أو المزيج في مجرى السحب .

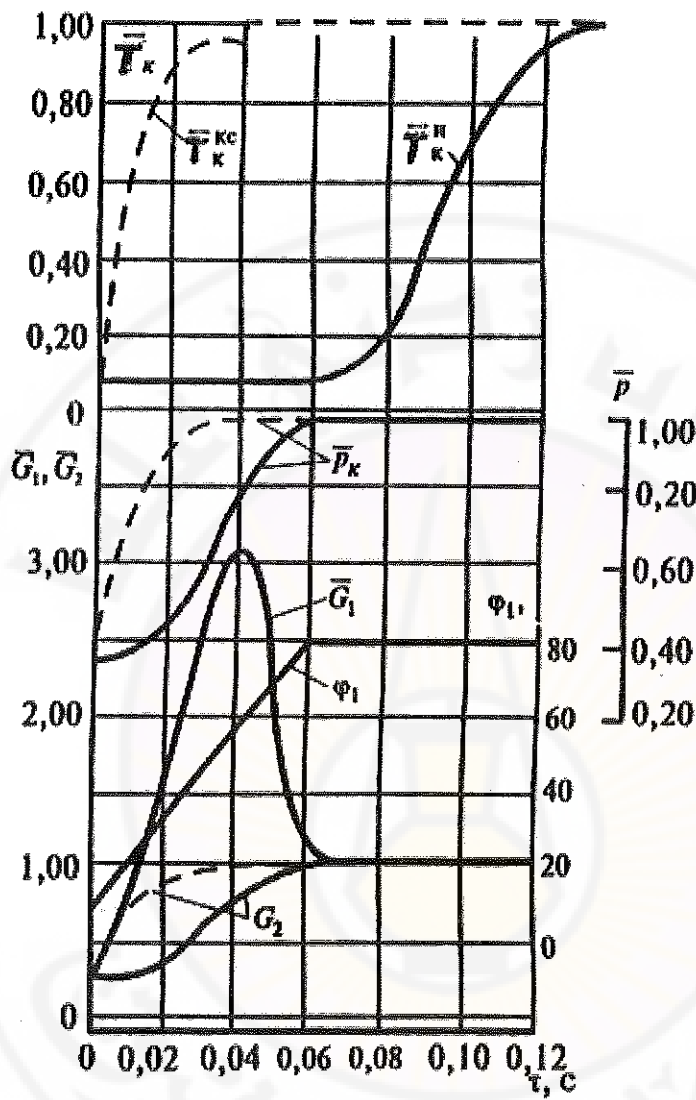
وكمثال ندرس العملية الانتقالية لمحرك الشرارة عند نظام سرعة مستقر والحاصل لدى الانفتاح السريع لصمام المزيج . وهذه العملية تسبق عملية التسارع اللاحقة للمحرك .

ولبيان ذلك أكثر ننسب ضغط الهواء في مجرى السحب P_k على الضغط الجوي P_o . $(P'_k = \frac{P_k}{P_o})$

وكذلك استهلاك الهواء على مدخل السحب G_1 وعبر الاسطوانات G_2 ، وأيضاً العزم في النظام الانتقالي T_K^M — على التوالي مع قيمها الثابتة $(T_{K.O}, G_O)$ بعد إتمام العملية الانتقالية ، فيصبح لدينا :

$$\bar{T}_k^N = \frac{T_k^H}{T_{k.O}} , \quad \bar{G}_2 = \frac{G_2}{G_o} , \quad \bar{G}_1 = \frac{G_1}{G_o}$$

نظام عمل المحرك الأولي السابق لهذه العملية الانتقالية يتميز بالزاوية ϕ_1 الصغرى لانفتاح صمام المزيج ، والضغط الضعيف في مجرى السحب $\bar{P}_k$ وتبعاً لذلك يتميز بالكمية الصغرى للمزيج فيه . وعلى العكس عند الانفتاح التام لصمام المزيج (التحكم) يكون الضغط في مجرى السحب وكمية المزيج فيه أعظمية . وعند الانفتاح السريع لصمام المزيج في اللحظات الأولى فإن تدفق الهواء $\bar{G}_1$ عبر مجرى الخنق أي على مدخل مجرى السحب لا يحدد عملية امتلاء المحرك بقدر ما يحدد شدة تغير كتلة الهواء في حجم مجرى الدخول شكل - ٢٢ .



شكل ٢٢ -

تدفق الهواء عبر اسطوانات المحرك $\bar{G}_2$ هو الذي يحدد امتلاءها، وتبعاً للضغط T_K, P_K ($n=\text{const}$) يكون أقل بكثير من القيم ذاتها على النظم المستقرة الأولية (الخطوط المنقطعة شكل ٢٢).

هذه الظواهر الغاز - ديناميكية تؤثر كثيراً على العزم $T_k^{H'}$.
وللمقارنة وضعت على هذا الشكل القيم الثابتة للعزم T_k^k المرسومة باستخدام
العلاقة $\bar{T}_k^k = f[\varphi_1(\tau)]$ لكن هذا التأثير ينتهي مباشرة بعد انفتاح صمام المزيج.
إضافة لذلك هو ينخفض باستمرار انخفاض سرعة انفتاح الصمام .
وعلى أنظمة التسارع، وعند الانفتاح التام للصمام هذا العامل لا يكون له قيمة
عملية.

في محركات الديزل المشحونة . وبسبب الرابطة الغازية الوحيدة بين المحرك
والشاحن وبسبب العطالة الميكانيكية للأخير يمكن في فترة التسارع أن يزداد
انخفاض عملية امتلاء الاسطوانات بالهواء مما يتسبب بانخفاض عوامل الديزل.
إضافة لذلك فإن عدم توافق كمية الهواء مع كمية الوقود المعطاة يؤدي إلى
إغناء المزيج وزيادة الدخان في غاز العادم .

وعدم التطابق بين الحالة الحرارية لأجزاء المحرك على النظم الانتقالية، مع
مثلثها على النظم المستقرة الأولية يسمى العطالة الحرارية للمحرك . والصفة
المميزة لها هي فترتها الأطول بالمقارنة مع النظم الانتقالية الجارية في عملية
التغذية وفي التبادل الغازي.

العطالة الحرارية يمكنها أن تزيد من امتلاء المحرك ، عند التسارع
بحمولات خفيفة. وهذا يميز المحركات التي تستخدم التسخين الغازي لمجرى
الدخول ، والمحركات ذات التبريد الهوائي، ومحركات الديزل .

وفي المحركات ذات التبريد المائي لمجرى السحب فإن تأثير العطالة
الحرارية على امتلاء الاسطوانات ليس كبيراً .

ويلاحظ التأثير المحدود زمنياً للعطالة الحرارية على امتلاء الاسطوانات في
محركات الشرارة ذات الحقن الموزع للبنزين ، التي تكون فيها مجاري السحب
عديمة التسخين .

والتأثير الأهم للعطالة الحرارية هو على عمليات المزج والاحتراق .

تغير كمية الوقود المعطاة للاسطوانات في محرك الشرارة في النظم الانتقالية ناتج عن الانفتاح السريع أو الإغلاق السريع لصمام المزيج ، وفي الحالة العامة يحصل ذلك جزئياً بفعل العمليات الجارية في أجهزة التحكم بالتغذية (البخاخات أو المفحومات) وبالظواهر الجارية في مجرى السحب .

في النظام الأولي السابق لعملية التسارع في المحرك العامل بالمفحم ، تحصل التغذية من خلال دارة نظام اللاحمل ، مما يخفض مستوى الوقود في قنوات الدارة الرئيسية للتغذية بالوقود .

وعند الانفتاح السريع لصمام المزيج، تتغير وجهة تيار الوقود نحو الاختناق، لكن حتى لحظة خروج الوقود من الفوهة ، يجب أن يملأ الوقود قنوات الدارة الرئيسية للتغذية .

فترة هذه العملية (التأخير) تساوي من 0,4 - 0,7 ثانية وتتعلق بسرعة تيار الهواء في الاختناق وبخصوصية المفحم .

والوسيلة الفعالة لتخفيض مدة هذا التأخير تكون باستخدام مفحم ثنائي الحجات ، يعمل بالتحكم الهوائي (بنوماتيك) بالحجرة الثانية .

وعند الإغلاق السريع لصمام التحكم يمكن أن يحدث تأخير في عملية إعطاء الوقود من خلال دارة اللاحمل بحدود (0,5-1,3) ثانية وذلك بسبب الضرورة لكي تمتلئ قنواتها الطويلة بالوقود .

والسبب الآخر لافقار المزيج في الاسطوانات الحاصل عند تسارع المحرك هو زيادة كمية طبقات الوقود المترسبة على جدران مجرى الدخول .

هذه العمليات تجرى بشكل متشابه كما في حالة المفحومات وكما في حالة المحركات ذات الحقن المركزي للبنزين، وهي مرتبطة بالعلاقة التي تربط كمية طبقات الوقود في مجرى السحب بنظام عمل المحرك .

(كميته عظمى عند الانفتاح التام لصمام المزيج ونظام السرعة الأدنى لكنها عملياً تختفي عند الحمولات الخفيفة المميزة للنظام الأولي ما قبل التسارع) .
عندما يفتح صمام التحكم بشكل حاد فإن قسماً من الوقود الخارج من المذرع أو من البخاخ يستهلك في زيادة طبقات الوقود التي تصل إلى الاسطوانات بتأخير كبير ، والإفقار المتعلق بهذه الظاهرة هو قليل جداً شكل ٢٣- . وتتم معالجته بمساعدة دارة الإغناء (تصحيح التغذية على النظم الانتقالية في محركات الشرارة الكهربائية ذات الحقن المركزي أو بمساعدة مضخة التسارع في مفحم المحرك) .

والوقود المعطى بهذه الطريقة يغني المزيج جزئياً ، ويترسب جزئياً على جدران مجرى السحب مما يسبب بعدئذ إغناء المزيج للمرة الثانية . ويستقر تركيب المزيج بعد ٢-٤ ثواني من بداية حركة صمام المزيج . وفي المحركات ذات المفحم يلاحظ الإفقار في لحظة بداية انفتاح الحجرة الثانية (يظهر على الشكل ٢٣ بواسطة الاسهم) .

العمليات الانتقالية الناجمة عن الانفتاح السريع لصمام التحكم والجارية في المحركات الحديثة ذات الحقن الموزع للوقود في منطقة صمامات السحب لها بعض الخصوصية .

وأسباب إفقار المزيج في العملية الانتقالية من هذا النوع هي تشكيل طبقات الوقود من جهة والخواص الديناميكية لمقياس تدفق الهواء من جهة أخرى . وبغض النظر عن اقتراب البخاخات من صمامات السحب فإن تأثير العامل الأول ملموس لأن قسماً كبيراً من الوقود الواقع على الصمام أو على الجدار يتبخر وفق آلية التبخر الطبقي في ظروف محدودة الحرارة (مجرى السحب لا يحتوي على مسخن) .

ويؤدي التأخير في ردة فعل مقياس الهواء إلى انخفاض كمية التغذية بالوقود مما يؤثر سلباً على جريان الدورات الحرارية التالية (الأولى والثانية) بعد انفتاح صمام التحكم .

ويتعمق ذلك بفعل الحرارة المنخفضة للمزيج في الاسطوانة والناجمة عن درجة حرارة الجدران المنخفضة، وعن تبخر جزء كبير من الوقود في الاسطوانة .

وفي الوقت نفسه في المحركات ذات الحقن الموزع للبنزين في منطقة صمامات السحب ، هناك عدة عوامل تسبب إغناء المزيج عند الانفتاح السريع لصمام المزيج:

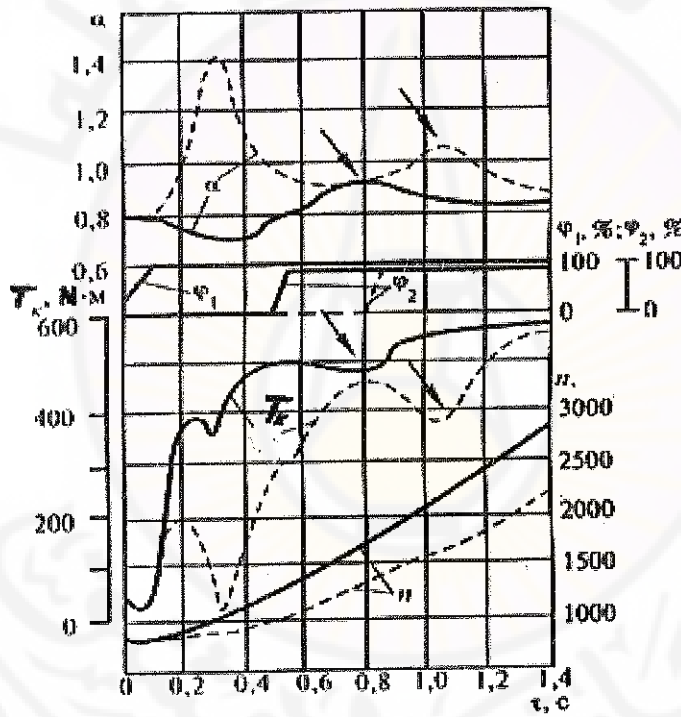
- أولاً: عند التجاوب العالي لمقياس الهواء فإن إشارة الخرج تعكس التغير المنتظم لتدفق الهواء في مكان المقياس. لكن هذه القيمة لا تطابق تدفق الهواء في المحرك وتحدد أساساً بانتظام تغير كمية الهواء في مجرى السحب شكل ٢٢ وبالظواهر الموجية الجارية في المجرى التي تتعلق بالدرجة الأولى بالمسافة بين مقياس الهواء ومجرى الخنق (صمام المزيج) وفي هذه الحالة تقوم وحدة التحكم الإلكتروني وفق المعلومات الواردة من مقياس الهواء بتحضير إشارة الزيادة في كمية الوقود مما يخفف من عامل الإفقار الناجم عن العوامل المذكورة أعلاه .

-ثانياً: عند الانفتاح السريع لصمام التحكم تدخل إلى الاسطوانات أولاً المركبات الخفيفة من الوقود ، المتميزة بالكميات الأكبر للهواء واللازمة نظرياً للاحتراق التام للوقود (l_o) مما يسبب إغناء المزيج أيضاً .

لكن العامل الغالب هو إفقار المزيج وتراجع عمليات المزج والاحتراق في الدورات الحرارية الأولى بعد الانفتاح السريع لصمام المزيج . مما يتطلب إغناء المزيج وإن كان بدرجة أقل بالمقارنة مع المحركات ذات المفحم.

وتحضر إشارة تصحيح تركيب المزيج ، من قبل وحدة التحكم من خلال الإشارات الواردة من الدلائل الخاصة بسرعة الدوران وبسرعة انفتاح صمام المزيج .

في محركات الديزل تغيرات التغذية الدورية بالوقود على الأنظمة الانتقالية بالمقارنة مع الأنظمة المستقرة الأولية ، مرتبطة بالعلاقة التي تربط الضغط المتبقي في أنبوب الضغط العالي للوقود تبعاً ومسار الضاغط في مضخة الضغط العالي .



شكل - ٢٣

عند الحركة السريعة للجريدة المسننة ابتداءً من الوضعية الأولية إلى الوضعية المطابقة للتغذية العظمى، يكون الضغط المتبقي في أنبوب الوقود فيما

قبل الدورة الحرارية التالية (دورة التغذية العظمى) مساوياً الضغط المتبقي للدورة السابقة (دورة الوضعية البدائية الأولية). الحاصل عند الانزياح الأصغر للضاغط في مضخة الضغط العالي .

وعند الدوران المنخفض يكون هذا الضغط المتبقي أكبر من القيمة المطابقة عند الانزياح الأعظمي للضاغط ، مما يؤدي إلى زيادة التغذية الدورية عند التسارع في بعض الدورات الحرارية الأولية.

وفي بعض الحالات يمكن أن تزداد نسبة الدخان في الغاز العادم . ويظهر تأثير العطالة الحرارية بشكل أكبر عند تسارع الديزل وخاصة عندما يحصل المزج بالقرب من الجدران . وتسبب العطالة الحرارية زيادة فترة تأخير الاشتعال وزيادة قساوة عمل الديزل.

وتجري اختبارات المحركات على النظم الانتقالية على منصات نموذجية خاصة تسمح بتحميل الديزل بشكل مشابه لحمولته على السيارة . ولتقدير تأثير النظم الانتقالية على مؤشرات المحرك ، تقارن المؤشرات مع مثيلاتها المطابقة على النظم المستقرة السابقة (البدائية).

مع العلم أنه لإنشاء العملية الانتقالية العامة للعزم التي تستخدم العلاقة : $T_k^y[\varphi(\tau), n(\tau)]$ حيث n, φ - على التوالي زاوية دوران صمام المزيج وعدد دوران عمود المرفق.

مثال عملية تسارع المحرك العامل بالشرارة الحاصلة من خلال الانفتاح السريع والتام لصمام المزيج يمكن تجزئتها إلى طورين أولي وأساسي شكل - ٢٤.

في الطور الأول (الفترة τ_1)، المنحنيات الانتقالية $T_k^{N'}(\tau)$ ، $T_k^y(\tau)$ تختلف بشكل حاد كماً ونوعاً. وفي الطور الرئيسي للتسارع (عند $\tau \geq \tau_1$) يحسب تغير $T_k^{H'}(\tau)$ من خلال قيمته وتغيرها على منحنى السرعة الخارجي الستاتيكي بحيث $T_k^{H'} \approx T_k^y$.

وفي الحالة العامة، تكون بداية الدور الأساسي هي التطابق المستقر والمستمر للمشتقات $T_k^{H'} \approx T_k^y$ بالزمن.

تضم تغيرات العزم $T_k^{H'}(\tau)$ في الطور الأولي للتسارع، المنحني ١ من الزيادة الحادة ومن المنحنيات الجزئية ٢ ، ٣ من الانخفاض البسيط شكل-٢٤. تتحدد طبيعة تغيرات $T_k^{H'}(\tau)$ من خلال العمليات الانتقالية في مجرى السحب وفي نظام التغذية بالوقود ، التي يسببها انفتاح صمام التحكم ، وأيضاً من خلال الطبيعة الدورية لعمل المحرك ، الذي بفضلله يمكن أن يحصل كل تغيير على عملية السحب في اسطوانة المحرك فقط بعد إتمام شوط السحب والانضغاط ، لذلك المنحني $T_k^{H'}(\tau)$ ينزاح بالطور نسبة للمنحني $\bar{G}_2(\tau)$ بفترة زمنية ضرورية لإتمام هذه العمليات شكل -٢٢.

في المحرك العامل بالمفحم، المنحني ١ الذي يبين الارتفاع الحاد للعزم $T_k^{H'}$ شكل - ٢٤.

يتحدد أساساً على عمل دائرة نظام اللاحمل. والمنحني المحدود بالزمن $T_k^{H'}$ على الجزء ٢ مرتبط بالتأخير الحاصل في عمل دائرة التغذية الأساسية وبالظواهر المذكورة أعلاه في مجرى السحب.

والمنحني ٣ في منطقة التغير السلس للعزم $T_k^{H'}$ شكل - ٢٤ ينشأ عند وصل الحجرات الثانوية للمفحم .

بداية الطور الأساسي للتسارع تنطبق مع نهاية فترة تأثير العمليات الانتقالية في نظم المحرك، على مؤشرات القدرة فيه.

مؤشرات الديزل غير المشحون في الطور الأساسي للتسارع (بعد حركة الجريدة المسننة في مضخة الضغط العالي وإتمام العمليات الانتقالية في دائرة التغذية) . تنطبق مع القيم المماثلة على النظم المستقرة البدائية.

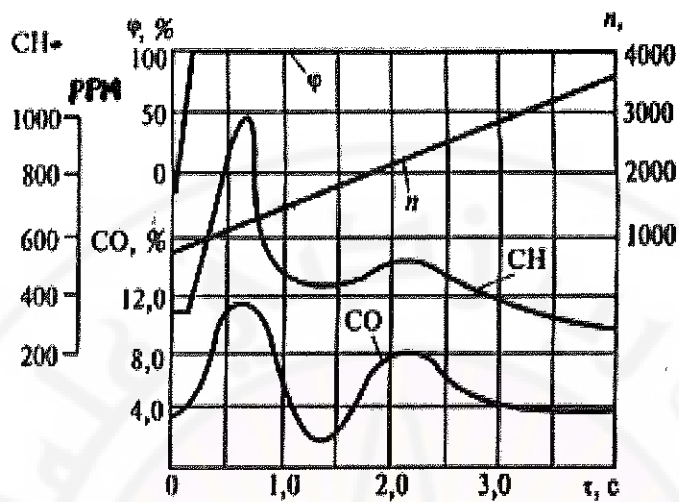
تغير مؤشرات القدرة لهذه المحركات في طور الأولي للتسارع، عند الخروج إلى المنحني العياري (منحني المنظم) تتعلق بتصميم المنظم . وتتحدد من خلال مواصفاته الديناميكية. وعند تسارع الديزل المشحون غازياً فإن تأخر عملية امتلاء الاسطوانات عن عدد دوران عمود المرفق نتيجة العطالة الميكانيكية لعمود الشاحن يقود إلى انخفاض طويل زمنياً لمؤشرات القدرة (٤-٥) ثواني وانخفاض كبير لها حتى ٢٠ % (بالمقارنة مع مؤشرات العمليات المستقرة الأولية).

وتقدر اقتصادية المحركات على النظم الانتقالية بطول العملية الانتقالية وهذا مرتبط:

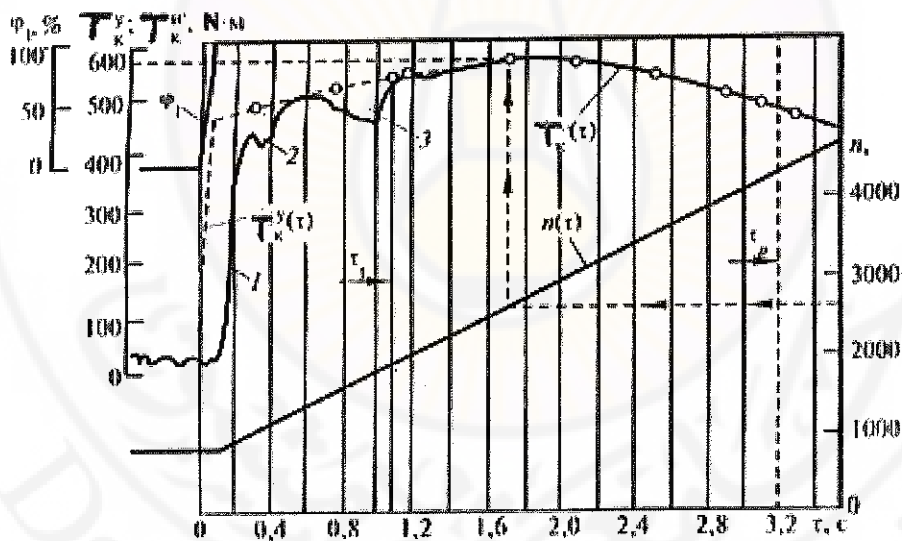
أولاً: بانعدام وجود وسائل موثوقة لقياس مصروف الوقود اللحظي. وثانياً بالانقطاع الزمني بين إعطاء الوقود ووصوله إلى الاسطوانات ، مما يجعل استخدام مصطلح الاستهلاك النوعي الفعلي اللحظي ليس دقيقاً. اقتصادية الديزل على النظم الانتقالية تتعلق بشكل كبير بنوع المنظم . وفي ظروف الحركة في المدن نحصل على الإقتصادية الأفضل (٤ - ٦ %) باستخدام منظم ثنائي الفاعلية ويحصل ذلك نتيجة انخفاض عدد مرات جنوح الجريدة المسننة إلى الوضعية النهائية (الطرفية).

في العمليات الانتقالية (لتسارع المحركات) الناجمة عن التأثير الحاصل على تجهيزات التغذية تحصل زيادة في نسب الغازات الملوثة في غاز العادم بالمقارنة مع المؤشرات المطابقة في العمليات المستقرة الأولية .

وفي محركات البنزين، زيادة إصدار الغازات CO و CH_4 مرتبطة بإعطاء وقود إضافي شكل-٢٥ (خاصة عند الإنتاجية الإضافية لمضخة التسارع في المفحم).



شكل ٢٤ -



شكل ٢٥ -

والزيادة الثانوية لـ CO تنتج عن وصول الطبقات المتراكمة من الوقود إلى اسطوانات المحرك .

والزيادة الكبيرة لـ C_H تلاحظ عند الانتقال إلى نظم اللاحمل القسرية، بسبب التبخر القوي لطبقات الوقود (نتيجة انخفاض الضغط في مجرى السحب) . مما يؤدي إلى إغناء إضافي للمزيج في الاسطوانات .

والمؤثرات على إصدارات NO_x ليست هي كما في حالة الغازات الأخرى. عند إغناء المزيج (عند التسارع) يلاحظ انخفاض إصدارات NO_x وعند الإفجار تلاحظ بعض الزيادة في هذه الإصدارات .

في محركات الديزل، العوامل الأساسية المحددة للملوثات في غاز العادم هي: تركيب المزيج والعتالة الحرارية للمحرك .

الإغناء الأولي للمزيج (هو أطول في الديزل المشحون غازياً) يقود إلى زيادة إصدارات (Hc, Co) وزيادة الدخان في غاز العادم . وانخفاض الحالة الحرارية للمحرك المؤدي إلى زيادة C_H يؤدي إلى انخفاض NO_x .

في محركات الديزل ذات الحبرات المنفصلة للاحتراق، عند التسارع لزيادة نسب المواد الملوثة عن مقاديرها العادية المنبعثة على النظم المستقرة الأولية . ويفسر ذلك بالحالة الحرارية المستقرة لهذه المحركات. يؤثر على إصدارات المواد الملوثة في الديزل نوع المنظم. وعند استخدام المنظم ثنائي الفاعلية بدلاً من المنظم متعدد الفاعلية في ظروف العمل في المدن يحصل انخفاض كبير في إصدارات كل من (Hc, Co) وانخفاض نسبة الدخان لكن المنظم لا يؤثر عملياً على إصدارات NO_x .

الفصل الثاني

القوى والعزوم المؤثرة في المحركات المكبسية

١. القوى والعزوم في المحرك وحيد الاسطوانة:

قيم القوى والعزوم المؤثرة في المحرك المكسبي تحددها قوى ضغط الغازات في الاسطوانات، قوى عطالة الكتل المتحركة خطياً ودورانياً، قوى الاحتكاك، قوى المقاومة المفيدة لعمود المرفق ، وأوزان آلية الجملة الترددية وكتلة المحرك M. شكل -٢٦.

القوة P_r الناجمة عن ضغط الغازات هي داخلية توازن في المحرك ذاته ولا تنتقل إلى القواعد.

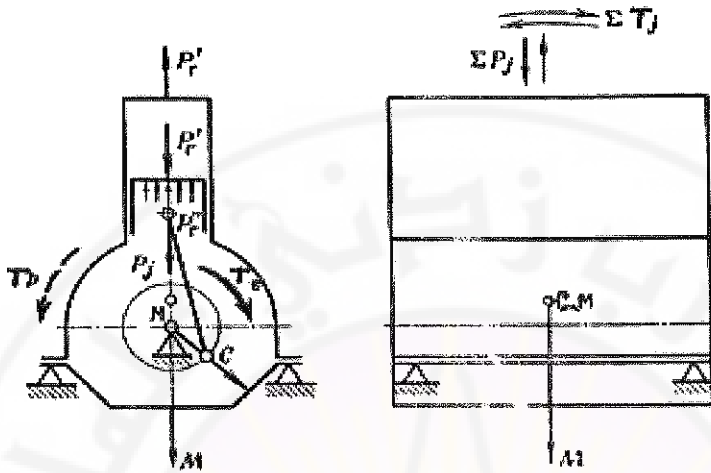
قوة العطالة P_r مؤثرة في مركز الجملة الترددية وموجهة على طول محور الاسطوانة. هذه القوة تؤثر عبر مدارج عمود المرفق على جسم المحرك وتجعله يهتز على قواعده باتجاه محور الاسطوانة .

القوة النابذة C الناجمة عن الكتل الدورانية تؤثر باتجاه المرفق، من خلال نقاط استناد عمود المرفق على جسم المحرك . وتسبب اهتزاز المحرك على القواعد باتجاه المرفق .

العزم المفيد T_e المنقول عبر المحور إلى مستهلك الاستطاعة يولد عزمًا معاكسًا مساويًا بالقيمة معاكسًا بالاتجاه T_R . هذا العزم يؤثر على جسم المحرك في مستوى عمودي على محور عمود المرفق وينقل إلى قواعد المحرك ويسبب اهتزازه في هذا المستوى .

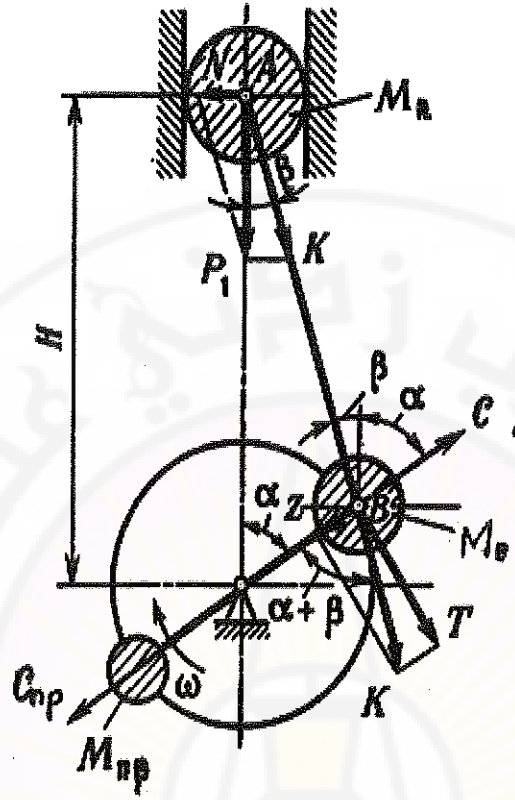
وقوى الاحتكاك والأوزان تهمل عادة نظراً لقيمتها المنخفضة نسبياً .

ويجرى الحساب الديناميكي عادة لمجموعة وضعيات متسلسلة للجملة الترددية .



شكل - ٢٦

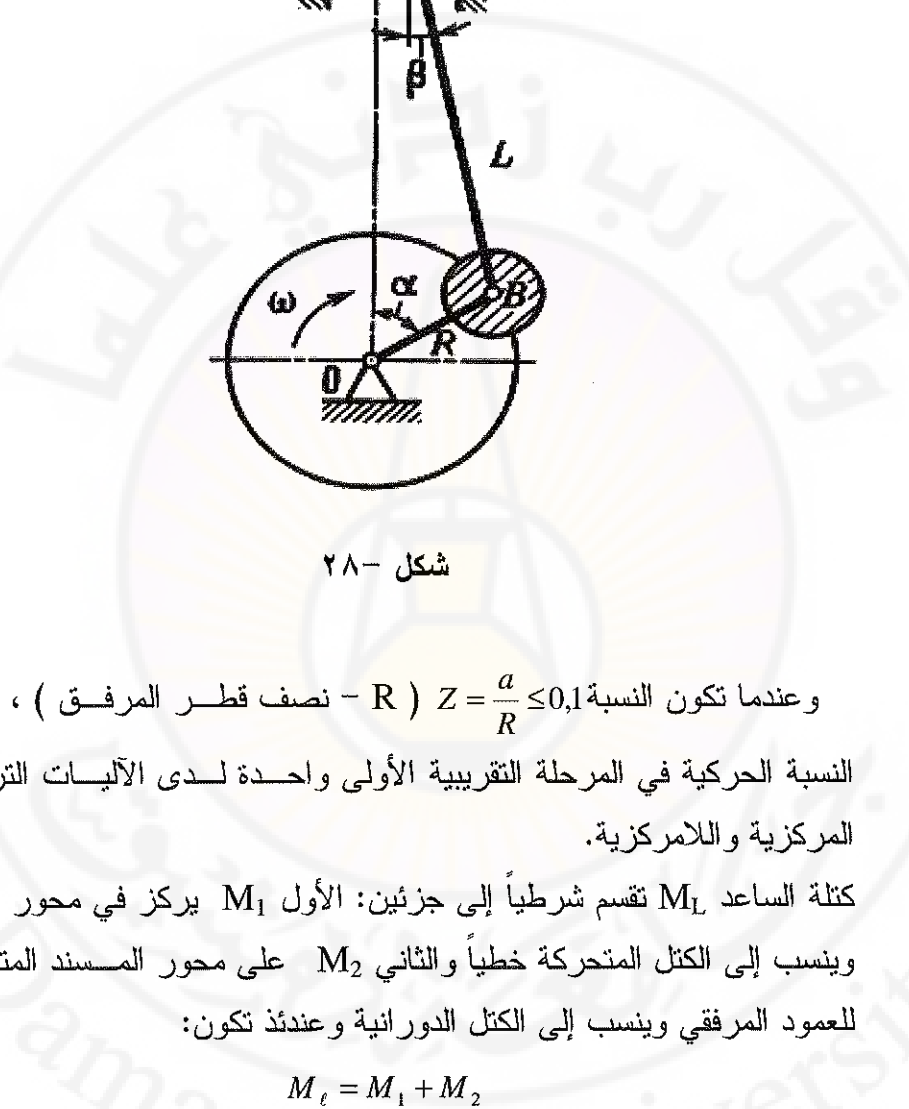
وتحسب القوى والعزوم لنظم عمل المحرك التي تعتبر نظم حسابية. عند حساب القوى والعزوم من المفضل إيجاد قيمتها النوعية أي المنسوبة إلى وحدة مساحة المكبس. القوى والعزوم النوعية يسهل استخدامها ليس فقط لحساب هذا المحرك أو ذاك بل لتقدير حمولات المحركات المختلفة ومقارنتها . الكتلة العامة لجميع عناصر الجملة الترددية شكل - ٢٧ تتوزع بين الكتلة المتحركة ترددياً باتجاه محور الاسطوانة. M_n ، M_B المنسوبة إلى محور المسند المتحرك في عمود المرفق ، ويفترض أن تجمع بينهما رابطة مطلقة القساوة . وتعتبر الاتجاهات المبينة على الشكل - ٢٧ موجبة .



شكل - ٢٧

إذا كان المحور العمودي المار عبر محور عمود المرفق منزاحاً نسبة للمحور الأفقي المار من خلال محور الرأس العلوي للمساعد بمقدار a فإن هذه الآلية تسمى لامحورية (لامركزية) وهذه الآلية يمكن الحصول عليها بإزاحة محور عمود المرفق أو مركز الرأس العلوي للمساعد نسبة لمحور الاسطوانة

شكل - ٢٨.



شکل - ۲۸

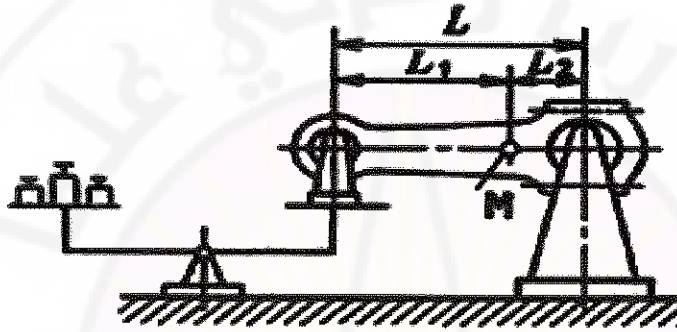
وعندما تكون النسبة $Z = \frac{a}{R} \leq 0,1$ (نصف قطر المرفق) ، تعتبر النسبة الحركية في المرحلة التقريبية الأولى واحدة لدى الآليات الترددية المركزية واللامركزية.

كتلة الساعد M_L تقسم شرطياً إلى جزئين: الأول M_1 يركز في محور المكبس وينسب إلى الكتل المتحركة خطياً والثاني M_2 على محور المسند المتحرك للعمود المرفقي وينسب إلى الكتل الدورانية وعندئذ تكون:

$$M_{\ell} = M_1 + M_2$$

الكتلة M_1 يمكن تحديدها من وزن المساعد كما يظهر على الشكل -٢٩ و عليه يكون الطول L وهو المسافة الفاصلة بين محاور رؤوس الساعد ، ومحور

الساعد يجب أن يكون أفقياً. وبموازنة الأوزان يتم إيجاد كتلة الساعد M_1 . وبمعرفة كتلة الساعد وطوله L وتحدد المسافة بين مركز كتلة الساعد ومحور رأس المكبس، بالعلاقة $L_2 = \frac{LM_1}{M_\epsilon}$. عندئذ يكون الطول الفاصل بين مركز كتلة الساعد ومحور رأس المرفق $L_1 = L - L_2$.



شكل - ٢٩

في الحساب الأولي، المسافة بين محور رأس المرفق ومركز كتلة الساعد يمكن اعتبارها مساوية $L_2 = (0,18 - 0,32) L$ في محركات السيارات والجرارات وفي محركات القاطرات والسفن والمحركات الثابتة $L_2 = (0,3 - 0,4) L$. مركز كتلة الساعد في المحرك الجديد يحدد بالتجزئة الشرطية للساعد إلى عناصر تحدد كتلتها، ومواقع مراكزها من المخططات التصميمية.

ولمعرفة قوى العطالة الناتجة عن حركة الكتل الترددية يجب معرفة تسارعها. علاقة مسار الضاغط S بزاوية دوران المرفق في الآلية الترددية المركزية

$$S_x = AR$$

حيث R - نصف قطر المرفق (نصف مسار الضاغط)

$$A = (1 - \cos \infty) + (1 - \cos \beta) / \lambda , A$$

$$\lambda = \frac{R}{L} \text{ - نسبة نصف قطر المرفق على طول الساعد}$$

∞ - زاوية دوران المرفق

β - زاوية ميل محور الساعد عن محور الاسطوانة.

وبإعطاء قيم ∞ بعد كل ١٠-١٥ درجة في المجال ٠-١٨٠ درجة من

زاوية دوران المرفق يحسب مسار المكبس S من ن.م. ع بالمعادلة السابقة.

وعند ثبات السرعة الزاوية للعمود المرفق W نحصل على تسارع الكتل

الترددية من خلال المعادلة التفاضلية الثنائية:

$$J = R \cdot W^2 \cdot E$$

حيث:

$$E = \frac{\cos(\infty + \beta)}{\cos \beta} + \frac{\lambda \cos^2 \infty}{\cos^3 \beta}$$

تؤخذ قيم E وغيرها من الجداول .

وقيمة $\cos \beta$ في العلاقة السابقة تكون محادة على شكل مصفوفة ثنائية الحد.

وللحسابات العملية يكفي فقط الحدين الأولين. ونحصل بالنهاية على معادلات

مسار المكبس وتسارعه التقريبية :

$$S_x = R[(1 - \cos \infty) + \frac{\lambda}{4}(1 - \cos 2 \infty)]$$

$$J = R w^2 (\cos \infty + \lambda \cos 2 \infty)$$

وتحسب قوى العطالة للآلية الترددية المركزية بالعلاقات التالية:

$$P_J = -m_n \cdot R \cdot w^2 \cdot E \text{ - الصحيحة -}$$

$$P_J = -m_n \cdot R \cdot w^2 (\cos \infty + \lambda \cos 2 \infty) \text{ - التقريبية -}$$

والقيمة التقريبية يمكن وضعها كمجموع قوتين من الدرجة الأولى ومن الدرجة

الثانية: P_{J2}, P_{J1} .

$$P_J = P_{J1} + P_{J2}$$

وفي محركات الاحتراق الداخلي $\lambda < 1$ لذلك تكون سعة قوة العطالة من الدرجة الثانية أقل بـ λ مرة من سعة قوة العطالة من الدرجة الأولى.

$$P_{J2} = -K_J \lambda \cdot \cos 2\alpha$$

$$P_{J1} = -K_J \cos \alpha$$

$$K_J = m_n \cdot R \cdot \omega^2 \quad \text{حيث}$$

ويظهر من العلاقات السابقة أن قوى العطالة في ن.م. ع و ن.م. س مختلفة بالقيمة وبالاتجاه.

- قوى ضغط الغازات:

تؤثر على المكبس وتحسب بمقدار الفرق بين قيم الضغط فوق المكبس P' والضغط أسفل المكبس P'' .

$$P = P' - P''$$

ويؤخذ قانون تغير ضغط الغازات في الفراغ الواقع أعلى المكبس، من المخطط البياني الحاصل: الحسابي أو التجريبي .

لحساب المخطط البياني تعطى نسبة الانضغاط ε والضغط P_a (بداية الانضغاط) وأس بوليتروب الانضغاط n_1 ، الضغط الأعظمي P_z في الاسطوانة، درجة التمدد الأولي ρ وأس بوليتروب التمدد n_2 والمسار الفعلي للمكبس S_p .

في المحرك رباعي الأشواط $S_p = S$ وفي المحرك ثنائي الأشواط $S_p = S(1 - \varphi)$ حيث $\varphi = \frac{S_o}{S}$ - نسبة المسار الضائع، S_o - المسار الضائع.

تحسب المسافة الشرطية بين قاع المكبس ورأس الاسطوانة، عندما تكون الآلية الترددية في ن.م.ع. بالعلاقة:

$$S_c = \frac{S_p}{\varepsilon - 1}$$

يتغير مسار المكبس S_x من الصفر إلى S_p . ويحسب بالعلاقة $S_x = A.R$.

وتحسب عمليات الانضغاط والتمدد البوليتروبية من الضغط P_z, P_c .

ويحسب الضغط المطلق في اسطوانة المحرك البنزيني (بالمفحم) بالعلاقة

$$P_g' = \frac{P}{\beta^n} \text{ حيث } P = P_c \text{ لمنحني الانضغاط و } P = P_z \text{ لمنحني التمدد}$$

$$\text{و } \beta = \frac{S_c + S_x}{S_c}, P_c = P_a \cdot \varepsilon^n, n - \text{أس البوليتروب } n_1 \text{ للانضغاط و } n_2 \text{ للتمدد.}$$

الضغط المطلق في اسطوانة محرك الديزل على منحني الانضغاط يحسب

$$P_g' = \frac{P_z}{\beta_1^{n_2}} \text{ كما في حالة المحرك البنزيني وعلى منحني التمدد بالعلاقة:}$$

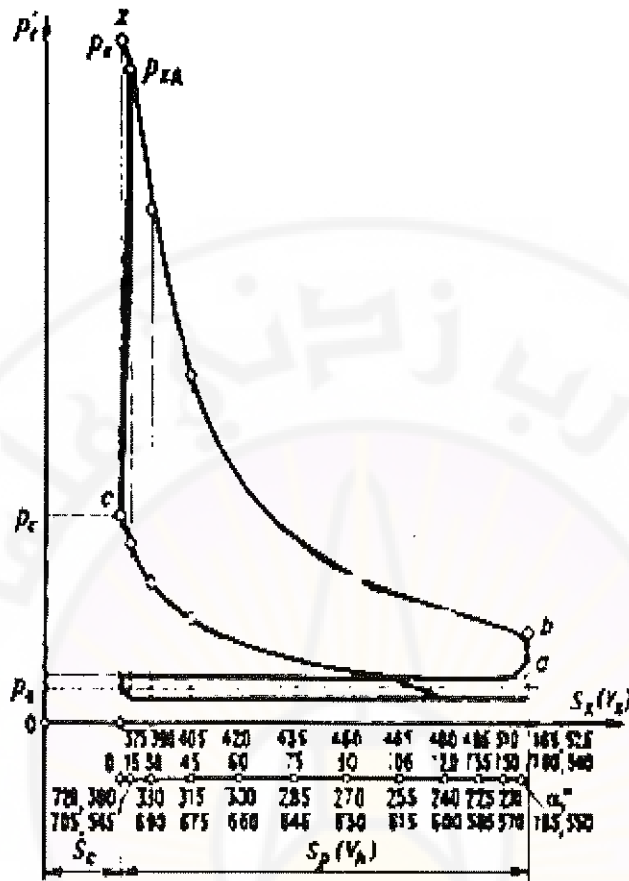
حيث:

$$\beta_1 = \frac{\rho \cdot S_c + S_x}{\rho S_c}$$

ومن المفضل كتابة القيم الأولية والنهائية بشكل جدول (نموذج، $\Delta \infty - 720$)

للمحرك رباعي الأشواط، $\Delta \infty - 360$ - لثنائي الأشواط.

بعد حساب الضغط في الاسطوانة يرسم المخطط البياني شكل - ٣٠ كما يلي:



شكل - ٣٠

يتم اختيار الإحداثيات $P'_g - S_x(V_x)$ وتوضع قيمة المسارات S_p, S_c المطابقة لوضعيات المكبس في ن، م، ع ون، م، س وفي أسفل السينات OS_x يرسم الخط التي توضع عليه القيم S_x الحاصلة (وفق المقياس) للقيم المختلفة للزاوية

. ∞

ومن نهاية المسارات الموضوعية ترسم الخطوط العمودية التي توضع عليها قيم الضغط من النقطة P_0 لمنحني الانضغاط ومن النقطة P_z لمنحني التمدد ، وقيمة الضغط P_0 تنطبق مع الضغط الجوي .

على الشكل - ٣٠ ، عمليات السحب والطرء موضوعة شرطية . والمخطط المثالي الحاصل (بالخط الرفيع) يدور في النقاط Z, C بالقرب من $n.m.s$ كما يظهر على الشكل - ٣٠ بالخط العريض . ويساوي الضغط الفعلي للاحتراق في اسطوانة المحرك البنزيني ٨،٠-٩،٠ من الضغط النظري .

بعد الانتهاء من وضع الحقل ٧ في الجدول يفضل التحقق من صحة العمليات الحسابية .

إذ أن الضغط البياني الوسطي الحاصل تجريبياً يجب ألا يختلف عن الضغط البياني الوسطي الناتج عن الحساب الحراري (قبل أن تضرب بمعامل إكمال المخطط) بمقدار أكبر من $\pm 2\%$.

حساب القوى بوساطة الرسم عند القيم المختلفة للزوايا يسهل كثيراً إذا كان المخطط P_g مرسوماً بشكل منشور نسبة لزاوية دوران عمود المرفق شكل - ٣١ .

وإعادة رسم المخطط من الإحداثيات $P_g - S(V)$ إلى الإحداثيات $P_g - \infty$ يتم بمساعدة مجموعة الزوايا الموضوعية تحت المخطط شكل - ٣٠ .

وحسابات P_j بالعلاقة $P_j = -m_n \cdot R \cdot w^2 E$ يفضل أيضاً إجراؤها بصورة جدول . حيث توضع قيمة E وإشارتها في الحقل ٩ النموذج ١ ، وقيمة P_j في الحقل ١٠ .

بعد حساب P_g, P_j نسبة للقيم ∞ تحسب محصلة هذه القوى $P_1 = P_g + P_j$ وتوضع في الحقل ١١ نموذج ١ .

طبيعة تغير P_2, P_J, P_g تبعا للزاوية ∞ للمحرك رباعي الأشواط تظهر على الشكل-٣١. القوتان P_g, P_J المؤثرتان على المكبس والمركزتان في مركز كتل الجملة الترددية (شكل-٢٧)، النقطة A، تحلل إلى مركبتين :

- القوة المؤثرة عموديا على محور الاسطوانة :

$$N = N_g + N_J$$

- القوة المؤثرة على طول الساعد:

$$K = K_g + K_J$$

القوة K المركزة في مركز مسند الساعد في النقطة B يمكن تحليلها إلى مركبتين :

- قوة موجهة وفق المرفق (قطرية) :

$$Z = Z_g + Z_J$$

- قوة مؤثرة عموديا على المرفق (مماسية) :

$$T = T_g + T_J$$

من المخطط شكل-٣١ ببساطة يمكن الحصول على العلاقات التالية للقوى المذكورة أعلاه :

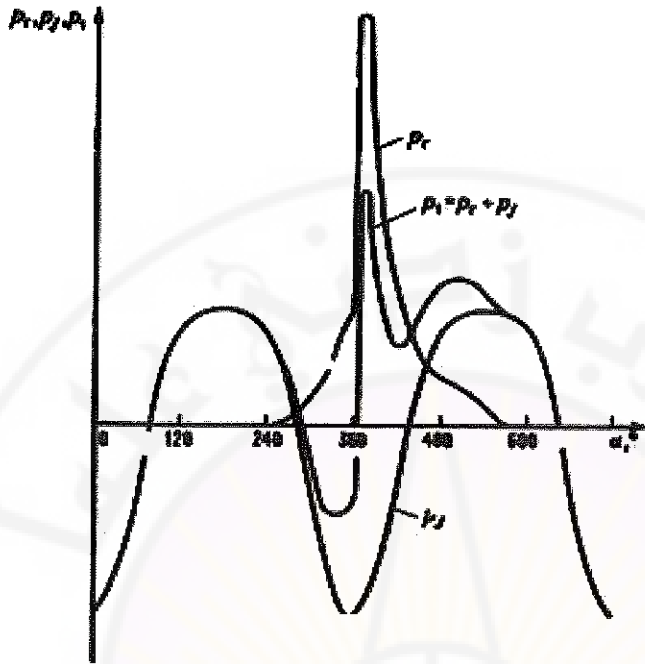
$$K = \frac{P_1}{\cos \beta}$$

$$N = P_1 \cdot \tan \beta$$

$$Z = \frac{P_1 \cdot \cos(\infty + \beta)}{\cos \beta}, \quad T = \frac{P_1 \cdot \sin(\infty + \beta)}{\cos \beta}$$

زاوية ميل محور الساعد تعتبر موجبة إذا كان الساعد يتحرك من محور الاسطوانة باتجاه دوران المحور.

القوى (Z, T, K, N) تحسب مع إدخال قوى العطالة أو بدونها .



شكل - ٣١

مخطط تغير القوى K, N نسبة للزاوية ∞ يظهر على الشكل - ٣٢ a والقوى Z, T على الشكل - ٣٢ b.

وإضافة للقوى المذكورة تؤثر على أجزاء الجملة الترددية القوى الطاردة المركزية: القوة C_h من كتلة الساعد منسوبة إلى الأجزاء الدوارة ، والقوة C_k من كتلة عمود المرفق والقوة C_p من الكتل المعاكسة إذا كانت موجودة .
القوة C_h تؤثر على المساند الثابتة و المتحركة للعمود المرفقي، و القوى C_k ، C_p تؤثر فقط على المساند الثابتة . القوى الطاردة المركزية C_h المؤثرة في مستوى حركة الساعد موجهة من مركز الدوران باتجاه نصف قطر المرفق.

$$C_h = -m_2.R.w^2$$

القوة الحاصلة Q المؤثرة على مسند الساعد:

$$Q = \sqrt{(Z + Ch)^2 + T^2}$$

والقوة الطاردة المركزية الناتجة عن دوران كتلة المرفق موجهة أيضاً مثل اتجاه القوة C_h :

$$C_k = -m_k.R.w^2$$

إذا رمزنا بـ $K_c = C_h + C_k$ نحصل على:

$$K_c = -m_B.R.w^2$$

حيث: $m_B = m_2 + m_k$

والقوة المركزية الناتجة عن الكتل المعاكسة مركزة في مركز ثقل هذه الكتل وتؤثر في مستوى عمودي على محور عمود المرفق ، و موجهة من محور العمود المرفقي .

$$C_p = -m_p.r_p.w^2$$

حيث: m_p - الكتلة المعاكسة النسبية.

$-r_p$ - المسافة بين مركز الثقل و محور العمود المرفقي .

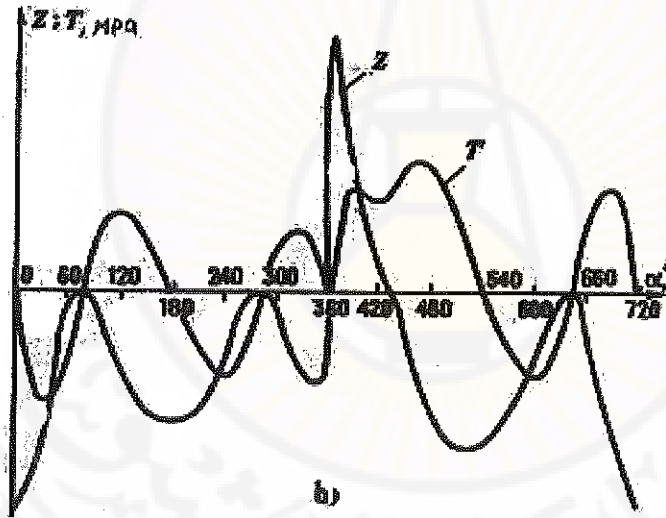
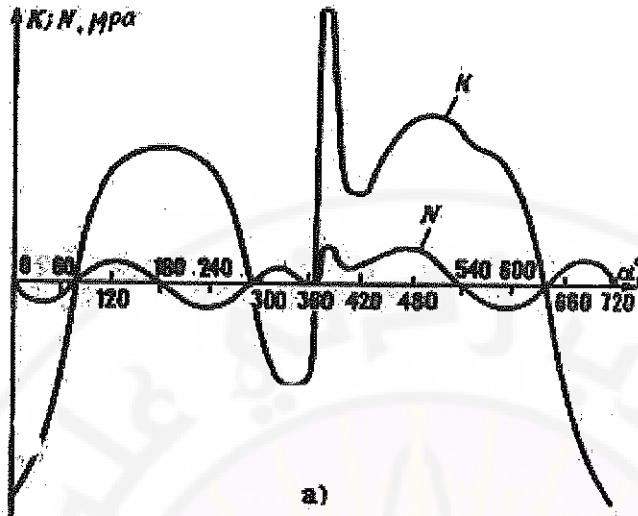
وطبقاً للقاعدة المشار إليها للإشارات فإن القوى C_h ، C_k دائماً سالبة وتؤثر في أغلب الحالات في مستوى واحد - مستوى حركة الساعد .

القوى C_p هي عادة تؤثر في مستويات متوازية وبشكل معاكس للقوى C_h ، C_k لذلك هي دائماً موجبة.

والقوة الطاردة المركزية الإجمالية غير المتوازنة:

$$C = n_p.C_p - C_h - C_k$$

حيث n_p - عدد الكتل المعاكسة .



شكل - ٣٢

القوى C شكل-٢٧ تؤثر على المساند الثابتة وتكون سالبة أو موجبة أو مساوية للصفر . ويتم اختيار الكتلة المعاكسة وفقاً للشرط $C=0$ وفي هذه

$$M'_n = \frac{m_p \cdot R \cdot F_p}{4r'_n}$$

حيث r'_n - المسافة بين مركز ثقل الكتلة المعاكسة ومحور الدوران .
وأيضاً أربعة كتل معاكسة متوضعة على محورين إضافيين ٢ ، يدوران
بسرعة تساوي ضعف سرعة عمود المرفق .

من شروط المساواة بين المركبات العمودية للقوى الطاردة المركزية للكتل
المعاكسة وقوى العطلة من الدرجة الثانية للكتل الترددية تحسب الكتلة المعاكسة
بالعلاقة :

$$M''_n = \frac{m_p \cdot R \cdot \lambda \cdot F_p}{16r''_n}$$

حيث r''_n - المسافة بين مركز الكتلة المعاكسة ومحور الدوران .
والعزم الذي يعطيه المحرك وحيد الاسطوانة يساوي:

$$T_k = T \cdot F_p \cdot R$$

عزم الدوران هذا يساوي بالقيمة ويعاكس بالاتجاه العزم الذي يحاول قلب
المحرك من موضعه (عزم القلب) شكل-٢٧ .

$$T_k = T_o = N \cdot F_p \cdot H$$

ولسهولة إجراء الحساب الديناميكي للمحرك يبين الجداول ٢-٨ قيم
الزاوية β وقيم $\cos \beta$ ، $sm(\alpha + \beta)$ ، $\frac{\cos(\alpha + \beta)}{\cos \beta}$ ، E, A طبقاً لقيم λ, ∞ .

٢- القوى والعزوم في المحرك عديد الاسطوانات:

في المحركات ذات الاسطوانات المتعددة ، وتبعاً لعدد الأشواط يمكن في بعض الحالات أن تختلف أشكال العمود المرفقي ، وتبعاً لها يختلف ترتيب عمل الاسطوانات.

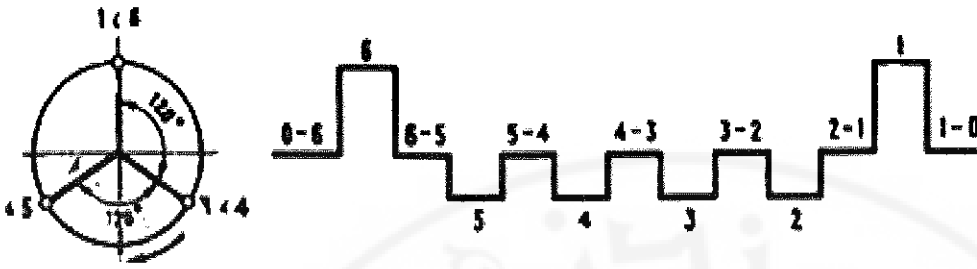
يظهر بعض مخططات توضع مرافق العمود المرفقي ، وترتيب عمل الاسطوانات في المحركات ذات الصف الواحد رباعية الأشواط وثنائيتها في الجدول ٩.

في الجدول ٩ يعتبر دوران عمود المرفق باتجاه دوران عقارب الساعة إذا نظرنا إلى العمود من جهة الطرف الحر . ترتيب أرقام الاسطوانات يتم من نهاية العمود (حيث تؤخذ الاستطاعة) إلى الطرف الحر، والمسافة بين محاور الاسطوانات يرمز لها L_o ، وتجرى العملية الحرارية في جميع الاسطوانات بشكل مشابه.

مرفق العمود لكل اسطوانة في المحرك متعدد الاسطوانات ، يتحمل تأثير القوى:

C_p, C_k, C_h, T, Z المحسوبة سابقاً ، ويتحمل تأثير العزم الذي يتألف من مركبتين : الأولى ناتجة عن القوة المماسية المؤثرة على مرفق الاسطوانة وهي تتعلق فقط بزاوية دوران عمود المرفق . والثانية هي العزم الناتج عن الاسطوانات السابقة وتتعلق إضافة لذلك بعدد الاسطوانات وترتيب نظام عملها. وبذلك فإن حمولة كل مرفق تكون معقدة لدرجة كبيرة .

نبين فيما يلي الحساب الخاص للمحرك رباعي الأشواط سداسي الاسطوانات حيث أن نظام عمله هو 1-5-3-6-2-4 شكل ٣٤.



شكل - ٣٤

وانطلاقاً من استقرار عمل المحرك فإن ترتيب الإشعال في الاسطوانات وهو 1-5, 3-6, 5-4 وهكذا دواليك ويجب أن يحصل في هذه الحالة بعد كل $120^\circ = \frac{720}{6}$ درجة من دوران المرفق .

ولكي نرى بوضوح كيف تعمل جميع الاسطوانات معاً، ننظر إلى المربع شكل - ٣٥ وفيه توضع على الاتجاه الأفقي زوايا دوران مرفق الاسطوانة الأولى من بداية الدورة حتى 72° درجة ، والاتجاه العمودي مقسم إلى ستة أجزاء وفق عدد الاسطوانات. على الحقل الأعلى الموافق للاسطوانة الأولى نرسم تسلسل العمليات الأساسية للدورة الحرارية في الاسطوانة. والحقل الثاني يخص الاسطوانة الثانية وهكذا . وطبقاً لوضعية مرفق الاسطوانة الثانية وترتيب نظام العمل ، يبدأ العمل بعد كل 48° درجة ، والرسم الباقي يظهر من المخطط.

وبإنشاء المخطط نحصل على تصور كامل عن القوى المؤثرة في آن معاً على المرافق المختلفة للعمود.

1	طرد	ثمد	ضغط	سحب
2				
3				
4				
5				
6				

شكل - ٣٥

من المخطط نرى أن مرفق الاسطوانة الأولى يقع في الوضعية صفر من بداية الدورة، ويقع في الوضعية الثانية بعد ٢٤٠ درجة، وفي الثالثة بعد كل ٤٨٠ وفي الرابعة بعد ١٢٠ وفي الخامسة بعد ٦٠٠ درجة وفي السادسة بعد ٣٦٠ درجة.

ولحساب العزوم على المرافق ، والعزم الإجمالي على المرافق ١-٠، يحضر الجدول حسب النموذج ٢.

وعلى أساس مخطط عمل الاسطوانات شكل - ٣٥ من الجدول المرسوم وفق النموذج ١ وطبقاً لوضعية المرفق لكل اسطوانة توضع على النموذج ٢. قيم T في الحقول ٢، ٤، ٦، ٨، ١٠، ١٢. بعد كل ١٥ درجة من زاوية دوران عمود المرفق.

في النموذج ٢ يعطي مثال لاستكمال الحقول. وفي البداية يستكمل الحقل ١٢ بقيم القوة المماسية النوعية، المؤثرة على مرفق الاسطوانة الأولى T_0 ، T_{15} ، T_{30} ، وهكذا، بعدها وانطلاقاً من ظروف العمل الموحد للاسطوانات، تعبأ الحقول طبقاً لانزياح الطور في ترتيب نظام عمل الاسطوانات .

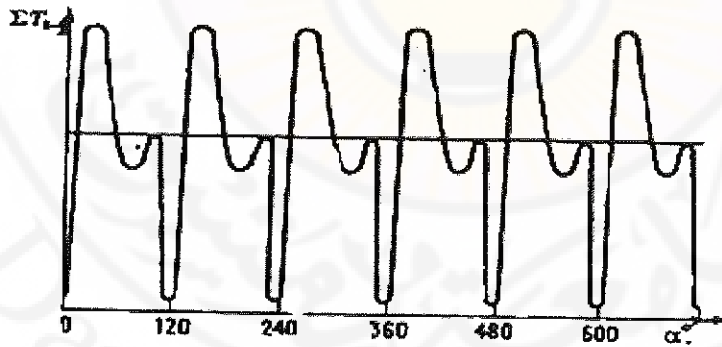
مثال للاسطوانة السادسة ، القوة المماسية ستأخذ القيم: T_{390} , T_{375} , T_{360} وهكذا. وللخامسة T_{630} , T_{615} , T_{600} وهكذا.

ويعطي العزم إلى مستهلك القدرة من الاسطوانة السادسة إلى الأولى ، لذلك فان المسند الثابت الواقع بين الاسطوانة السادسة والخامسة يكون محملاً بالقوة المماسية من الاسطوانة السادسة فقط (الحقل ٣) والمسند الثابت مابين الاسطوانة الخامسة والرابعة (الحقل ٥) ، ومن السادسة والخامسة التي يجب تجميعها (الحقلين ٣ ، ٤).

وبالجمع على التسلسل للقوى المثبتة في الحقول وباعتماد إشارات هذه القوى نحصل على قيمة القوة المماسية المؤثرة على السند الثابت والآخر 0-1.

وإذا ضربنا القوة النوعية المماسية T_{i-1} بمساحة المكبس F_p وبنصف قطر المرفق R نحصل على العزم الكامل للمحرك $R \sum T_{i-1} \cdot F_p$ ، الذي يقدم للمستهلك، العزم التام وهو تابع دوري ، دوره يساوي $\frac{180\tau}{i}$ حيث i - عدد الاسطوانات τ - عدد أشواط المحرك .

وتظهر طبيعة اختلاف العزم الكامل $\sum T_{i-1}$ تبعاً لـ α على الشكل ٣٦ - .



شكل - ٣٦

بعد رسم المنحني $\sum T_{6-1}$ ، تحسب القيمة القوة المماسية النوعية الوسطية T_e الضرورية لاحقاً لحساب الدولاب المعدل . والقيمة الوسطية للعزم ضرورية أيضاً للتحقق من صحة الحسابات الجارية. ولا يجب أن تختلف بأكثر من $\pm 2\%$ من القيمة T'_e المحسوبة بالعلاقة:

$$T'_e = \frac{9555.N_i}{n.R.F_p.\phi}$$

N_i -الاستطاعة البيانية للمحرك الحاصلة بالحساب الحراري .ك. وات.

n - عدد دوران عمود المرفق، دورة/دقيقة.

ϕ - معامل تكوير المخطط البياني المعتمد في الحساب الحراري.

المعامل ϕ يؤخذ بعين الاعتبار في الحالة التي يتم فيها حساب T_e وفق المخطط النظري من دون عملية التكوير.

العزوم على المساند الوسطية تختلف عن العزم الكامل بطبيعة تغيره نسبة لزاوية الدوران، وبقيمته. وعندئذ نحصل على القيمة العظمى للعزم في المحرك متعدد الاسطوانات ليس على المسند الأول ١-٠، بل على أحد المساند الوسطية. عمود المرفق محمل بالقوتين Z, T والعزم $R\sum T$. زوايا دوران عمود المرفق المطابقة للقيم العظمى للقوتين Z, T لا تنطبق مع بعضها ولا مع الزاوية المطابقة للعزم الأكبر.

وتبعاً للقيم Z, T المحصلة $Q = \sqrt{T^2 + Z^2}$ والعزم $R\sum T$ يحدد التأثير الأخطر الناجم عنها على عمود المرفق، وتحدد وضعية المساند الثابتة والمتحركة الأكثر تحميلاً.

نأخذ مثال لحالة معينة أكثر انتشاراً عندما تكون أبعاد المرافق متساوية في العمود، للمرفق الأول، توضع في جدول جاهز وفق النموذج ٣ حالات تأثير الحمولات التي تكون فيه القوى T أو Z أو العزوم $R\sum T$ لها القيمة العظمى .

وإذا اعتبرنا أن الجهد الأعظمي لا يحصل عند وضعية العمود المطابقة للقيمة العظمى للقوة T أو Z بل في وضعية أخرى مثال عند الوضعية المطابقة للقيمة العظمى للمحصلة Q . ويستكمل الجدول بحالات تأثير القوى $T, Z, T, \sum Q$ التي تكون فيها Q أعظمية .

وإذا ظهرت من الجداول الجاهزة وفق النموذج ٢،١ ضرورة للتحقق من حالة أخرى لتأثير القوى والعزم لا يكون فيه أيًا منها له القيمة العظمى فإن حالة التأثير هذه توضع في الجدول كما في الجدول ٣، وتوضع إشارات جميع القوى. بعدها يوضع في الجدول مخطط القوى T, Z, Q والعزم $\sum T$ للمرافق الأخرى.

وبالاستناد على ثلاثة إلى خمسة مخططات (حالات) للتأثير تجري عملية حساب العمود المرفقي على المثانة.

وتبين الدراسات أن القيمة العظمى للقوى المحصلة P_1 يمكن أن تحصل ليس على نظام عمل مستقر بل على نظام عمل انتقالي . لذلك فإنه في بعض الحالات يفضل التحقق من مثانة العمود المرفقي على النظام الانتقالي.

ومن خصوصية موازنة المحرك متعدد الاسطوانات هي أنها يمكن أن تحصل ليس فقط، القوى الطاردة المركزية غير المتوازنة ، وقوى العطالة للجملة الترددية، بل عزومها أيضاً.

ولموازنة قوى العطالة وعزومها في المحرك متعدد الاسطوانات من الضروري أن تكون محصلة قوى العطالة المؤثرة في المستويات المارة عبر محور العمود المرفقي ومحصلة عزوم هذه القوى نسبة لمحور ما ، مساوية للصفر وعندئذ يكون:

$$\sum p_{J2} = \sum_1^i \lambda K_J \cos 2\alpha_n = 0 \quad , \quad \sum p_{J1} = \sum_1^i K_J \cos \alpha_n = 0$$

$$\sum C = \sum_1^i K_C = 0$$

$$\sum T_{J2} = \sum_1^i K_J \cos 2\alpha_n . L_o = 0 \quad , \quad \sum T_{J1} = \sum_1^i K_J \cos \alpha_n . L_o = 0$$

$$\sum T_C = \sum_1^i K_C . L_o = 0$$

حيث L_o -المسافة بين محاور الاسطوانات $\alpha_n = \alpha + \delta_n$ الزاوية بين مرفق الاسطوانة الأولى والاسطوانة n . وفق اتجاه دوران عمود المرفق .

عند تصميم المحرك يتم العمل على أن يكون مجموع القوى المؤثرة ومجموع العزوم الحاصلة مساوياً للصفر ، وذلك باختيار مخطط معين لتوضع مرافق الاسطوانات .

وإذا لم يتحقق ذلك تتم موازنة المحرك بمساعدة تجهيزات إضافية . ولتأمين الموازنة التامة للمحرك يتطلب الأمر تعقيد كبير للتصميم وهذا لا يحصل عملياً ويبقى المحرك غير متوازن جزئياً .

وقيم القوى والعزوم غير القابلة للموازنة مع قيم العزم المعاكس للمحرك هي معطيات أولية ضرورية لحساب الاهتزازات التي يتعرض لها المكان الذي يركب عليه المحرك ، واهتزاز المحرك ذاته عندما يركب على مساند مرنة .

والقيم العظمى لقوة العطالة والعزوم غير المتوازنة تظهر على الجدول ٩ . وتعتبر المحركات ذات الاسطوانات الستة والثمانية والعشرة والاثنى عشرة متوازنة.

وفي المحرك رباعي الاسطوانات ، القوى غير المتوازنة هي قوى العطالة العمودية من الدرجة الثانية P_{j2} .

في المحركات ثنائية الأشواط ذات التسلسل المنتظم لعمل الاسطوانات ، تكون قوة العطالة مساوية للصفر عندما يكون عدد الاسطوانات أكبر من اثنين . ويمكن موازنة عزوم قوى العطالة بالكامل عند العدد ١٢ للاسطوانات .

ولتحسين توازن المحركات وحيدة، ثنائية، ثلاثية الاسطوانات وبغض النظر عن عدد الأشواط، وأيضاً المحركات ثنائية الأشواط رباعية الاسطوانات تزود هذه المحركات بالكتل المعاكسة.

قوى العطالة من الدرجة الأولى والثانية في المحركات كثيرة الأسطوانات توازن بواسطة الكتل المعاكسة المركبة على أعمدة إضافية كما في المحرك وحيد الاسطوانة.

ولموازنة العزم الناتج عن قوى العطالة من الدرجة الأولى من الضروري وضع زوجين من الكتل على عموديين في كل طرف من المحرك (متناظرين نسبة لمحور العمودين). وتدور المحاور باتجاهات مختلفة بالسرعة الزاوية W للعمود المرفقي.

عند موازنة عزم قوى العطالة من الدرجة الثانية توضع كتل مشابهة على طرفي المحرك على عمودين يدوران بسرعة مضاعفة . لكن عند موازنة العزوم ، يجب وضع الكتل المعاكسة في الجهتين المختلفتين عن محور دوران عمود الكتل .

ندرس مثال موازنة محرك رباعي الأسطوانات بصف واحد وفيه تعمل الأسطوانات بالترتيب التالي ١-٣-٤-٢ . شكل-٣٧.

في هذه الحالة: $\sum C = 0$, $\sum P_{j1} = 0$, $\sum P_{j2} = 4\lambda.K_j.\cos 2\alpha$, مجموع العزوم نسبة للمحور 0-y:

$$\sum T_{j2} = 0 , \sum T_{j1} = 0 , \sum T_c = 0$$

وبذلك تبقى محصلة قوى العطالة من الدرجة الثانية $\sum P_{j2}$ حرة تحتاج إلى موازنة. وتبلغ قيمتها العظمى عندما تساوي $0=\infty, 180, 360$ درجة.

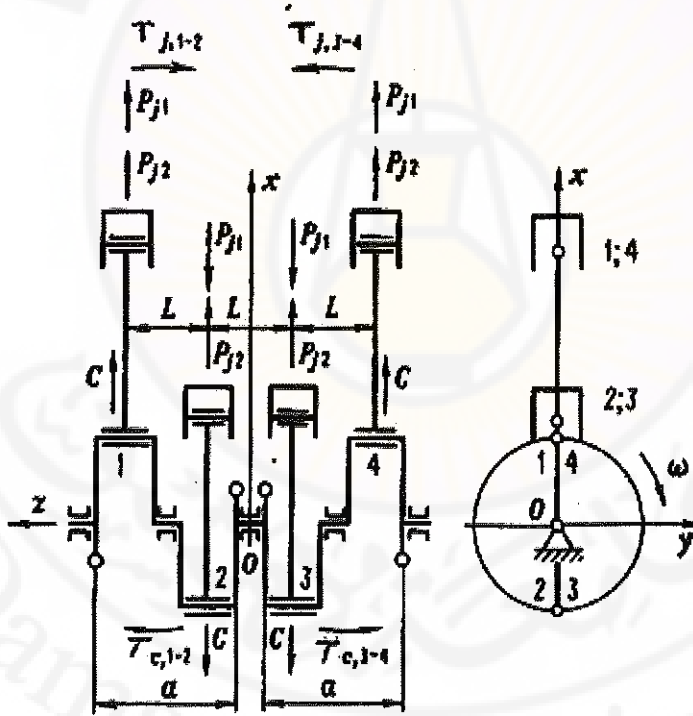
هذه القوة يمكن موازنتها باستخدام الكتل المركبة على عمودين يدوران بسرعة مضاعفة للسرعة الزاوية (انظر شكل - ٣٣) .

وتساوي الكتلة المعاكسة في هذه الحالة:

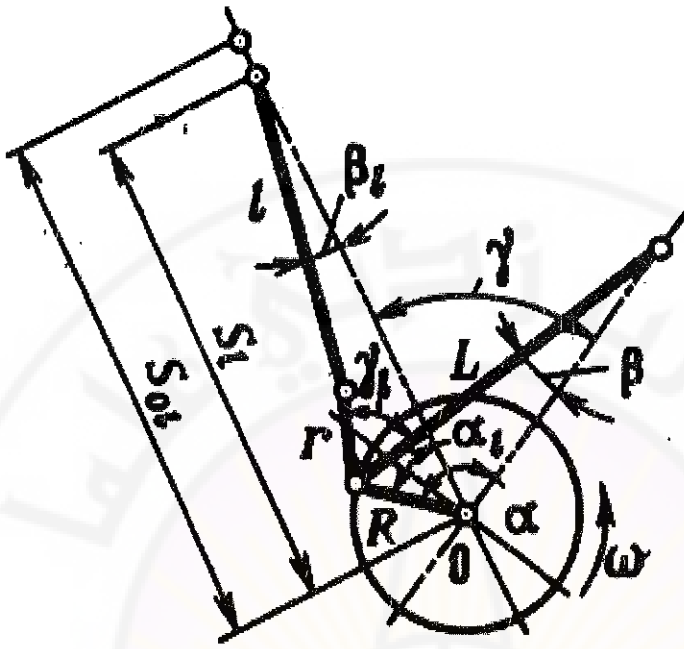
$$M_n = \frac{\lambda \cdot m_n \cdot R \cdot F_n}{4 \cdot r_n}$$

لكن القوة $\sum P_{j2}$ ليست كبيرة بقيمتها، والترتيبات المتخذة تعقد تصميم المحرك كثيراً وهي لا تستخدم عادة.

لذلك تبقى هذه القوة حرة وتحملها قاعدة المحرك.



شكل - ٣٧



شكل - ٣٨

عندما تساوي محصلة العزوم الخارجية لقوى العطالة للصفر ، تؤثر في المحرك عزوم داخلية $T_{C_{3-4}}, T_{C_{1-2}}, T_{3-4}, T_{1-2}$ وتعمل على حني العمود وتزداد الحمولة على المدرجات ، لذلك فان العزوم $T_{C_{3-4}}, T_{C_{1-2}}$ توازن عادة بمساعدة الكتل المعاكسة شكل - ٣٧ وفي هذه الحالة تحسب الكتلة المعاكسة من المعادلة:

$$M_n = \frac{m_B \cdot R \cdot L_o \cdot F_n}{r_n \cdot a}$$

والعزوم TJ_{3-4}, TJ_{1-2} تبقى عادة دون موازنة .

-حركة الجملة الترددية للمحرك شكل حرف V:

تقسم المحركات التي توضع اسطواناتها على شكل حرف V إلى ثلاثة (مجموعات) أنواع تبعاً لطريقة ارتباط السواعد بالمساند المتحركة :

- المحركات التي يكون فيها ساعد رئيسي وآخر ملحق (ثانوي).
- المحركات التي تكون فيها سواعد مركزية وأخرى شوكية.
- المحركات ذات السواعد الموحدة وتتوضع بجوار بعضها على المسند المتحرك الواحد .

التصميم الأول يتميز بخصوصية معينة للجملة الترددية. وحركة وتحريك الجملة الترددية لكل صف من الأسطوانات في النوعين الأخيرين من المحركات هي كما في حالة المحرك ذو الصف الواحد للأسطوانات.

والاختلاف هو في ظروف تحميل العمود المرفقي ، ففي المحركات ذات الساعد الشوكي والمركزي هي أيضاً نفس ظروف تحميل مدارج المساند المتحركة .

لذلك نرى خصوصية في تحريك الجملة الترددية (المرفق -- الساعد) ذات الساعد الملحق ، وفي حساب القوى المؤثرة في الجملة .

في هذه الجملة الترددية شكل-٣٨ تكون سواعد الصف الواحد مرتبطة مفصلياً مباشرة مع مسند المرفق . هذه السواعد والأسطوانات المطابقة لها تسمى أساسية . وسواعد الصف الآخر للأسطوانات ترتبط مفصلياً مع السواعد الرئيسية بواسطة أصابع خاصة متوضعة على رأس مرفق الساعد الأساسي، وهذه السواعد تسمى ملحقة (فرعية) والأسطوانات المطابقة تسمى -جانبية.

وفي الحالة التي لا تتساوى فيها الزاوية γ الواقعة بين محاور الأسطوانات والزاوية γ_1 الواقعة بين محور الساعد الرئيسي والخط المستقيم الذي يربط

مركز مسند الساعد مع مركز أصبع الساعد الملحق. يكون انزياح المكبس في الأسطوانة الجانبية مساوياً مايلي :

$$S_{x\ell} = S_{o\ell} - S_{\ell} = S_{o\ell} - [R \cos \alpha_1 + r \cos (\beta - \psi) + \ell \cos \beta_1]$$

حيث $S_{o\ell}$ - المسافة بين محور عمود المرفق وبين محور أصبع المكبس عندما يكون المكبس في ن.م.ع.

α_1 - زاوية دوران المرفق من محور الاسطوانة الجانبية

ℓ - طول الساعد الملحق .

r - المسافة بين محور أصبع الساعد الملحق إلى محور رأس الساعد الرئيسي .

$$\alpha = \alpha_1 + \gamma , \quad \psi = \gamma_1 - \gamma$$

الفصل الثالث

الوقود الغازي والوقود غير النفطى

في محركات الاحتراق الداخلى

مقدمة:

وفق التقديرات العالمية المتعددة فإن الاحتياط العالمى من النفط يمكن أن يكفى لفترة من الزمن لا تزيد عن ستين عاماً، عند المستوى الحالى للاستهلاك. ولذلك فإن عملية البحث عن وقود للمحركات من مصادر غير نفطية أصبحت مسألة ذات أبعاد عالمية.

ونرى حالياً جميع الدول المتطورة صناعياً مهتمة بالبحث عن أساليب يمكن بواسطتها عن طريق تخفيض الاستهلاك النوعى وزيادة الفعالية الأعلى، حل مسألة تأمين وقود لمحركات السيارات فى المستقبل القريب.

ومن بين الخيارات المختلفة للوقود ينظر إلى الوقود الحيوى (المصادر النباتية) المستخرج من نبات الشلجم وعباد الشمس وغيرها. ومن المصادر الأخرى كالكحول، الاتيلين، الميتلين وثنائى ميتلين التى تستخرج من الكتلة الحيوية.

ومن الخيارات الأساسية لوقود المحركات، الغاز المميع (البروبان - البوتان) الذى يتميز عن الغاز الطبيعى بانخفاض كتلة وكلفة الاسطوانات المستخدمة لتخزين الوقود على متن السيارات.

وحيث أنه فى كل الحالات يتم تخزين الغاز الطبيعى عند الضغط المرتفع حتى ٢٠٠ بار (٢٠ ميغا باسكال) والغاز المسال عند الضغط ١٦ بار. ويمكن تخزين الغاز الطبيعى على السيارات بشكل سائل، لكن عندئذ يصبح تصميم

الخصائص معقدًا وكلفتها عالية. لأن الغاز الطبيعي المسال يختزن عند الحرارة المنخفضة جداً (-١٧٢ درجة مئوية).

وفي الجدول التالي تظهر كميات المركبات المختلفة الناتجة عن احتراق ١ كغ من الوقود والنسب المئوية للغازات ثلاثية الذرات (ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء) في نواتج الاحتراق الحسابية للخلائط المتجانسة والمتوازنة في المحركات.

نواتج الاحتراق								
الوقود	CO ₂	H ₂ O	+ H ₂ O CO ₂	N ₂	Σ	CO ₂ %	H ₂ O%	%الغازات ثلاثية الذرات
وقود الديزل	٣,١٩	١,١٣٤	٤,٣٢٤	١١,٢٥	١٥,٤٥	٢٠,٦٥	٧,٣٥	٢٨
البنزين	٣,١٣	١,٣٠	٤,٤٤	١١,١٥	١٥,٩٦	١٩,٠٤	٨,١٦	٢٧,٨
البروبان	٢,٩٩	١,٦٤	٤,٦٤	١٢,١٦	١٦,٨	١٧,٨	٩,٨	٢٧,٦
بوتان + ايزوبوتان	٣,٠٣	١,٥٥	٤,٥٨	١٢,٠١	١٦,٦	١٨,٢٠	٩,٤	٢٧,٦
ميثان	٢,٧٥	٢,٢٥	٥	١٣,٤	١٨,٤	١٤,٩٥	١٢,٢٥	٢٧,٢
ميثانول	١,٣٧	١,١٢	٢,٥	٥,٠٢	٧,٥٢	١٨,٣	١٤,٩	٣٣,٢
إيثانول	١,٩١	١,١٧	٣,٠٨	٦,٩٧	١٠,٠٦	١٩	١١,٦٥	٣٠,٦٥
دي-ميثل-الاثير	=	=	=	=	=	=	=	=
وقود- نباتي من	٢,٨٢	١,٠٨	٣,٩	٩,٧٢	١٣,٦٢	٢٠,٧	٧,٩٣	٢٨,٦٠
زيت الشلجم	.	.	.	.	.	.	.	.
الهيدروجين	.	.	٩	٢٦,٧٨	٣٥,٧٨	.	٢٥,١٥	٢٥,١٥

مع العلم أن الحرارة النوعية لاحتراق المزيج المتجانس للأنواع المختلفة من الوقود تختلف بنسبة قليلة جداً بالمقارنة مع الحرارة النوعية للاحتراق.

إذا أن الفرق الأعلى للحرارة النوعية لاحتراق الوقود نسبة إلى القيمة الوسطية يساوي ٧١,٩ % والفرق الأعلى للحرارة النوعية للخلائط المتجانسة نسبة إلى المزج الداخلي تساوي ١٨ % فقط .

وهذا مرتبط بالدرجة الأولى بوجود الأوكسجين في بعض أنواع الوقود، وهو يشارك في تفاعلات الأكسدة، وبفضل ذلك يكون بعض أنواع الوقود (ميثانول، إيثانول) أقل حاجة للهواء.

والسبب الآخر هو زيادة الحرارة النوعية للاحتراق بسبب زيادة نسبة الهيدروجين الذي يرافقه زيادة في ℓ_0 .

ويجب التأكيد على أفكار هامة عند تقدير المؤشرات النوعية للاستطاعة الخاصة بالمحركات على أنواع مختلفة من الوقود. درجة الحرارة الدنيا للاشتعال الذاتي ورقم السيتان الأعلى تخص أثير - دي - ميثل ، ودرجة الحرارة العظمى للاشتعال الذاتي يتميز بها الغاز الطبيعي. لذلك فإن أثير - دي - ميثل من الطبيعي أن يستخدم في محركات الديزل.

والغاز الطبيعي - في محركات الشرارة الكهربائية. وهذا مناسب للوقود المنخفض السيتان (الكحول - البروبان - بوتان) لأن استخدامها يتطلب حلول معينة معقدة في محركات الديزل.

وهناك ملاحظة أخرى وهي أنه للغاز الطبيعي مجال ضيق للانفجار.

نسبة الكمية (ذات الخطورة العظمى) من الوقود في الهواء إلى الكمية ذات الخطورة الدنيا تساوي ٣ .

وللأنواع الأخرى من الوقود ومنها خلاط البروبان - البوتان هذه النسبة تكون أكبر.

الغاز الطبيعي يمتلك القيم الدنيا لكل من الكتلة الجزيئية μ والكثافة ρ ، مع العلم أن قيم هذه العوامل هي أقل مما في الهواء.

تقدر هذه المواصفات من خلال الخطورة المنخفضة للانفجار لدى الغاز الطبيعي بالمقارنة مع الغاز المسال (بروبان - بوتان) وحتى مع البنزين.

ومسألة انفجار الاسطوانات المستخدمة لتخزين الغاز الطبيعي، تعالج باستخدام اسطوانات ذات تركيب معين.

والمعامل الأعلى يخص الميثانول. وهذا مرتبط بالنسبة الكبيرة للأكسجين في الميثانول الذي يتحول عند الاحتراق إلى الحالة الغازية.

ويأتي الايثانول بعد الميثانول مباشرة بقيمة μ_o ودي - ميثل - الأثير.

والقيم العظمى لـ μ_o في نفس الظروف يمكن أن تؤمن الحصول على قيم كبرى للضغط الوسطي الفعلي للدورة الحرارية.

وفي الجدول السابق نرى أن الكمية الأكبر للغازات ثلاثية الذرات تخص وقود الميثانول، الايثانول، دي- ميثل - الأثير.

وهذا يؤثر على السعة الحرارية لنواتج الاحتراق. والكميات الكبرى من الغازات ثلاثية الذرات تؤثر سلباً على اقتصادية وفاعلية الدورات الحرارية.

وعند احتراق الهيدروجين لا يتشكل ثاني أكسيد الكربون.

ونسبة للأنواع الأخرى للوقود: النسبة الدنيا لثاني أكسيد الكربون تحصل عند

احتراق الغاز الطبيعي.

وبالمقارنة مع نواتج احتراق وقود الديزل فإن نسبة CO_2 في نواتج احتراق

الغاز الطبيعي أقل بنسبة ٢٨% وهذا يعد أهم الموصفات الايجابية للغاز الطبيعي.

ومن الخواص الحرارية الفيزيائية السابقة ينتج لدينا أنه من المفضل استخدام

أنواع الوقود المختلفة كما يلي:

-الغاز الطبيعي - في محركات الاشتعال الكهربائي.

- دي ميثل الأثير - في محركات الديزل.

- الكحول - في المحركات ذات الاشتعال الكهربائي وفي الديزل.

١. استخدام الوقود ذات المنشأ النباتي:

من الوقود ذات المنشأ النباتي: الوقود المستخرج من نبات الشلجم ونبات فول الصويا، ومن زيت النخيل ومن عباد الشمس.

ومن الأمثلة على الوقود النباتي المنشأ نذكر مثيل - أثير زيت الشلجم .
في البلدان ذات المناخ المعتدل يمكن الحصول من هكتار واحد من نبات الشلجم على ١٠٠٠ كغ من أثير المثيل.

ويمتلك الكحول الميثيلي المستخرج من زيت الشلجم على حرارة نوعية أقل من وقود الديزل بسبب وجود الأكسجين في تركيبه.

وبسبب مشاركة الأكسجين في عمليات الأكسدة فإن الحرارة النوعية لمزيج هذا الوقود مع الهواء هي قريبة من الحرارة النوعية لوقود الديزل.
ولا يختلف كثيراً معامل التغير الجزئي النظري عند المزج الداخلي بين هذين النوعين من الوقود.

وهناك تقارب بين الخواص الأخرى للوقود كعدد السيتان الذي يساوي ٤٨ - ٥٦ والكثافة التي تساوي ٠,٨٨٢ كغ/لتر واللزوجة الحركية ٦,٥ - ٨ مم^٢/ثانية عند الحرارة ٢٠ .

ويختلف التركيب الطوري، ففي أثير الميثيل يزداد حضور الأطوار الثقيلة نسبياً التي تغلي في المجال الحراري ٣٣٠ - ٣٥٤ مئوية. هذا الوقود يحتوي على كميات غير كبيرة في الميثان والغليسرين، (أقل من ١%) والفوسفور أقل من ٠,٠٠٥ % .

وتحتوي نواتج الاحتراق على غازات ثلاثية الذرات وبخار الماء بالنسبة المئوية في كتلتها على كمية أكبر قليلاً مما في حالة وقود الديزل.
ويظهر في الجدول التالي نتائج التحليل الحسابي للدورات الحرارية ، عند استخدام وقود الديزل وأثير الميثيل لزيت نبات الشلجم.

نوع الوقود	θ_o	∞_T وات/م ^٢	Tpk	Q _w	Q _e	P _z	$\frac{dp}{d\phi}$	T _{max}	Pj	η_i
الديزل	٧	٣٧٢	١١٩٧	٤٢٤	٢٥٢٦	٧٤٢٤	٠٤٥٩	٢٠١٥	٠٤٨٨	٠٤٤٧
اثيرميثل زيت الشلجم	٧	٣٧٢	١١٨٧	٤١٩	٢٥٠٨	٧٤٢	٠٤٥٩	١٩٩٦	٠٤٨٧	٠٤٤٧

θ_o - تسببق الاشتعال قبل ن.م.ع.

∞_T -معامل إعطاء الحرارة الوسطي.

T_p - درجة حرارة جسم التشغيل.

Q_w - كمية الحرارة المفقودة في وسط التبريد.

Q_e - كمية الحرارة المنبعثة في الاسطوانة من عملية الاحتراق.

ومن الحسابات يتضح أنه عند التنظيم الجيد لعمليات المزج والانبعث الحراري، يمكن الحصول على مؤشرات لاتقل عن مؤشرات وقود الديزل عند استخدام اثير الميثل.

وهذا تحقق عملياً. لكن يمكن ملاحظة انخفاض جودة الإقلاع في الظروف الباردة بسبب ارتفاع حرارة غليان الأطوار الثقيلة في تركيب اثير الميثل، وزيادة نسبة المواد المترسبة على أجزاء المحرك.

٢ . الكحول:

نسبة الغازات ثلاثية الذرات وحرارة التبخر عند استخدام الميثانول هي أعلى بالمقارنة مع الأنواع التقليدية للوقود. وهذا ما يؤثر سلباً على مؤشرات المحرك،

لكن عندئذ يكون معامل التغير الجزيئي النظري أعلى وهذا له تأثير ايجابي على المؤشرات.

ويبين الجدول التالي نتائج التحليل الحسابي لدورات ديزل رباعي الأشواط $S/D = \frac{120}{120}$ غير مشحون عند الدوران $n=2200$ وعند استخدام

وقود الديزل و الميثانول بالكمية الموحدة للطاقة المعطاة، وعند احتساب مفايد الحرارة على تبخر الوقود، بافتراض أن الوقود يتبخر خلال عملية الاحتراق.

يجب التنويه أنه عند الكمية الواحدة للطاقة (الحرارة) المعطاة، يصبح معامل فائض الهواء في حالة وقود الديزل أعلى بنسبة ٣,٥ %.

ولإظهار تأثير الفر وقات المذكورة في مواصفات الوقود على مؤشرات الدورات الحرارية اعتمدت طبيعة الانبعاث الحراري واحدة في الحالتين.

ولذلك ظهرت الزاوية المثلثية لتسبيق الاشتعال متساوية.

الجدول:

الوقود	θ_o	∞_T وات/م ^٢	$T_R K$	Q_w جول	P_2 م. باسكال/درجة	$\frac{dp}{d\phi}$ م. باسكال/درجة	T_{max} K	P_1 م. باسكال/درجة	η_i
وقود الديزل	٦	368	1184.4	414	7.053	0.58	2023.6	0.8807	0.472
الميثانول	٦	373	1111.8	386	1.٠٥7.	0.58	1896	0.8622	0.4621

عند تحليل نتائج الحساب يجب اعتبار انه في حالة استخدام الميثانول، في عملية الاحتراق يضاف إلى الشحنة كمية أكبر من النواتج لأنه لكي تتحقق المساواة في كمية الحرارة المعطاة فإن كتلة الميثانول المحترقة والكمية المضافة

أكبر بمقدار ٢،٣ مرة تقريباً من كتلة وقود الديزل المحترقة ومن الكمية المضافة إلى الشحنة.

وهذا بالذات يفسر زيادة السعة الحرارية لنواتج الاحتراق (بسبب زيادة نسبة الغازات ثلاثية الذرات لا سيما بخار الماء) وزيادة حرارة التبخر تفسر بإنخفاض حرارة الشحنة بشكل كبير عند استخدام الميثانول. وعند احتراق الميثانول يزداد الثابت الغازي. لكن هذا له تأثير من خلال قيم الحرارة المتدنية. والحد الآمن لمعادلة الحالة عند احتراق الميثانول له قيمة أدنى ولذلك عند القيم الموحدة لحجم الشحنة في الاسطوانة ينخفض الضغط خلال عملية التمدد، وهذا هو سبب انخفاض العمل خلال التمدد، وكذلك العمل في الدورة الحرارية والمردود أيضاً. لكن الاختلاف في P_i و η_i لا يزيد عن ٢%.

وفي النهاية يمكن القول أن الاختلافات المذكورة في مواصفات الوقود ليست في صالح الميثانول . لكن عند تنظيم عمليات الانبعاث الحراري المتقاربة بالفترة الزمنية وبطبيعتها، يمكن أن تصبح المؤشرات البيانية لكلا النوعين من الوقود متساوية عملياً.

ويدعم هذا، التوتر السطحي المنخفض والتبخر الكبير للميثانول بالمقارنة مع وقود الديزل، وثبت ذلك عملياً في عدة اختبارات لاستخدام الميثانول في حالة المزج الداخلي في المحركات.

وفي حالة المزج الخارجي وباحتساب الطاقة الحرارية الكبيرة لتبخر الميثانول يستخدم مبخر يتم التحكم به باستخدام حرارة سائل التبريد للتبخر حيث يدخل في الاسطوانات مزيج غازي مشتعل بواسطة الشرارة.

وبما أن الكتلة الجزيئية للميثانول أقل بـ ٣،٥ مرة من البنزين فإنه عند المزج الخارجي يكون معامل الجودة الحجمية (امتلاء الاسطوانات) عند

استخدام الميثانول منخفض قليلاً. لكن هذا يمكن موازنته بزيادة نسبة الانضغاط بإعتبار أن رقم الأكتان مرتفع لدى الميثانول.

استخدام الكحول وخاصة الميثانول في محركات الديزل يتطلب إجراءات خاصة لتأمين إشعال الوقود الذي يمتلك رقم سيتان مساو 3-5 ويتم الإشعال إما بمساعدة عينة (شحنة محدودة) من وقود الديزل أو بمساعدة الشرارة. وفي الحالة الأولى يمكن استخدام نظام وقود مؤلف من مضختين (مضخة للميثانول مخصصة لإعطاء عينات كبيرة الحجم من الوقود المتميز بالحرارة النوعية المنخفضة للاحتراق) تعطيان الوقود للاسطوانة من خلال بخاخات ذات تصميم خاص. في هذه الحالة يستحضر مستحلب نوعي للوقود مباشرة في البخاخ أو في أنبوب الوقود ذو الحجوم الحرة المتبقية. وتستخدم أيضاً تجهيزات خاصة للحصول على مستحلبات غير مستقرة حيث تستخدم في عملية الحقن من خلال مضخة واحدة.

والميثانول لا ينحل عملياً في وقود الديزل، وللحصول على مستحلب مستقر يلزم استخدام أجهزة استحلاب عالية الكلفة بكميات كبيرة.

وعند الإشعال بالشرارة تستخدم شمعات خاصة تدخل في حفرة المكبس عندما يقترب من ن.م.ع. ويحصل المزج بالقرب من جدران الاسطوانة. والمزيج الحاصل وبحركة موجهة للشحنة يتقدم باتجاه الشمعة التي تعطي الشرارة وفق الزمن المحسوب.

وعندئذ تستخدم نظم إشعال متعددة الشرارة تكون البؤرة القوية المتولدة قادرة على إحراق كامل المزيج المضطرب.

الميثانول الذي يتمتع برقم سيتان منخفض أي له ميل منخفض للاشتعال الذاتي الحجمي ، وفي نفس الوقت يميل إلى الاشتعال بالتسخين، تدخل شمعة

الإحماء في حجرة الاحتراق ويوجه إليها مخروط من الوقود المحقون في الحجرة.

ويشتعل مزيج الوقود بالهواء من سطح الحلزون الحامي وينتسبب بالاشتعال اللاحق للمزيج بكامله. وبعد برهة معينة من العمل، يرفع الجهد الكهربائي عن الشمعة الساخنة وخاصة عند الحملات المرتفعة لأنه عند الاختيار الصحيح للتصميم الجيد والإدخال الجيد للحلزون في الحجرة، يبقى حامياً بفضل الحرارة المنقولة إليه من المزيج الساخن. ويجب التنويه أن اللزوجة المنخفضة للميتانول تحتاج إلى إضافة كميات بسيطة من زيت الخروج بنسبة ١-٢ % لمنع التآكل الزائد لتجهيزات نظام التغذية.

وأيضاً في نظام تغذية الميتانول وبسبب الخوف من خطورة الصدا الكهربائي يمنع استخدام أزواج المعادن (مثال الومنيوم - فولاذ ، الومنيوم - نيكل ، توتياء- نيكل). ويفضل استبعاد الخلائط التي تحتوي على المنغنيزيوم، الرصاص ، الكاديوم والتوتياء.

ومن المفضل استعمال الفولاذ لتصنيع الأجزاء الرئيسية لنظام التغذية، أو استخدام الالومنيوم وخلاتطة (وحظر استخدام الفولاذ والالومنيوم معاً في مكان واحد).

وللأجزاء الصغيرة يمكن استخدام النحاس وخلاتطه. والتأكيد على استخدام النحاس مرتبط بقدرة التحفيز من قبله على أكسدة الوقود ويمكن استخدام الفولاذ الذي لا يصدا والذي يحتوي على الكروم والنيكل.

ومن ميزات الكحول وإيجابيتها الإضافية هي:

- انخفاض انبعاث الجزيئات الصلبة عند استخدام الكحول. بسبب وجود الأكسجين في تركيب الكحول وانخفاض لزوجيتها والتوتر السطحي فيها. وزيادة درجة التبخر.

- انخفاض نسبة المواد المترسبة على الأجزاء المختلفة.

٣ . استخدام ثنائي ميثل الأثير:

يحتل ثنائي ميثل الأثير مكاناً وسطياً بين وقود الديزل والميتانول بنسبة الغازات ثلاثية الذرات، ومعامل التغير الحجمي النظري وحرارة التبخر. وببين الجدول التالي نتائج حساب الدورات الحرارية لديزل رباعي الاشواط طراز $\frac{S}{D} = \frac{120}{120}$ غير مشحون عند الدوران $n=2200$ ، وعندما تعطي طاقة حرارية واحدة لكلا النوعين من الوقود. وعندما نأخذ بعين الاعتبار فقدان الحرارة على التبخر باعتباره يحدث عند عملية الاحتراق، وتعتبر مدة الانبعاث الحراري وطبيعته واحدة. ولا تدخل هنا مؤشرات التبادل الغازي، لأنها ثابتة عملياً عند تغير نوع الوقود

الجدول:

نوع الوقود	θ_o	∞_T	T_p	Q_w	Q_c	P_2	$\frac{dp}{d\phi}$	T_{max}	P_1	η_i
ديزل	٦	٣٦٨	١١٨٤	٤١٤	٢٥٣٢	٧,٠٥٣	٠,٥٨	٢٠٢٥	٠,٨٨٠	٠,٤٧
ثنائي ميثل الأثير	٦	٣٧١	١١٥١	٤٠١	٢٥٣٢	٧,٠٥٤	٠,٥٨	١٩٦٥	٠,٨٧٢	٠,٤٦

بمقارنة المعطيات في الجدول مع الجدول السابق نرى أن الفروق بين المؤشرات مرتبطة بالموصفات المذكورة للوقود ، لكن هذه الفروقات ضئيلة كما هي في مواصفات الوقود.

والفروق بين P_i و η_i أقل من ١ %.

وبناء على هذه المعطيات يمكن النظر إلى هذا الوقود كحل للمسائل المتعلقة بعمل الديزل وهي:

١- انعدام الدخان جذرياً في الغازات العادمة بسبب وجود الأكسجين في الوقود.

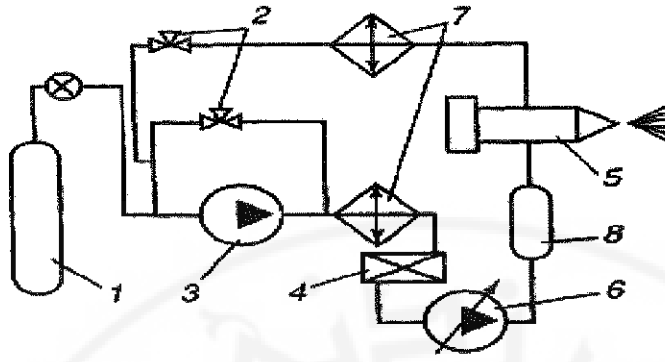
٢- انخفاض اصدار أكاسيد الأزوت بسبب زيادة عدد السيتان. وانخفاض فترة تأخير الاشتعال. (كل هذا عند اختيار حجرة الاحتراق، مؤشرات الحقن والتذير وشدة اضطراب الشحنة).

٣ - انعدام التلوث السمعي والضجيج الناجم عن عملية الاحتراق وتحقيق مواصفات إقلاع جيدة وانخفاض المواد المترسبة على أجزاء المحرك. وعند استخدام ثنائي ميثيل الاثير يحافظ الديزل على مميزاته:

- الاقتصادية العالية.
- الاحتراق بطريقة الضغط.
- التحكم الجيد.
- الوثوقية الجيدة والعمر الزمني الطويل.

يتطلب هذا الوقود خزانات خاصة للحفظ مشابهة كما في حالة الغاز المسيل (يساوي ضغط أبخرة ثنائي ميثيل الاثير خمسة بار عند الحرارة عشرين درجة مئوية).

يحتاج هذا الوقود إلى نظام تغذية خاص شكل -٣٩ وهو لا يتصل بالهواء الجوي بسبب انخفاض حرارة التبخر.



شكل - ٣٩

٤ - الوقود الغازي:

١,٤ - استخدام الغاز الطبيعي:

ما زال استخدام المحركات الغازية في الحالة الراهنة محدوداً ومآزات المحركات العاملة بالوقود السائل هي السائدة. وتذهب عملية التطوير لتحسين اقتصاديتها وتنويع قدراتها.

وتجري عمليات محدودة لتحويل محركات الوقود السائل إلى الوقود الغازي ولا تتم الاستفادة بشكل تام من ميزات الأكتان المرتفع للغاز الطبيعي في المحركات المستخدمة على السيارات الخفيفة. ويرافق عمليات التحويل المذكورة انخفاض في استطاعة المحركات.

يبين الجدول التالي بعض نتائج العمليات الحاسوبية لعوامل ومؤشرات الدورات الحرارية في بعض المحركات البنزينية والغازية، في حالات إعطاء الوقود بالنظام المركزي وبالنظام الموزع.

وبين الجدول أن قيم مردود الدورة الحرارية للمحرك البنزيني والغازي متقاربة وخاصة عندما تتساوى درجة حرارة الشحنة الواردة إلى الاسطوانات، بغض النظر عن بعض الاختلافات في تركيب مركب التشغيل.

انخفاض المردود في حالة الغاز لا يزيد عن ١%، وانخفاض الضغط الوسطي للدورة الحرارية أكبر بكثير ويقارب من ٩,٥ - ١٠% عند المقارنة مع المحرك البنزيني الذي يعطي البنزين فيه بطريقة التوزيع.

انخفاض الضغط الفعلي الوسطي أعلى بسبب انخفاض المردود الميكانيكي . وإذا اعتبرنا الضغط الوسطي للمفايد الميكانيكية على النظام الاسمي ٢٥% من الضغط الوسطي لدورة محرك البنزين P_{ib} فإن معادلة المردود الميكانيكي للمحرك الغازي هي كما يلي:

$$\eta_M = 1 - \frac{0,25.P_{ib}}{A.P_{ib}} = 1 - \frac{0,25}{0,9047} = 0,724$$

حيث A - نسبة الضغط في دورة المحرك الغازي إلى P_i في المحرك البنزيني.

عندها يكون الضغط الوسطي الفعلي الحسابي للمحرك البنزيني ٠,٨٨١ م . باسكال. وللغازي ٠,٧٦٩ م . باسكال.

لذلك فإن انخفاض استطاعة المحرك الغازي يمكن أن يصل إلى ١٢,٧% . ويرتبط انخفاض الاستطاعة بما يلي:

- بانخفاض كمية الهواء في الاسطوانات بسبب زيادة حجم الغاز في الشحنة بالمقارنة مع حجم البنزين فيها. وتبين الحسابات أن انخفاض الهواء في المحرك الغازي عند النظام الاسمي يساوي ١١,٢% بالمقارنة مع الهواء الوارد إلى اسطوانات محرك البنزين (عند الحقن المركزي للبنزين).

الجدول:

غاز/ تغذية مركزية	بنزين/ حقن موزع	غاز/ تغذية مركزية	بنزين/ حقن موزع	مؤشرات وعوامل الدورة الحرارية
٥٦٠٠	٥٦٠٠	٤٥٠٠	٤٥٠٠	n د/د
١	١	١	١	∞
٠,٠٩٧	٠,٠٩٧	٠,٠٩٧	٠,٠٩٧	P_s م. باسكال
٣٠٥	٣٠٥	٣١٠	٣١٠	$K.T_s$
١١٩٦	١٣١٤	١١٩٠	١٣١٦	Q_b . جول
١٤٥	١٤٤	١٤٩	١٥٣	Q_w . جول
١,٠٦٣	١,١٧٥	١,٠٣٦	١,١٥١	P_i م. باسكال
٠,٣٦٧	٠,٣٦٩	٠,٣٦٩	٠,٣٧١	η_i
١٤٣٩	١٤١٨	١٣٨٣	١٣٨٣	$K T_p$
١١٤٣	١١٦٦	١١٢٢	١١٣٧	$K T_e$
٥٣١	٥٤٠	٤٥١	٤٦٤	$\infty_{T.e}$ وات/م ^٢ K.
٧٦٢٦٧٠	٧٦٥٧٢٠	٦٢٣٧٣٣	٦٤١٧١٢	$T_p \propto T_e$
				وات/م ^٢
٠,٨٤٩	٠,٨٤٥	٠,٨٤٤	٠,٨٤٧	η_v

- بانخفاض الحرارة النوعية للاحتراق قليلاً لمزيج الغاز بالهواء (بحدود ٢%) عندما يحتوي الغاز على ٩٩% من الميثان).
- بانخفاض مردود الدورة قليلاً بسبب وجود بخار الماء في غازات العادم. (له سعة حرارية مرتفعة).
- بانخفاض المردود الميكانيكي بسبب انخفاض قيمة الضغط الوسطي للدورة الحرارية.

لذلك ولتجاوز انخفاض الاستطاعة في حالة الغاز الطبيعي من الضروري استخدام نسبة انضغاط أعلى واستخدام المزج الداخلي. ويمكن أيضاً استخدام الشحن القسري ومحاولة تحقيق إمكانية عمل المحرك على الخلائط الفقيرة.

هذه الحلول هي اقتصادية وخاصة عند زيادة الطلب على المحركات الغازية المستخدمة على السيارات الخفيفة.

وبما أن استخدام المحركات البنزينية ذات المحفزات الثلاثية (موانع التلوث الثلاثية) يتحقق انخفاض حاد للانبعاثات السامة الصادرة عن السيارات السياحية، لكن تبقى انبعاثات السيارات الشاحنة والحافلات الكبيرة المزودة بمحركات الديزل مسألة أساسية وخاصة في المدن الكبيرة.

وفي الواقع فإن تبديل محركات الديزل بمحركات غازية ستحسن الوضع البيئي بشكل كبير وتعالج هذه المسألة بطريقتين:

١ - استبدال محرك الديزل بمحرك مصمم للعمل بالغاز الطبيعي وبتحكم كمي وإشعال كهربائي.

٢ - تحويل الديزل الحالي إلى محرك يعمل بالغاز وبمساعدة بعد الإضافات المحدودة على تجهيزاته وباستخدام التحكم الكمي والإشعال الكهربائي أيضاً.

والطريقة الثانية هي الأكثر اقتصادية من الأولى، حيث أن إنتاج محركات محولة من قبل مصانعها هي طريقة أفضل لأنها أقل من كلفة الديزل الأساسي.

وإتمام عملية التصنيع يمكن إجراؤها مباشرة في حظائر السيارات. لكن ذلك مرتبط ببعض الكلفة الإضافية لكن عند المسارات الكبيرة وعند انخفاض كلفة الغاز الطبيعي (بالمقارنة مع الديزل) يمكن تعويض الكلفة الإضافية خلال فترة قصيرة نسبياً.

والطريقة الأخرى لاستخدام الغاز الطبيعي في الديزل هي إعطاء وجبة وقود صغيرة (١٥ %) تؤمن اشتعال الشحنة الفقيرة.

الجزء الأساسي للطاقة الحرارية يعطى من الغاز الطبيعي باستخدام المزج الخارجي، وتستخدم عملية التحكم النوعية أو المختلطة. وفي حالة التحكم النوعي، عند انخفاض الحمولة يكون المزيج الواقع بين مخاريط الوقود فقيراً ولا يحترق بالكامل.

ويلاحظ في نواتج الاحتراق وجود كميات كبيرة من C_H و C_O . وعند التحكم المختلط تفتقد ميزات التحكم النوعي. ويفضل تصنيع الديزل الغازي في مصنع الديزل الأساسي وستكون الكلفة أعلى من المحرك الأساسي. وتجري عملية تحويل الديزل إلى الغاز في زمن قصير نسبياً لأن الأجزاء الرئيسية للديزل تبقى على حالتها دون تغيير، وتضاف فقط تجهيزات التخزين والتغذية للغاز الطبيعي.

ومن ميزات الديزل المحول، هي الإمكانية السريعة للانتقال من نوع معين من الوقود إلى نوع آخر، وهذا هام بوجه خاص في المناطق التي لا تتوفر بشكل دائم فيها عملية الإمداد بالغاز.

لكن وثوقية عمل الديزل الغازي هي أقل من الديزل الأساسي. وهذا مرتبط بنظام التغذية الذي يضاف (بالغاز)، وإمكانية تراكم المواد على حواقي الوقود. بسبب انخفاض عامل التبريد في تيار الوقود. ومعلوم إن درجة حرارة رأس حاقن الوقود يجب ألا تزيد عن ١٨٠ درجة.

تيار الوقود البسيط في الديزل يتوفر عندما تكون الحرارة المعطاة من الشحنة في الاسطوانة إلى حاقن الوقود بسيطة.

وفي الديزل الغازي تتوفر التغذية الخفيفة بالوقود عند الحمولات العالية وزيادة الحرارة الواردة إلى الحاقن.

لكن استخدام نظامين على التوازي للوقود يؤدي إلى تعقيد عملية التحكم بالمحرك وخاصة عند التحكم المختلط.

محركات الديزل - الغازية تؤمن عند التصميم المناسب بالمقارنة مع الديزل الأساس انبعاثات أقل من الجزيئات الصلبة. لكن تزداد نسبة إصدار الغازات الناجمة عن الاحتراق غير التام.

ومما سبق نرى أن المؤشرات البيئية للديزل - الغازي بالمقارنة مع المحرك الأساسي تتحسن ولكن ليس لجميع المواد السامة . لأن الغاز لا يختلط مع وقود الديزل بالكامل.

ففي المدن الكبرى يحصل الخلط بين الغاز ووقود الديزل بنسبة ٤٠ - ٧٠ % . ولذلك في هذه المدن لانحصل على الميزات المطلوبة عند استثمار المحركات الغازية.

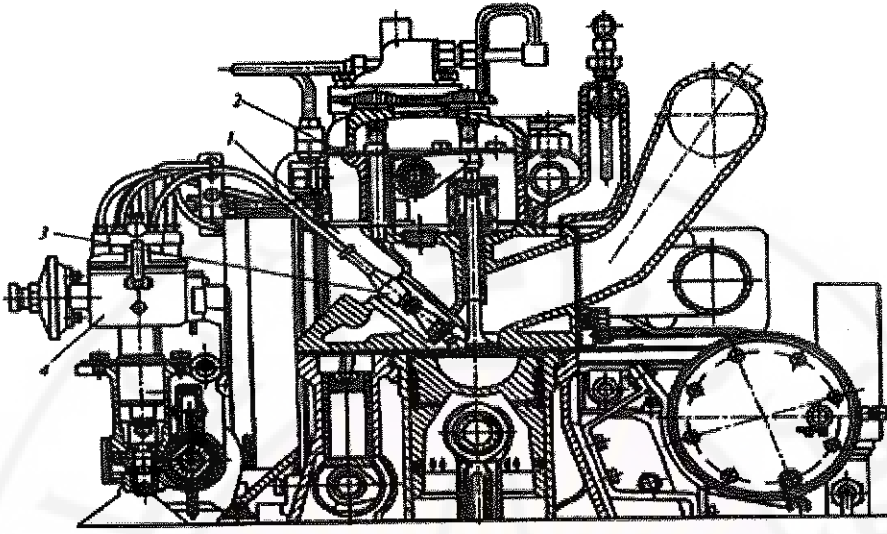
هذا ويدل إنتاج المحركات الغازية التي تلبي حاجات المعايير المطلوبة نسبة للانبعاثات السامة على أهمية طريقة التحويل هذه. وللحصول على ذلك يمكن استخدام الحالتين التاليتين:

١ - المحرك المتوازن $\infty = 1,0$

٢ - المحرك العامل على الخلائط الفقيرة $\infty = 1,4 - 1,6$

عند التحويل البسيط للديزل الى محرك غازي من دون شحن يلزم إجراء بعض الأعمال الإضافية (معالجة المكابس لتخفيض نسبة الانضغاط من ١٦ - ١٨ إلى ١١،١٤ والفتحات تحت البخاخ في رأس الاسطوانات بهدف تركيب الشمعات، وضع الموزع في مكان مضخة الوقود ووضع خلاط بسيط وصمام تحكم في مجرى الدخول).

وعندئذ تحصل عملية تغذية مركزية للغاز. ويظهر على الشكل - ٤٠ مقطع عرضي جزئي في ديزل محول للعمل على الغاز الطبيعي.



شكل - ٤٠

عند استخدام الإشعال الإلكتروني المتطور تنعدم الحاجة إلى عملية تحويل الموزع. والأعمال الإضافية يمكن إجراؤها ليس فقط في المصنع بل في أماكن أخرى خارجه.

ونظراً لارتفاع درجة الانضغاط العالية في المحركات الغازية، من المستحب استخدام وشائع افراذية لكل اسطوانة تتركب بالقرب من شمعات الاحتراق وتوصل بها من خلال أسلاك التوتر العالي، ويمكن تركيب الو شائع مباشرة على الشمعات.

ويتحسن عمل المحرك الغازي عند استخدام التغذية المركزية بالغاز وبضغط معين من خلال صمام متغير المقطع أو من خلال مجموعة صمامات كهرمغناطيسية خاضعة للتحكم وذات مقاطع مختلفة.

عند التغذية المركزية المتواصلة بالغاز يتم الحصول على التغذية المتوازنة بين الاسطوانات، وعندما تكون الفروق بسيطة بين قيم معامل جودة السحب في الاسطوانات المختلفة - تغذية متوازنة كمّاً ونوعاً.

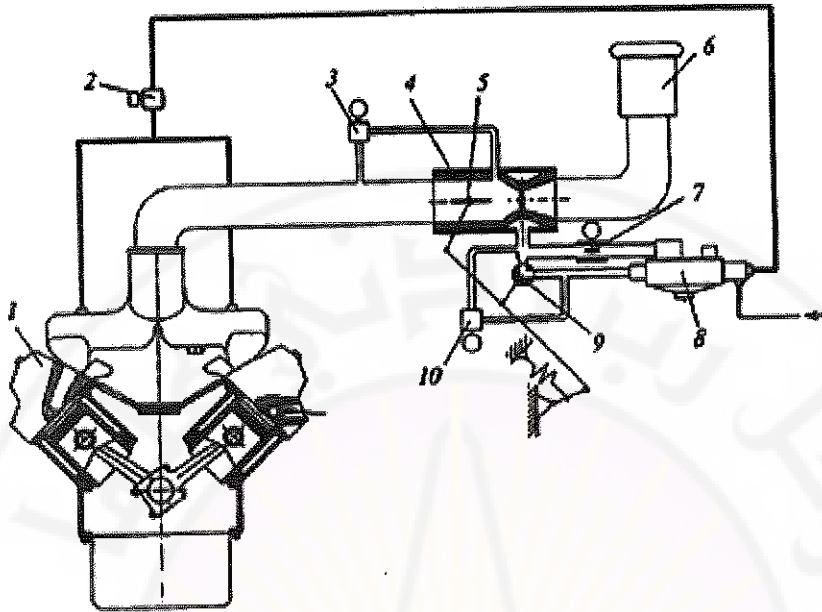
والتغذية المركزية لها سلبية معينة تتمثل في بعض التأخر في تغيير عمل الاسطوانات نسبة إلى زمن تغيير وجبة (شحنة) الوقود المعطى.

وتوزيع الشحنة بين مجاري الدخول يؤمن ميزات دينامية لعمل المحرك. في السنوات الأخيرة جرت أعمال حثيثة لتصنيع محركات غازية ذات مزج داخلي وبتحكم نوعي وهي لا تقل اقتصادياً عن محركات الديزل.

على الشكل - ٤١ يظهر مخطط التغذية لمحرك على شكل حرف V. في هذا المخطط يوجد مقتصد (عنصر توفير) ميكانيكي وصمامان الكترونيان قابلان للتحكم. والصمام ٣ يقوم بإدخال المزيج متجاوزاً صمام التحكم المغلق (عند اللاحمل). والصمام ١٠ يؤمن التركيب اللازم للمزيج عند اللاحمل.

وعلى العموم يؤمن المخطط استقرار عدد الدوران عند اللاحمل في بداية تحميل المحرك.

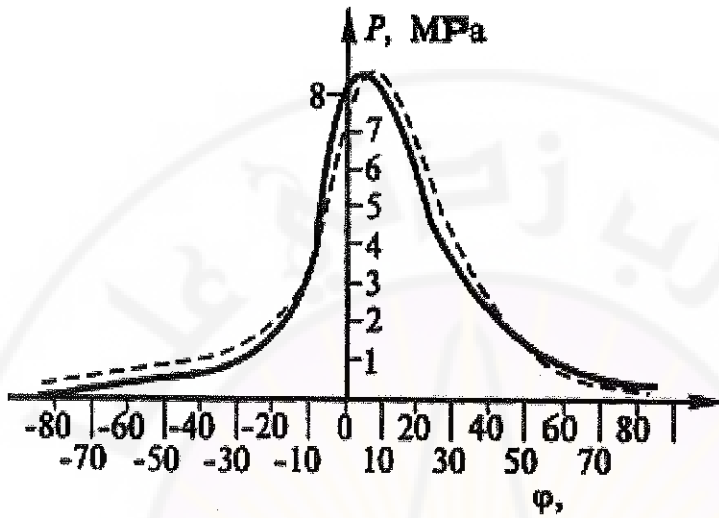
مثال عند وصل جهاز التدفئة، القارئة الهيدروليكية، المكثف أو غيرها.



شكل - ٤١

على الشكل - ٤٢ يظهر مخطط نظام التحكم بمحرك غازي، هذا النظام (نظام التوزيع) يستخدم في المحرك المشحون وغير المشحون. ويعمل النظام بشكل كبير كما في المحرك البنزيني. لكنه لا يتميز بالايجابيات ذاتها. في المحرك الغازي تنخفض نسبة إصدار الغازات الضارة في الغاز العادم بنسبة كبيرة وإضافة لذلك تنخفض نسبة الجزيئات الصلبة إلى أقل من ٠,٠٥% غ/ك.وات سا. وتنخفض نسبة الضجيج، ويزداد العمر الزمني للمحرك. وينخفض مصروف الزيت المعدني بسبب انخفاض نسبة المركبات السائلة في المزيج الغازي، التي تفكك الطبقة الزيتية الموجودة على الاسطوانة.

الغاز الطبيعي بالمقارنة مع وقود الديزل يتميز بكمية الحرارة النوعية الأدنى للاحتراق.



شكل - ٤٢

عند إعطاء الغاز في مجرى السحب تنخفض نسبة امتلاء الاسطوانات بالهواء، وتنخفض نسبة الانضغاط في المحرك الغازي، وكذلك المردود البياني. ولهذه الأسباب وللحصول على الاستطاعة الاسمية والعظمى في المحرك غير المشحون عند الانتقال للوقود الغازي يتوجب تخفيض فائض الهواء. وهذا هو سبب ازدياد إصدارات أكاسيد الأوزون. إضافة لانخفاض نسبة الانضغاط الذي يعتبر ذلك سبباً لانخفاض اقتصادية النموذج الغازي بالمقارنة مع الديزل.

والاختلافات في مصروف الوقود بين المحرك الغازي والديزل لاتزيد عادة عن ١٢ - ١٥ %، وبالمقارنة مع الديزل -الغازي لاتزيد عن ٥ - ١٠ %.

وإذا اعتبرنا الكلفة المنخفضة للغاز الطبيعي البديل لوقود الديزل في حالة المحرك الغازي الخالص فإنه يصبح واضحاً أن المحرك الغازي له الأفضلية. من مساوئ استخدام المحرك الغازي بالمقارنة مع المحرك (الديزل - الغازي) هي مسألة تحميل اسطوانات الغاز ، وحاجتها لمساحة كبيرة.

ويتبع ذلك زيادة الكتلة، ويلاحظ انخفاض المسافة التي تقطعها السيارة ذات المحرك الغازي بالمقارنة مع مسافة السيارة المزودة بمحرك الديزل، أو بمحرك (الديزل - غازي).

وكما بينا سابقاً، فإنه للمحافظة على الاستطاعة والعزم عند تحويل الديزل غير المشحون الذي يعمل على الغاز الطبيعي ومن دون شحن، فإنه يجب تخفيض معامل فائض الهواء على نظم العمل الموافقة للانفتاح الكامل لصمام التحكم بالمزيج، وحتى عند العمل على النظم الأخرى للمحرك الغازي. وإذا أمكن المحرك الغازي العمل (على النظم الأخرى) على المزيج الفقير فإنه لا يستطيع تحقيق المعايير المطلوبة .

ويتم تحقيق المعايير المطلوبة بالطرق التالية:

- الإفطار الكبير للمزيج في الحالة الغازية الى $1,5 - 1,6 = \infty$. وهذا غير مستحب لأن ذلك يؤدي إلى انخفاض الاستطاعة الاسمية والعزم الأعظمي للمحرك.
- إعطاء قليل من الماء في مجرى السحب بضغط معين بشكل رذاذ ناعم، بنسبة ٥ % من كمية الشحنة.
- تأمين عمل المحرك الغازي على الخليطة المتوازنة واستخدام المحفزات الثلاثية.

وعندئذ تنخفض اصدارات المواد الملوثة بشكل كبير. لكن يزداد الجهد الحراري في أجزاء المحرك الغازي.

وقد بينت الحسابات المختلفة أنه عند العمل على الخليط الفقير بالمقارنة مع الخليط المتوازن فإن الضغط البياني الوسطي ينخفض بنسبة ٢٨ % والمردود البياني على العكس يزداد بنسبة ١٠ - ١٢ %.

وللحصول على هذا الضغط البياني على الخليط المتوازن في المحرك الغازي الذي يعمل بـ $\infty = 1,6$ يجب رفع ضغط الشحن إلى مستوى $P_K = 0,135$ مع تبريد الهواء.

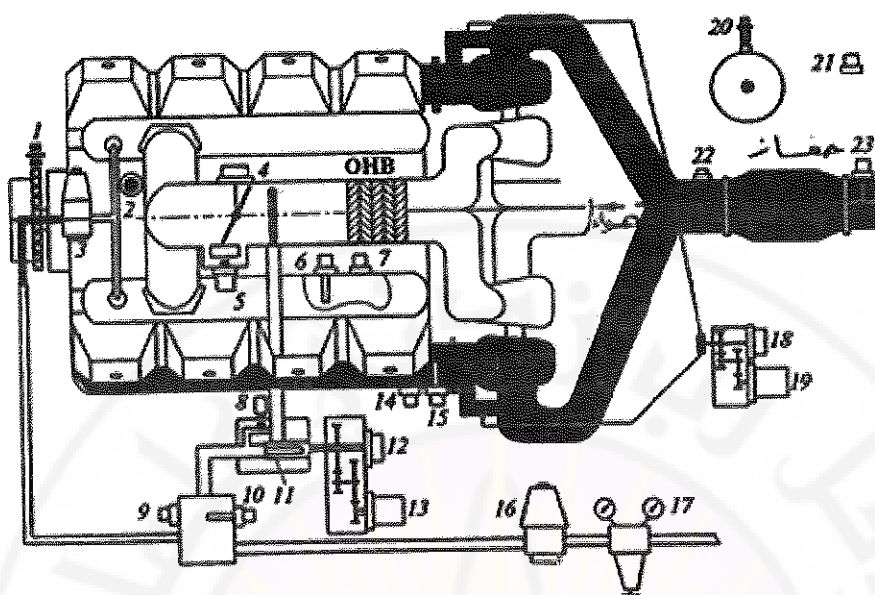
ويلاحظ انخفاض الهدر الحراري في سائل التبريد بمقدار ١٣ - ١٥ % . وزيادة مردود الدورة الحرارية (زيادة اقتصادية عمل المحرك المشحون العامل على الخليط الفقير بمقدار ١٣ %) .

لذلك تعتبر عملية تحويل الديزل للعمل على الغاز الطبيعي " المحرك العامل على الخليط الفقير " . واستخدام عملية الشحن مع تبريد الهواء ، تعتبر عملية مستحسنة.

عند المحافظة على جميع نظم السرعة (على $\infty = 1,5 - 1,6$) وبغية الحصول على عزم إضافي يجب استخدام الشحن الخاضع للتحكم.

وعندها يتم اختيار العنقبة بحيث تكون أصغر مما في المحرك الأساسي ومقاطع جريان أصغر للغاز. وهذا يحقق القيم الضرورية للعزم الأعظمي في مجال سرعة الدوران الصغرى، وعندما تزداد سرعة الدوران يفتح صمام تصريف الغازات بعيداً عن العنقبة.

على الشكل - ٤٣ يظهر مخطط محرك غازي مع جهازين للشحن ومبرد للهواء تركيب عليه حساسات نظام التحكم الآلي بالمحرك. في هذه الحالة تستخدم تغذية مركزية بالغاز تحت الضغط من خلال صمام ذو مقطع متغير.



شكل - ٤٣

٤. ٢ - استخدام الهيدروجين:

يستخدم الهيدروجين في محركات الاحتراق الداخلي بالحالة الغازية أساساً لأن عملية تخزينه بالحالة السائلة يرافقها بعض الصعوبات الفنية بسبب انخفاض درجة حرارة الغليان ($-252,6^{\circ}\text{C}$).

ويستخدم الهيدروجين في محركات الشرارة الكهربائية بشكل حر أو بشكل إضافات لمزيج البنزين.

عند استخدامه بشكل إضافي للبنزين يلعب دوراً ملحوظاً في زيادة مقاومة ظاهرة الصفع ويمكن أن يساعد في جودة عملية التحكم بالمحرك. وذلك بسبب أنه يؤمن مجالات واسعة لإشعال الخلائط.

ففي الظروف الطبيعية يساوي الحد الأعلى للاشتعال $\alpha = 0,15$ والحد الأدنى $\alpha = 10$. وبزيادة درجة الحرارة تتسع مجالات الاشتعال أيضاً وهي لا تتعلق كثيراً بقيمة الضغط.

ولا يفضل استخدام الهيدروجين بشكل حر ومنفرد بسبب السرعة الفائقة لانتشار لهب الاحتراق وخاصة عندما تكون الخلائط متوازنة.

وهذا يؤدي إلى زيادة الضغط في الاسطوانات ودرجات الحرارة مما يسبب زيادة الحمولات الميكانيكية والحرارية على الأجزاء المختلفة.

ويلاحظ أنه عند الخلائط المتوازنة للهيدروجين مع الهواء تنعدم ظاهرة الصفع فقط عند القيم المنخفضة نسبياً لنسبة الانضغاط. إضافة لذلك بفضل الطاقة المنخفضة للاشتعال ($0,02$ ميغا جول بدلاً من $0,25$ م . جول في حالة البنزين) عند العمل على خلائط الهيدرو - هوائية يمكن مشاهدة اشتعال مبكر للخليط ناتج عن السطوح الحارة أو عن جزيئات الهباب.

ويمكن أن يعمل المحرك على نظام اللاحمل على الهيدروجين بمعامل فائض الهواء يساوي خمسة أو ستة.

ومن المميزات المتعلقة باستخدام الهيدروجين هي:

- ١ - المادة الخام التي تعطي الهيدروجين هي لا تتضب عملياً.
- ٢ - تزداد اقتصادية عمل المحرك بفضل التحكم النوعي الجيد.
- ٣ - انخفاض جذري لنسب التلوث الناجم عن الاحتراق غير التام. وعند العمل على المزيج الفقير تتخفض أيضاً أكاسيد الأزوت.

ويتميز الهيدروجين بالحرارة النوعية العالية ($H_u = 120 \text{ MJ/kg}$)

ويحتاج إلى كمية كبيرة من الهواء اللازمة للاحتراق التام. ويمكن أن تؤثر على عوامل المحرك أيضاً نوعية الاحتراق المحصورة ببخار الماء، الذي تزداد فيه السعة الحرارية بدرجة عالية. ويظهر في الجدول التالي بعض نتائج المقارنة للعوامل المختلفة للدورة الحرارية عند العمل على الأنواع المختلفة من الوقود وعند اختلاف طريقة المزج وطريقة الانبعاث الحراري.

وهذه النتائج هي في حالة الأبعاد الواحدة للمحرك وفي نفس الظروف المحيطة المشابهة وغيرها.

عند المزج الخارجي تم حساب معامل جودة السحب (الجودة الحجمية) للخليط، لذلك فإن قيمة هذا المعامل هي قريبة في جميع الحالات. وهذا يدل على أنه في الاسطوانات تدخل كمية متقاربة من المزيج، وهي أصغر ما تكون عند استخدام الهيدروجين (مع $\infty = 1,6$) في حالة المزج الخارجي وذلك لأنه خلال نظام السحب يدخل الهواء بكمية أقل وتزداد كثافته كثيراً بالمقارنة مع الهيدروجين.

الجدول:

الوقود	طريقة المزج	ϕ_z بالدرجات	m	θ_o قبل ع.م.ن	∞	η_v	γ	P_g م.ب.اسكال	Q_w جول	Q_e جول	$\frac{Q_w}{Q_e}$
الهيدروجين	خارجية	٣٠	٢	٨	١,٦	٠,٨٦	٠,٠٦٦	٠,٠٢٥-	٣٦٢	٢٢١١	٠,١٦٣
الهيدروجين	داخلية	٢٠	٠,٣	٣-	١,٦	٠,٨٨	٠,٠٥١	٠,٠٠٣-	٣٩٥	٣٠٣٧	٠,١٣
البنزين	خارجية	٤٥	٢	١٤	١,٠	٠,٨٥	٠,٠٠٥	٠,٠٠٣-	٥١٥	٣٦٧٦	٠,١٤
الديزل	داخلية	٦٠	١	٧	١,٦	٠,٨٨	٠,٠٠٣	٠,٠٠٣-	٤٢٨	٢٥٥٦	٠,١٦

يتعلق الضغط الوسطي للدورة الحرارية بالحرارة النوعية للاحتراق وبكمية المزيج الواردة إلى الاسطوانة. ويتعلق بمردود تحويل الحرارة إلى عمل. ويحصل المردود الأدنى عند العمل على الهيدروجين بـ $\infty = 1$ ، وذلك بسبب وجود نسبة كبيرة من بخار الماء في نواتج الاحتراق. عندما تكون $\infty = 1$ وعند العمل على البنزين يزداد المردود بشكل ملموس بسبب انخفاض نسبة بخار الماء في غازات الاحتراق وهي ذات السعة الحرارية الأعلى.

عند العمل على البنزين تنخفض شدة انبعاث الحرارة وينخفض الضياع الحراري في سائل التبريد. ويرتفع المردود. ويلاحظ عند العمل على الهيدروجين أنه بزيادة زاوية تسبيق الاشتعال عن $\phi_z = 30^\circ$ لا تترافق شدة الاحتراق مع زيادة المردود. ويلاحظ دائماً المردود الكبير للديزل عند العمل على $\infty = 17$.

عندما تكون $\alpha = 1$ ، تحصل القيمة العظمى للضغط الوسطي للدورة، عند العمل على البنزين، رغم أن الحرارة النوعية لاحتراق المزيغ البنزو - هوائي اقل بـ ١٨،٥ % من المزيغ الهيدرو - هوائي، وذلك بسبب الكمية الكبرى للمزيغ البنزو - هوائي النقي وكمية الهواء الواردة إلى الاسطوانة، وزيادة مردود الدورة. والكمية الأكبر من الهواء الواردة إلى الاسطوانة عند العمل على البنزين مرتبطة بالنسبة المنخفضة لحجوم أبخرة البنزين، بالمقارنة مع حجوم الهيدروجين، حتى ولو تبخر كامل البنزين قبل دخوله إلى الاسطوانة. عند افقار مزيغ الهيدروجين بالهواء ينخفض الضغط الوسطي للدورة ويرتفع المردود.

والطريقة الأساسية لزيادة العمل النوعي للدورة عند التغذية بالهيدروجين هو الانتقال إلى عملية المزج الداخلي، حيث تزداد بشكل كبير كمية الهواء الواردة إلى الاسطوانة.

ومما سبق نرى أنه من غير المستحب تغذية المحرك بالهيدروجين عند المزج الخارجي بسبب الانخفاض الكبير للاستطاعة بالمقارنة مع البنزين. ومن المفضل التغذية بكلا الوقودين أو إعطاء الهيدروجين للاسطوانة. وبإنخفاض الحمولة يجب زيادة نسبة الطاقة الحرارية المنقولة إلى الاسطوانة مع الهيدروجين، حيث يتأمن التحكم النوعي وذلك عند الانتقال على نظام اللاحمل. هذا ويفضل تخزين الهيدروجين على متن السيارات بشكل الهيدرات المعدنية. ويجب التنويه أن كلفة إنتاج الهيدروجين في كل التقانات المعروفة مازالت حتى الآن مرتفعة رغم ذلك فإن الاهتمام بوقود الهيدروجين يزداد مع مرور الزمن، بسبب الميزات الايجابية الكثيرة التي يتمتع بها.



الفصل الرابع

الخصائص البيئية لمحركات الاحتراق الداخلي

١ . مقدمة:

المساحات الحالية الواسعة لإنتاج محركات الاحتراق الداخلي المكبسية واستثمارها جعلت منها أخطر العوامل المؤثرة على الغلاف الجوي. ومن المعلوم أن وجود الحياة على الأرض ممكناً في مجالات ضيقة جداً للتغيرات الفيزيائية والكيميائية في الجو المحيط. والإصدارات الناجمة عن محركات الاحتراق الداخلي يمكنها أن تؤثر بشكل جدي وتغير تراكيز المواد الكيميائية التي تدخل في تركيب الهواء، الماء والتراب حيث تشكل عندئذ خطورة معينة على الكائنات الحية وفي مقدمتها الإنسان. وتقدر التأثير الإجمالي للمحرك على الجو المحيط بمعرفة المحركات والسيارات التي تشكل تيارات متواصلة عند حركتها على شبكات الطرق الهائلة. وإذا اقتطعنا مساحة محدودة من الأرض نحصل على تيار نقل محدود بكثافة P سيارة / كم، أو غزارة سيارة / ساعة. ونسبة لهذا التيار يمكن الحصول على تغير الخواص المختلفة لجملة من السيارات التي تتحرك على مساحة محدودة. وبمعرفة الخواص الاقتصادية للسيارة (المحرك) يمكن معرفة استهلاك الوقود من قبل رتل السيارات على المساحة المحدودة من الأرض. وتبعاً لاستهلاك الوقود يمكن تقدير الانبعاثات السامة لرتل السيارات التي تؤثر على الجو المحيط.

وعلى أساس هذا المخطط يمكن تقدير التأثير البيئي لكل تيار من السيارات على جميع الخطوط المختلفة.

ومن العوامل البيئية للمحركات توجد العوامل ذات التأثير المباشر أو غير المباشر على الجو المحيط.

بالاستناد على القانون الثاني للترموديناميك فإن المحرك دائماً يصدر الحرارة إلى الجو. وكلما ازداد مردود المحرك كلما ازدادت اقتصادية عمله وكلما تحسنت خواصه البيئية.

العمل الدوري للمحرك وعملية احتراق الوقود تستخدم أكسجين الهواء، وتقوم بالتحويلات الكيميائية المختلفة للمواد الموجودة داخل الاسطوانة وتتشكل مواد ضارة تنطلق إلى الجو.

إضافة لذلك يقوم المحرك بإصدار طاقة ميكانيكية - إشعاعات ضوئية (اهتزازات - ضجيج).

وبذلك فإن جملة العوامل التي تحدد التأثير الحراري والمادي للمحرك المستثمر:

- على الجو المحيط: الإشعاع الصوتي (الضجة)، الاهتزازات، الكميات المستهلكة في مواد التصنيع والإنتاج ومواد الاستثمار، والطاقة المستهلكة خلال عملية الإنتاج. وهي تحدد نوعية الجودة البيئية للمحركات.

ويبين المخطط التالي تأثير المحركات على الجو المحيط بشكل عام.

وأول ما يجب ملاحظته هو التأثير التقني - الصحي على الجو عند تصنيع المحرك.

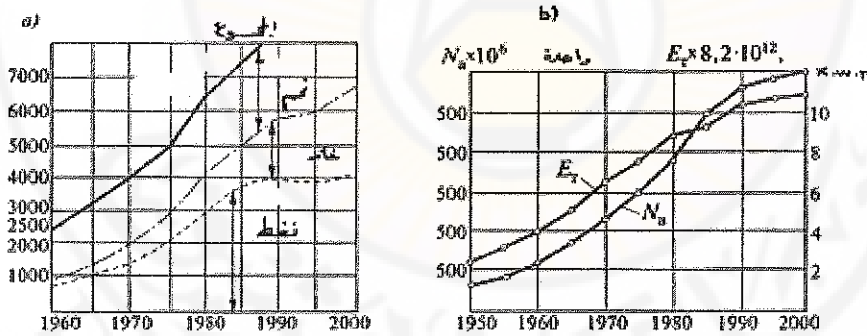
والبداية عند البحث عن المواد الخام واستخراجها والتي تستعمل لتحضير المواد المختلفة في الصناعة وفي الاستثمار ثم عملية الإنتاج بحد ذاتها للمحرك. ويرافق العمليات والتكنولوجية أيضاً إصدارات ضارة.

تقدير الجودة البيئية للعمليات التكنولوجية (السكب، الطرق، المعالجات الميكانيكية التجميع). وإجراء المقارنات وتحليلها، هي مسألة هامة، ومن العوامل الهامة الشاملة، هو مقدار استهلاك الطاقة لإنتاج واحدة المادة مثلاً (الحديد، الفولاذ، البنزين) أو المحرك نفسه، والمعطيات المتعلقة بمقادير الإصدارات لبعض المواد المختلفة في العملية الإنتاجية. مواد التصنيع ومواد الاستثمار (المعادن، المواد البلاستيكية) المواد المطاطية، الوقود والزيوت وهي تظهر في الجدول التالي. الإصدارات وهي لحالات فردية (منسوبة إلى وحدة كتلة المادة). هذه المعطيات تسمح بإجراء المقارنة بين جودة المحركات القائمة والمحركات التي هي قيد التصميم (اللاحقة)، وتبين أيضاً التأثيرات المنتظرة على الجو المحيط.

مواد الاستثمار			مواد الصنع						المؤشر
زيت معنني	وقود للديزل	بنزين	المطاط	بلاستيك	الرصاص	نحاس	الومنيوم	فولاذ-حديد	
									الإصدارات الخطرة ع/كغ
٣٥٠٩	٢٠٥٣	٣٠٥٩	٥٥٢٣.٥	٤٠٨٥	٩٠١٢	٩٠٢٤	٣٠٨٢	٥٤٨٠.٦	المعلقات
٦٩٥٥	٤٨٩٠.٦	٦٩٥٠.٥	٨٦٠.٧	٣٥٥٠	٦٧٦.٢	٧٦٤.٤	١٧٠.٥٠٢	١٨٩٨.٧	CO ₂
١٥٤	١٠٠.٨	١٥	٢٤٧١	٨٠.٧	٦٩	٨٣.٥	١٥	١٥٤٢	CO
١٩	١.٣٤	١.٩	٠.٧	٣.٧	٩	١٠.٢	٢٢.٨	٣.٥	NOX
٨٩	٦	٩	١٥٢	٨٥٠.٧	٠.٠٧	٠.٠٨	٠.١٧	٨.٦	C _H
٢١٨	١٥	٢٢	٤٣٧	٦١	١٩٤	١١٢٢	١٢٠	٢٢.١٥	SO ₂
١٥	١٠٠	١٠٥	١٤٠.٧	٥	١٠.١٥	١.٣	٢.٩	٢.٦	الأكسجين الضروري م ^٣ /كغ
٥٠	٣.٥	٥	٤١	٣٤	٢٣	٢٦	٥٨	١٥.١٥	الطاقة اللازمة (المستهلكة) ك. وات /كغ

الإصدارات الحرارية الشاملة يمكن أن تبينها المعطيات الواردة على الجدول التالي.

على الشكل تعطى كمية الطاقة الكاملة E_T المستخدمة من قبل الإنسان، وتظهر كمية السيارات العامة N_a المنتشرة في العالم أجمع من العام ١٩٥٠ - ٢٠٠٠. على الشكل 44-b. واستهلاك النفط والغاز والفحم شكل 44-a. ومن الطبيعي أن كمية المحركات المكبسية العاملة هي أكبر بكثير من كمية السيارات لأن المجالات الأخرى: الآلات الزراعية وآليات الطرق والبناء والمحطات الثابتة والسفن وبعض الطائرات هي تستخدم محركات مكبسية أيضاً. وفي هذه الحالة كمية المحركات تقترب من المليار محرك. وليس من الخطأ الكبير اعتبار الطاقة الحرارية للوقود المستخدم في هذه المحركات تنبعث إلى الجو المحيط وتؤدي إلى تسخينه وزيادة حرارته. وفي الوقت ذاته يستنفذ أكسجين الهواء وتنبعث الغازات العادمة، التي يشكل ثاني أكسيد الكربون أكبر نسبة فيها، وهذا الغاز ضار بيئياً لأنه مع المواد الكيميائية الأخرى يمنع انتشار الحرارة من الكرة الأرضية إلى الجو المحيط بها مما يسبب ظاهرة الاحتباس الحراري (زيادة الحرارة الوسطية للجو).



شكل - ٤٤

ويمكن تخفيض إصدار CO_2 عند الانتقال لاستخدام الوقود الغازي.

والخطوة التالية لتخفيض إصدارات CO_2 هي استخدام الهيدروجين كوقود للمحركات، وعندها ينعدم CO_2 في غاز العادم.

يحتوي غاز العادم في المحركات كمية كبيرة من المواد الكيميائية (حتى ٣٠٠ نوع) ومنها المواد الذي يتم الاهتمام بها وهي المواد الخطرة CO ، CH ، NO وهباب الفحم أو (الجزيئات الصلبة). وهذه المواد لها تأثير خطير عندما تصيب جسم الإنسان أو الجو المحيط.

وغالبا ما تقود مسألة تحسين وضعية المحركات في البيئة إلى البحث عن طرق تخفيض نسبة هذه المواد الخطرة في عادم المحركات.

وفي غاز العادم توجد مواد مسرطنة (الهيدروكربونات الاروماتية متعددة الحلقات، مركبات الكبريت، والرصاص وكثير من المركبات الخطرة الأخرى والتي تزيد خطورتها عن CO ، CH ، NO_x .

إضافة لغاز العادم فإن خطورة المحركات لها وجه آخر وهي ناتجة عن الغازات المتشكلة في أحواض الزيت والأبخرة الناجمة من الوقود والمنبعثة إلى الجو.

وتحسب تراكيز المركبات الخطرة في غاز العادم الجاف بالنسبة المئوية الحجمية وهي الواحد بالمليون حجماً أو أحياناً بوحدة مغ /ليتر.

مجال اختلاف كمية المركبات الخطرة في غاز العادم يظهر في الجدول التالي:

الجدول:

المركب	وحدة القياس	الديزل	محرك الشرارة الكهربائية
C _O	% حجماً	٠,٥ - ٠,١	٨-٠,١
C _H	١-٦	٥٠٠-١٠٠	٤٠٠٠-٢٠٠
CO ₂	% حجماً	١٢-٢	١٣-٨
NO _x	١-٦	٣٠٠٠-٥٠٠	٥٠٠٠-٥٠٠
بنزين - بنزين	مغ/ل	١٠-٠	٢٥-٠
هباب الفحم	=	٢٠٠٠٠-٠	١٠٠-٠
أكاسيد الكبريت	=	٠,٠١٥-٠	٠,٠٠٣-٠
مركبات الرصاص	=	—	٦١-٠
الالهيدرات	% حجماً	٠,٠٠٩- ٠,٠٠١	٠,٢-٥

٢ . مؤشرات الضجيج لدى المحركات:

- التقديرات الأساسية:

إن وجود كمية كبيرة من السيارات والآلات والآليات مع محركاتها على الشوارع والطرق، وفي أماكن البناء. يؤدي إلى ارتفاع منسوب الضجة ويسبب إلى عمل الإنسان وراحته.

يؤثر الضجيج أولاً على أجهزة السمع والأجهزة العصبية ويضعف إنتاجية العمل. وإن عملية اعتماد المواصفات للتقدير الصحيح لمستوى الضجيج في مكان العمل تعتبر عوامل أساسية لتنظيم عمل الإنسان الذي يتعامل مباشرة مع المحركات العاملة.

وعادة ما يتم توصيف مستويات ضجيج الآليات الداخلي والخارجي. وتوجد توجهات دائمة لتخفيض المستويات المسموحة كالضجيج الصادر عن الآليات، عند تصميم وتصنيع تقنيات جديدة وهي هدف المصممين ويحافظ عليها المستثمرون.

والمستوى العام للضجيج يمكن اعتباره مؤشر نوعية الآلة، وثقانة الإنتاج، وجودة التقنية المستخدمة. وبعض مواصفات الضجيج في المحركات تستخدم كمعامل تشخيص أيضاً.

ضجيج محركات الاحتراق الداخلي هو الإشعاع السمعي (الصوتي) الناجم عنها عند عملها. ويقاس ضجيج المحرك بمستواه وطيفه. وهذه خواص ضجيج المحرك في نقطة معينة في الفراغ. والمحرك كمصدر للإشعاع الصوتي تدل عليه قيمة الاستطاعة الإشعاعية الصوتية وطيفها ومخطط اتجاهات الإشعاع. معلوم أن ضغط الصوت P في الموجة الصوتية يساوي الفرق بين ضغط الوسط بوجود الموجة وبدونها.

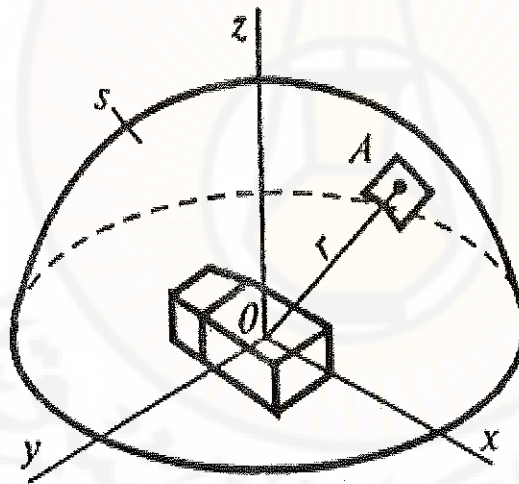
مستوى الضجيج يسمى اللوغاريتم العشري للـنسبة بين ضغط الصوت

$$P = 2.10^{-5} \text{ N/M}^2$$

إذا افترضنا أن مصدر الضجيج (المحرك) يقع في النقطة O شكل ٤٥ - ويشع ضجة في الجو المحيط .

فإنه إذا اقتطعنا نصف كرة S، نصف قطرها r وجزئية من المساحة (A) عليها، يمكن اعتبار أن قوة الصوت I هي مقدار طاقة الصوت التي تمر عبر جزئية المساحة العمودية على نصف القطر r في وحدة الزمن.

شدة الصوت تقاس بـ BT/M^2 . وهي تتناسب مع مربع ضغط الصوت، لذلك فإن مستوى الضجيج يحسب أحياناً باللوغاريتم العشري لنسبة شدة الصوت إلى القيمة الحدية له $I_0 = 10^{-12} \text{ BT/M}^2$.



شكل - ٤٥

يقاس مستوى الضجيج بالديسيل أي أن:

$$L = 10Lg \frac{I}{I_o} = 20Lg \frac{P}{P_o}$$

الاستطاعة الصوتية W بـ (β_T) للمحرك تسمى القيمة $w = \int_s I \cdot ds$ أي أن كمية

الطاقة الكاملة الصادرة عن المحرك إلى الجو المحيط بشكل صوت تمر من خلال مساحة نصف كرة، نصف قطرها r ، في واحدة الزمن.

— مستوى الاستطاعة الصوتية يسمى القيمة $L_w = 10Lg \frac{w}{w_o}$

حيث $w_o = 10^{-12} \beta T$. ويتعلق مستوى الاستطاعة بالمستوى الوسطي للضجيج عبر المساحة المحيطة بالعلاقة التالية:

$$L_w = L + 20Lg r + 10Lg \Omega - 10Lg \phi$$

حيث Ω — زاوية تواجد الإشعاع (إذا اعتمدنا أن الإشعاع الصوتي للمحرك يحصل من المركز O لنصف الكرة فإن $10Lg \Omega = 8$.

ϕ — عامل اتجاه الإشعاع وهو عبارة عن القيمة $\frac{P_r^2}{P_e^2}$ أي أنه يساوي نسبة مربع

ضغط الصوت في نقطة ما في نصف الكرة (نصف قطر r) إلى مربع ضغط الصوت المحسوب في جميع نقاط القياس على المساحة S .

وعادة تقاس في النقطة L بمساعدة مقياس الضجيج باستخدام الخاصية الترددية الخطية للجهاز.

ولمقاربة الأرقام الحسابية للضجيج إلى المستويات التي يستقبلها الإنسان تستخدم الخاصية الترددية (A) لمقياس الضجيج التي تحتسب خصوصية استقبال الإنسان للأصوات ذات الترددات المختلفة. في هذه الحالة، القيمة الحاصلة تسمى مستوى الصوت ويقاس بـ (د.بل)، والاستطاعة الصوتية تحسب بالعلاقة:

$$W = 10^{0.1Lw-12} \beta.T$$

وباستخدام طرق الحساب والعلاقات المذكورة.

في المحركات العاملة يعتبر السبب الأول لظهور الإشعاع الصوتي هو العملية الحرارية المرتبطة بإعطاء الطاقة الحرارية Q_1 إلى جسم التشغيل في اسطوانة المحرك. ولمقارنة جودة تصميم المحركات المتعلقة بخاصية تحويل جزءاً من الطاقة الحرارية Q_1 إلى طاقة إشعاعية صوتية يستخدم معامل الإشعاع السمعي للمحرك:

$$n_{ak} = \frac{w}{Q_1}$$

وإذا كان في احد المحركات هذا العامل أعلى يعتبر تصميمه أقل جودة نسبة لإصدار الضجيج.

المحركات الحديثة المستثمرة على السيارات وآليات البناء والطرق، عند العمل على النظام الاسمي تصدر ٢-٣ وات من الاستطاعة الصوتية. في النقاط المجاورة للمحرك العامل على المنصة وعلى مسافة متر واحد عنه يصدر عن سطوحه مستوى الضجيج يساوي من ١٠٤ - ١٢٠ ديسيبل.

ومن الخواص الرئيسية للضجيج هو طيفه. وأجهزة السمع للإنسان لا تتفاعل بصورة مشابهة مع الأصوات ذات السعة الواحدة والترددات المختلفة.

طيف الضجيج في المحرك يبين توزيع طاقة الإشعاع في مجال الترددات.

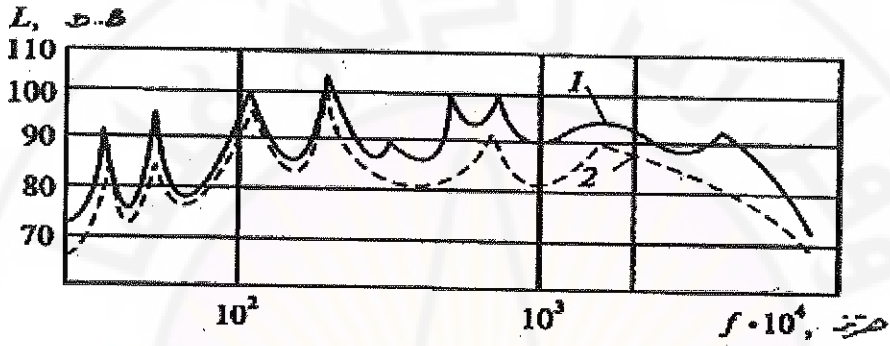
(في طيف ضجيج المحرك شكل - ٤٦ توجد مركبات محدودة يتكرر ترددها).

والإشعاع الصوتي للمحرك يمكن أن يتواجد أيضاً في مجالات ما تحت الصوتية (حتى ٢٠ هرتز).

وغالباً نسبة الطاقة الصوتية الصادرة عن المحرك تتركز في المجال من ٢٠ - ٨٠٠٠ هرتز.

والخاصية المفيدة للضجيج هي الطاقة الصوتية المنبعثة عن واحدة السطح للمحرك. وبمساعدها بسهولة يتم تصنيف المحرك وطرق تثبيت أجزائه، وتصميم الأغشية والأحواض وغيرها.

وفي المحركات الحديثة، يبلغ الانبعاث الصوتي من ٩٥ - ١١٠ ديسبيل m^2/A .



شكل - ٤٦

-النموذج الفيزيائي الرياضي لتشكيل الضجيج في المحرك:

مصادر الإشعاع الصوتي يمكن دراستها باستخدام نماذج فيزيائية بسيطة، والعناصر الأساسية للنماذج هي الوسط الناقل لطاقة الاهتزازات، واهتزاز المادة التي تعتبر مصدراً لإشعاع الطاقة في الجو المحيط.

الاختلاف الرئيسي لهذه النماذج ينحصر في أنه في حالة معينة، يكون الوسط الناقل في الوقت ذاته هو مادة المصدر الإشعاعي ويكون اهتزازها مصدراً للطاقة الصوتية.

وفي الحالة الأخرى - يفضل جزء من تصميم المحرك الذي لا يصدر طاقة اهتزازية، بل فقط ينقلها إلى عنصر آخر يعتبر بدوره مصدر انبعاث قوي.

باستخدام النموذج الأولي شكل-٤٧ a يمكن حل المسائل المتعلقة بدراسة الانبعاث الصوتي الناجم عن أجزاء الجسم. والنموذج الثاني شكل-٤٧ b يقود إلى تشكيل المسائل المتعلقة بإصدار الطاقة الصوتية من قبل عناصر المحرك أو من أجهزته في الحالات التي تنتقل إليها التأثيرات عبر الروابط الأساسية. وطبقاً للطريقة الترددية، يمكن كتابة الإشعاع الصوتي شكلياً كنتيجة جداء لثلاثة مقادير ترددية مركبة:

$$S_F(iw) \cdot \pi(iw) \cdot Z(iw) = P(iw) \quad (4.1)$$

$$P(iw) = \frac{1}{t} \int P(t) e^{-iwt} \cdot dt$$

حيث $S_F(iw)$ - كثافة الطيف لعوامل القوة المؤثرة على مصدر الإشعاع.

$\pi(iw)$ - تابع النقل لنظام اهتزاز مصدر الإشعاع.

$Z(iw)$ - معامل مقاومة الإشعاع.

$P(iw)$ - كثافة إشعاع ضغط الصوت في نقطة من الحقل الصوتي.

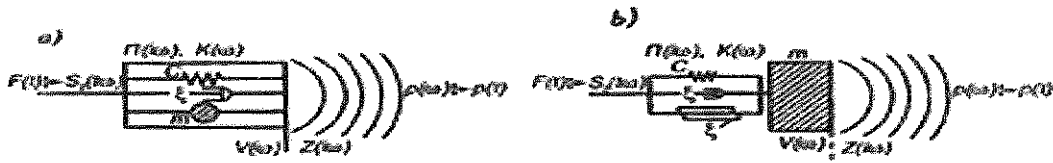
$P(t)$ - الاختلاف بالزمن للضغط الصوتي في موجة القياس.

كثافة الطيف بقوة $S_F(iw)$ تحصل نتيجة التحول التكاملي المباشر (الفوري) على القوة المؤثرة $F(t)$.

$$S_F(iw) = \int_0^w F(t) e^{-iwt} \cdot dt$$

تؤخذ حدود التكامل : زمن بداية تأثير القوة $t_0=0$. وزمن نهاية تأثيرها (t) .

ويفترض أن $S_F(iw) = 0$ عندما تكون $F(t) = 0$.



شكل - ٤٧

وسائل تخفيض ضجة المحركات:

- الأسس النظرية لتخفيض الضجيج:

إن تصنيع محرك عديم الضجيج غير ممكن كما هو غير ممكن أيضاً إنتاج محرك أبدي. لكن يمكن تصميم محركات احتراق داخلي ذات إشعاعات صوتية منخفضة ولإنجاز هذه المسألة عملياً يستحسن النظر أولاً باستخدام طرق عزل الاهتزازات وامتصاصها ووسائل عزل صوتية وأخرى لامتصاص الضجيج. وجملة هذه الوسائل عند استخدامها بالجودة المطلوبة، تؤدي إلى تخفيض ضجة المحرك.

عند تصميم المحركات من الضروري استخدام طريقة لتنظيم عمليات التصميم وتنظيم العمليات الحرارية الجارية داخل المحركات كي تولد ضجيجاً في حدوده الدنيا.

- عزل الاهتزازات وامتصاصها:

- الوسائل المستخدمة في محركات الاحتراق الداخلي، لتخفيض مستوى الاهتزازات الصوتية فيها يمكنها التأثير على كمية الطاقة المنبعثة بطريقتين:
- منع انتشار طاقة الحركة الاهتزازية في التصميم (عزل الاهتزازات).
- امتصاص (تخميد) طاقة الحركة الاهتزازية على مسار انتشارها. (امتصاص الاهتزاز)

- الطاقة الاهتزازية في مجال التواتر السمعي تنتقل في عناصر التصميم بشكل موجات طولية مرنة، انزياحية وانحنائية.

في مجال الحمولات العملية المميزة لأجزاء المحركات تكون الانزياحات متناسبة مع الجهد المؤثر.

وإن مواصفات الموجات وخواصها عند انتشارها عبر العناصر البسيطة (القضبان، الصفائح) في تصميم الآليات معروفة ومدرسة في المراجع المختلفة.

وفي المحركات وتجهيزاتها تنتشر بشكل واسع، طريقة تحريض التصميم بقوة مركزة في نقطة معينة واقعة على المسار الخطي أو على السطح. ويكون في هذه الحالة المقدار المطلوب هو الاستطاعة المنقولة من مولد التحريض إلى التصميم، التي تنتشر فيها بشكل اهتزازات. والاستطاعة المنقولة التي تستقبلها التصميم تتعلق بمقاومتها الميكانيكية نسبة إلى القوة التحريضية المؤثرة وتساوي المقاومة الميكانيكية لتصميم معين على تواتر ω مايلي:

$$Z_m = i(\omega m - \frac{K_F}{\omega}) + R_F$$

نعتبر هنا أن القوة المحرّضة F تجعل تصميم معين كتلته m يهتز بسعة a ونتيجة العطالة، تعاكس القوة المحرّضة بقوة am تسمى مقاومة العطالة. وفي نفس الوقت يمتلك التصميم المحرّض مرونة معينة K_F وله تبعاً لذلك مقاومة معينة مرنة.

إضافة لذلك للتصاميم المختلفة قدره معينة على امتصاص طاقة الاهتزاز. وفي هذه الحالة تكون القوة المعاكسة تناسبية طردية aR_F (المقاومة الميكانيكية المؤثرة) والجزء المادي للمقاومة الميكانيكية هو عبارة عن المقاومة الميكانيكية الفعّالة والوهمية - مقاومة العطالة والمقاومة المرنة.

والاستطاعة W المنقولة من المصدر إلى التصميم المحرّض تقدر بالقيمة الوسطية زمنياً للشعاع $\dot{F}_a$ (شعاع أو موف).

$$w = \frac{1}{T} \int_0^T F_{(t)} \cdot \dot{a} \cdot dt$$

$$w = F^2 \left(\frac{\cos \varphi}{2} \right) \text{ متجانسة فإن}$$

حيث F - سعة القوة.

φ - انزياح الطور بين القوة المحرّضة وسرعة اهتزاز نقطة تأثير القوة. من التعريف ومن العلاقات الأولية نرى أنه تحت تأثير المركبة الفعالة للمقاومة الميكانيكية تنخفض طاقة الاهتزاز الواردة من المصدر إلى التصميم الخاضع، والقوة التي تحرّضه.

وكلما كانت w أقل كلما كانت φ قريبة من $\pm \frac{\pi}{2}$. ويمكن أن تحصل المساواة عندما تكون $R = 0$ أي عند انعدام عملية امتصاص (تخميد) طاقة الاهتزاز في النظام الميكانيكي المحرّض وهذا غير ممكن عملياً. عند تحليل خصائص العزل الاهتزازي لتصميم المحركات أي عند دراسة انتشار الاهتزازات فيها ينظر إليها كمجموعة من الصفائح والقضبان مرتبطة فيما بينها بترتيب خاص.

والأكثر انتشاراً هو تقدير العزل (B) التابع لمجموعة معوقات معينة بشكل:

$$\beta = 10 Lg \frac{w_N}{wp}$$

حيث: الطاقة المؤثرة - w_N والطاقة المنقولة wp .

وللموجة المرنة الوحيدة يستخدم معامل انتقال الموجة المرنة $t = \frac{w_N}{wp}$ وتكون

$$\beta = 10 Lg \frac{1}{t}$$

امتصاص الاهتزاز في منظومات الاهتزاز يعبر عنه عادة بمساعدة معامل فقد

$$\eta = \frac{wR}{C} \text{ الطاقة}$$

عند تأثير قوة متناسقة في منظومة اهتزازية أولية بسيطة كتلتها m ،
والقساوة C والمفايد الداخلية R فإنه خلال نصف الدور يكون تخميد الطاقة
هو:

$$w_o = 0,5\pi.a^2.c.\eta$$

إذا اعتبرنا الطاقة الكامنة العظمى للمنظومة هي $w_p = \frac{c.a^2}{2}$ فإن معامل
الفقدان $\eta = \frac{w_o}{\pi.w_p}$ ومعامل تبديد الاهتزازات $d = \frac{w_o}{w_p} = \pi.\eta$ وهو عبارة عن
نسبة الطاقة الممتصة في المنظومة إلى الطاقة الكامنة العظمى فيها.
عند اهتزاز المنظومة، تكون قيمة الانزياح الاهتزازي متناسبة عكساً مع
معامل الفقد.

في حالة اللاهتزاز هذه القيم لاتتعلق كثيراً ببعضها. والتصميم الميكانيكي
يتمتع بخصائص امتصاصية كبيرة للاهتزاز، إذا استخدمت فيها مواد ذات
احتكاك داخلي كبير، أو إذا استخدمت مواد للتغليف ذات معامل فقدان مرتفع.
ولتبيان الخاصيتان معاً للمادة- المتانة ومقدرتها على امتصاص طاقة الاهتزاز
يستخدم نموذج أكثر تعقيداً (يونغ).

$$E = E_o(1+i\eta)$$

- عزل الصوت وامتصاصه:

مفهوم عزل الصوت يدل على تخفيض مستوى الصوت (الضجّة)، الوارد إلى مستقبله نتيجة انعكاس الموجات الصوتية عن معوقات موجودة على مسار الموجات.

فاعلية عزل الصوت تتولد دائماً عند اجتياز موجة الصوت جدار الفصل (حاجز الفصل) بين وسطين مختلفين.

كلما ازدادت طاقة انعكاس الموجات كلما انخفضت الطاقة العابرة وتبعاً لذلك كلما كانت خاصية العزل الصوتي لجدار الفصل بين الوسطين أكبر. وكلما ازدادت الطاقة الصوتية الممتصة من قبل الحاجز كلما كانت خاصية الامتصاص الصوتي أكبر.

خصائص العزل الصوتي للحاجز هي الفرق بين مستويات L_0 و L_1 على جهتي حاجز لانهائي.

والعزل الصوتي: Z_i يساوي:

$$Z_i = L_0 - L_1 = 20 Lg \frac{P_0}{P_1}$$

وقيمة العزل الصوتي عند سقوط طبيعي للصوت تحدد بوحدة الكتلة لمساحة الصفيحة ولاتتعلق بالخصائص الأخرى للعزل في الحاجز.

$$Z_i = 20 Lg \frac{w.m}{\rho.c}$$

التخفيض الأعلى للصوت يمكن الوصول إليه في المحرك عندما تتخذ الإجراءات المطلوبة عند تصنيع المحرك (التصميم، العمليات الحرارية).

وإن استخدام شاشات وهياكل وجدران مرتبط دائماً بهدر كبير في الإنتاج وفي الاستثمار، ويؤثر في بعض الحالات على اقتصادية المحرك، لذلك تتخذ

الإجراءات المذكورة إذا كانت التصميمات تتفق مع المؤشرات الصوتية النموذجية المطلوبة والتي تجعل الإشعاع الصوتي ينخفض إلى المستوى الأدنى. فالدورات الحرارية في المحرك، التي تضم الانضغاط هو الذي يحدد الحد الأدنى للإشعاع الصوتي لأطراف قوة ضغط الغازات.

وإذا أخذنا معامل عرض الطيف ما قبل التوتر المطابق للكثافة 10^{-6} م. باسكال لإجراء المقارنة اللاحقة، فإن عرض نبض القوة (هرتز) عند التدوير يكون مساوياً ربع دوران عمود المرفق. هذا العرض يعتبر الأدنى، وكل خلل حاصل لشكل النبضات المرتبط بإعطاء الحرارة إلى جسم التشغيل سوف يؤدي إلى توسيع طيف القوة المؤثرة، وهذا يمكن تقديره بنسبة اتساع الطيف ρ .

$$\rho = \frac{\Delta f_e}{\Delta f_n} = \frac{4\Delta f_c}{n}$$

وكل اتساع لطيف القوة المؤثرة مرتبط دائماً بزيادة الضجيج عند الاحتراق. ومن جملة القوانين الأفضل لإعطاء الحرارة إلى جسم التشغيل هي التي تنطبق مع شرط $\rho \rightarrow \min$. وهذه القوانين متوفرة دائماً. وأظهر البحث عن القوانين الخاصة بمحركات الديزل التي تحتوي على حجرة احتراق نصف كروية في جسم المكبس أنه يمكن إجراء دورات حرارية باقتصادية متساوية لكن بمستويات مختلفة للضجة عند الاحتراق.

L_w , D B A	١٠٥	١٠٠	٩٥
g_i	١٧٦-١٧٨	١٧٨	١٨٠-١٨١

عند صناعة المحركات المكبسية تظهر غالباً ضرورة التقديرات الحسابية لأطياف المخطط البياني بمساعدة التابع التحويلي. وعلى هذا الأساس تحسب الاستطاعة الصوتية الصادرة عن المحرك.

هذا التقدير يسمى الحساب الصوتي للمحرك. وبطريقة الحساب يمكن الحصول على جميع المركبات الأساسية للتوازن الصوتي للمحرك. وهنا يستخدم تصورات نظرية عن آلية ظهور الإشعاع الصوتي. مثال الضجة الناشئة عن عملية الاحتراق هي نتيجة تأثير نبضات الضغط في الاسطوانة على منظومة الاهتزازات الميكانيكية وهي عبارة عن بنية مادة الهيكل.

الحساب الصوتي للمحرك يضم بشكل عام:

- حساب مستويات وأطياف المخططات البيانية على أساس نمذجة العمليات الحرارية أو عامل الإعاقة.
- حساب الخصائص الصوتية العامة للمحرك أو البنية الناقلة للصوت.
- حساب المستويات والأطياف للاستطاعة الصوتية وفق مكونات التوازن الصوتي للمحرك.

نمذجة الدورة الحرارية يمكن الحصول عليها بطريقة الحساب المرحلي لعوامل الدورة نسبة لزوايا دوران عمود المرفق أو باستخدام التتابع التحليلية التي تبين الأجزاء المختلفة للمخطط البياني (الانضغاط، الاحتراق، التمدد) عند النمذجة بواسطة التتابع التحليلية فإن قوانينها العامة يمكن حسابها بتشبيه المحرك بغلاف اسطواني مكافئ له من حيث الكتلة ومساحة السطوح الخارجية والطول ومعامل بواسون، ونموذج يونغ وكثافة المادة.

والتابع المطلوب هو عبارة عن نسبة الاستطاعة الصوتية للإشعاع إلى مربع قوة ضغط الغازات.

وفي بعض الحالات بدلاً من الغلاف الأسطواني تستخدم مجموعة أغلفة كل منها يكافئ حالة اهتزازية منفصلة مثال: حوض الزيت والجسم (كتلة الاسطوانات).

في هذا المدخل يكفي تبين التابع التحويلي للمحرك بدقة، وهو يتألف من مجموعة توابع لعناصر مجموعة الحوض والجسم.

عند إجراء الحسابات الصوتية ووضع المخططات الحسابية المكافئة، تلزم معطيات معينة عن بعض خصائص المحرك وخاصة المساحة، الطول، الكتلة والثوابت الفيزيائية.

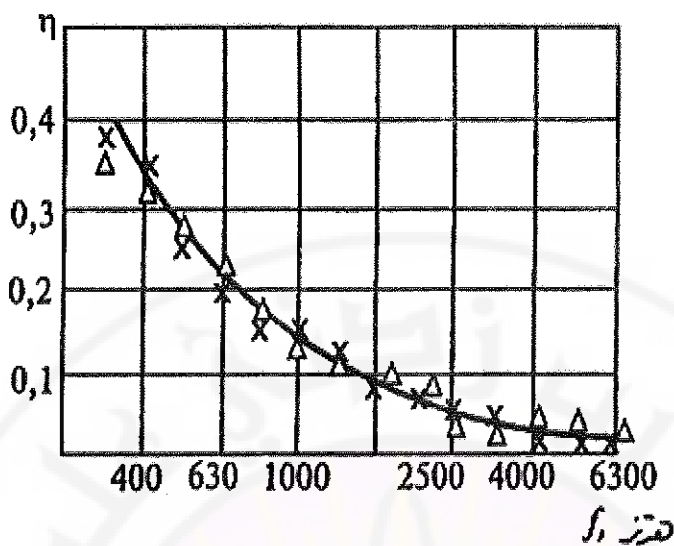
وغالباً عند حساب العوامل الهندسية والثوابت الفيزيائية تستخدم الحلول العملية، وأحياناً تستخدم لهذه الأغراض معطيات متوفرة.

ويوجد بعض الأعمال حيث تعطى فيها علاقات معروفة للكتلة تبعاً للاستطاعة E_e ، n ، $K = \frac{S}{D}$ ، D ، i ، N_e .

وتعتبر مسألة البحث عن معامل فيزيائي ثابت كمعامل الهدر أكثر صعوبة ولحسابه تجري تجارب عديدة أعطت العلاقة التي تظهر على الشكل - ٤٨.

والنتائج الحاصلة تبين التأثير الحاسم على معامل الهدر في الاحتكاك الحاصل بين الأجزاء المختلفة في المحرك. وتبين التأثير الضعيف للاحتكاك الداخلي للمادة.

وهكذا تحل مسألة الحسابات التحليلية للضجة الناجمة عند الصدمات الميكانيكية في الجملة الترددية وآلية التوزيع الغازي ونظام الوقود في الديزل.



شكل - ٤٨

على الشكل - ٤٨ تظهر أطيف المخططات البيانية التي تخص أنواع من المحركات المختلفة فيما بينها بطريقة خط المزيج وبطريقة التأثير على العمليات الحرارية.

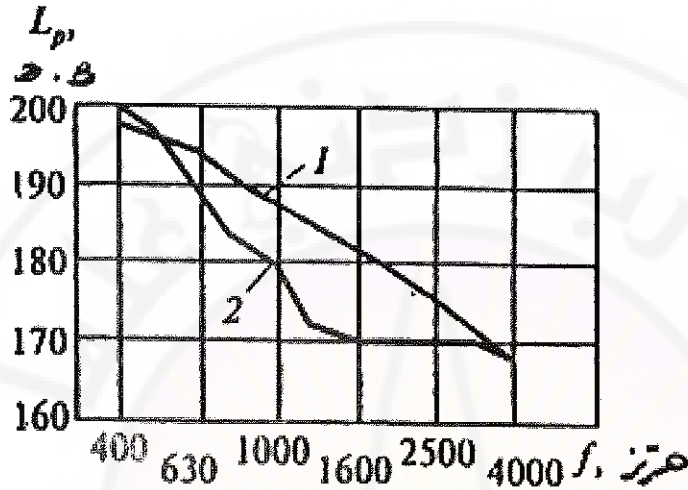
عند التنوع الواسع لطرق تنظيم العملية الحرارية يتغير عرض الأطيف في مجال واسع للغاية (٢-٦).

في محركات الديزل، أطيف المخططات البيانية أوسع مما في المحركات ذات الإشعال الكهربائي.

وتسبب مسألة زيادة نسبة الانضغاط في المحرك البنزيني، زيادة في عرض الطيف وضجة عملية الاحتراق.

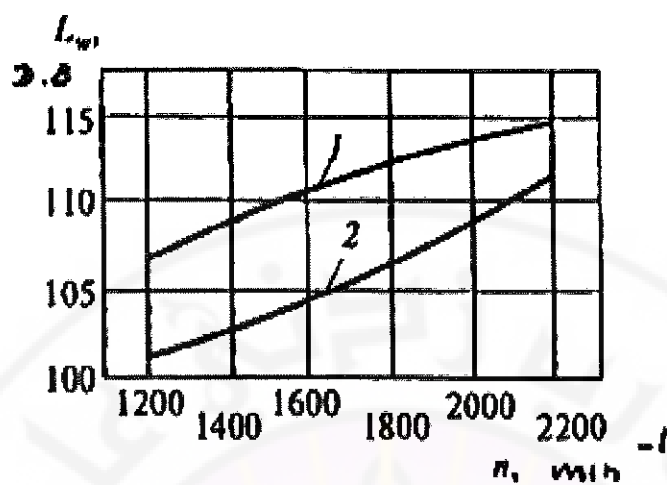
وتدل التجارب أن تحويل الديزل إلى الوقود الغازي تعتبر عملية مؤثرة على انخفاض الضجة الناجمة عن الاحتراق.

ويؤدي استخدام الوقود الغازي الطبيعي المضغوط في ديزل الشاحنة (كاماز) إلى انخفاض الطيف بثلاث وحدات عن الحد السابق في الديزل الأساسي. شكل - ٤٩ (١ ديزل، ٢ غاز).

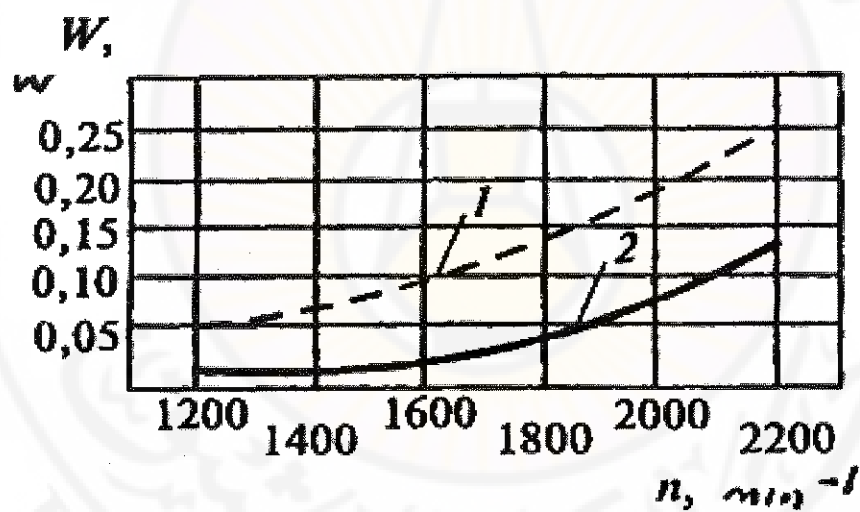


شكل - ٤٩

حيث انخفض مستوى الضجة العام بحدود ٦-١٠ ديسيبل. وعلى كل نظم العمل (السرعة، الحمولة). شكل - ٥٠، ٥١ حيث تظهر أطيف المخططات البيانية، والمستويات العامة للإستطاعة الصوتية، والإستطاعة السمعية. وهذا يدل أن طرق تنظيم عملية التشغيل (العملية الحرارية) باستخدام الطرق التقليدية لعملية الخلط وباستخدام الوقود الغازي أيضاً، تؤمن إمكانية واسعة لبلوغ معدلات جيدة للضجة في المحركات المستقبلية وذلك عند مستويات اقتصادية مرتفعة مع بلوغ الخصائص البيئية الضرورية وفق الشروط المطلوبة.



شكل ٥٠ -



شكل ٥١ -

المواد السامة في الغاز العادم

- تشكيل المواد السامة، ومعاييرها:

عند احتراق الوقود داخل اسطوانات المحركات تتشكل كمية كبيرة من المواد المختلفة السامة. وهي مؤلفة من نواتج الاحتراق غير التام وعملية التفكك الحراري لهيدروكربونات الوقود، أكاسيد الآزوت، مركبات الكبريت والرصاص.

- أكسيد الكربون (C_0) يتشكل في عملية الاحتراق عندما لا تكفي كمية الأكسجين، وعند تفاعلات اللهب البارد في محركات الديزل، أو عند تفكك CO_2 (خاصة في محركات الشرارة الكهربائية).

في المحركات العاملة بالشرارة يكون العامل المؤثر في تشكيل C_0 هو تركيب المزيج، كلما كان أغنى كلما ازدادت تراكيز C_0 . وفي محركات الديزل يتأكسد لاحقاً غاز C_0 المتشكل ولذلك فإن تراكيز هذا الغاز في غازات العادم ليست كبيرة في الديزل وتتعلق بجودة عملية المزج، كلما كانت أفضل كلما انخفضت تراكيز C_0 .

ومن علائم الإصابة بغاز CO : آلام الرأس، تسارع نبضات القلب، صعوبة التنفس والإقياء، وتنخفض دقة الملاحظة لدى السائق، وتضعف درجة رد فعله.

- الهيدروكربونات (C_H): تتألف من جزيئات الوقود الأولية أو المتحللة التي لم تشارك في الاحتراق. تظهر الهيدروكربونات في غازات العادم نتيجة انطفاء اللهب بالقرب من جدران حجرة الاحتراق الباردة نسبياً، وفي الفراغات الكائنة بين المكبس والاسطوانة في أعلى حلقة الضغط العليا.

في محركات الديزل. تتشكل الهيدروكربونات في المناطق الأكثر إغناء حيث تتفكك جزيئات الوقود.

وإذا لم تتوفر كمية كافية من الأكسجين في أثناء عملية التمدد في هذه المناطق فإنه يظهر C_H في الغاز العادم.

الهيدروكربونات يمكن أن تقذف إلى الجو المحيط نتيجة الإشعال المتقطع، أو بسبب الإحكام غير الجيد في صمام الطرد أو في نظام تهوية حوض المحرك، أو بنتيجة تبخر البنزين في خزان الوقود والمغذي.

وتزيد أعداد الهيدروكربونات المختلفة الموجودة في هذه المجموعة السامة من المواد عن ٢٠٠. وإصدارات البنزول والتولول والهيدروكربونات العطرية عديدة الحلقات وخاصة بنزو- ألفا- بنزين ($C_{20}H_{10}$) لها خصوصية معينة .

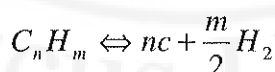
هذه المجموعة من المواد الفائقة السمية تتشكل نتيجة تحلل الأطوار الخفيفة والمتوسطة في بنية الوقود عند الحرارة من ٦٠٠ - ٧٠٠ K. وتتشكل في أثناء العمليات الجارية في الاسطوانة بالقرب من سطوحها الباردة عندما لا يتوفر الأكسجين الكافي.

كمية الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات في غاز العادم تزداد كلما ازدادت نسبة البنزول في الوقود. وهي مواد مسرطنة، وهي لا تطرد من جسم الإنسان من بعد أن تدخل إليه وتتراكم في أنسجة الجسم.

-الهباب والجزيئات الصلبة:

الهباب هو ناتج صلب مؤلف من الكربون أساساً، ويحتوي الهباب من ١ - ٣ % من كتلته على الهيدروجين.

يتشكل الهباب عندما تزيد الحرارة عن ١٥٠٠ درجة مطلقاً نتيجة التحلل الحراري الحجمي عند الافتقار الشديد للأكسجين، ويعبر عن عملية التحلل الحراري بالعلاقة التالية:



يبدأ تشكيل الهباب عندما تكون ∞ أقل من ٠,٣ - ٠,٧، ويتعلق بحرارة وضغط الغازات وبنوعية الوقود.

عندما تتساوى ذرات الكربون لدى الهيدروكربونات المختلفة يزداد الميل لتشكيل الهباب لديها كما يلي: البارفينات في الأعلى، ثم الالوفينات ثم العطرية. عند الاحتراق في محركات الشرارة الكهربائية، لا تنطبق تراكيز اشتعال المزيج مع التراكيز المعروفة لبداية تشكيل الهباب. لذلك فإن نسبة وجود الهباب في غاز العادم لمحرك الشرارة ليست كبيرة.

في أثناء عملية الاحتراق في الديزل تقترب طبقات من المزيج الغني، ذات الحرارة العالية إلى جوار الشعلة، حيث تتوفر شروط مناسبة للتفكك وذلك عند الاحتراق التداخلي وبسبب انخفاض نسبة الأكسجين كذلك.

وتبلغ أبعاد جزيئات الهباب من ٠,٤ - ٥ ميكرون. وتتعلق نسبة الهباب في غاز العادم بعملية الاحتراق اللاحقة في شوط التمدد عندما يتوفر الأكسجين، وبوجود الهباب يتلون غاز العادم باللون الأسود.

الهباب هو ملوث ميكانيكي للمجاري الأنفية والصدرية. لكن الخطر الأكبر يتمثل بمقدرة الهباب على تجميع مواد ملوثة مسرطنة على سطوح جزيئاته.

الهباب - ليس هو المادة الصلبة الوحيدة المتوفرة في غاز العادم. حيث تتشكل مواد صلبة أخرى من المواد الموجودة في تركيب الوقود كالكبريت، المعلقات الزيتية والوقود الذي لم يحترق.

إضافة لذلك في الغاز العادم يمكن أن تتواجد نواتج احتكاك الاسطوانة. وكل المواد التي تتراكم على المصافي الخاصة التي تمر خلالها غازات العادم هي جزيئات صلبة أيضاً.

ووجود نواتج الاحتراق غير التام في غاز العادم (CH_4, CO ، الهباب) ليس مرغوباً وليس بسبب سميتها فقط بل لأنها تسبب ضياع حراري معين وانخفاض اقتصادية المحركات.

-أكاسيد الآزوت (NO_x):

عندما تزيد الحرارة في الاسطوانات عن ٢٠٠٠ درجة مطلقة فإن الآزوت والأكسجين يتفاعلان كيميائياً وفق آلية تسلسلية:



والفاعل الأول هو الأساس وتتعلق سرعته بتركيز الأكسجين الذري. عند الاحتراق يتشكل في الاسطوانة NO أول أكسيد الآزوت أساساً (أكثر من ٩٥ %) من كمية جميع أكاسيد الآزوت الناتجة.

في محرك الشرارة يتشكل أكسيد الآزوت خلف جبهة اللهب في منطقة نواتج الاحتراق حيث تبلغ الحرارة القيمة العظمى. ويزداد تشكل NO بشدة بزيادة الحرارة وزيادة تراكيز الأوكسجين. وفي الديزل تتعلق تراكيز NO بالتركيب المحلي للمزيج وبدرجة الحرارة.

والكمية الأكبر لغاز NO تتشكل في مناطق الشحنة التي تحترق أولاً والتي تتواجد لوقت أطول عند حرارة تزيد عن ٢٠٠٠ درجة مطلقة.

من جهة أخرى فإن خروج NO يتعلق بسرعة تبريد نواتج الاحتراق. وتبين أنه عند $1 > \infty$ وعندما تنخفض حرارة الغازات في شوط التمدد في الاسطوانة، فإن تراكيز أكسيد الآزوت لا تنخفض إلى المستوى المعتدل بل تبقى في المستوى الأعظمي وتسمى هذه الحالة (الاستسقاء).

وفي محرك الشرارة عند $1 < \infty$ لا تظهر هذه الحالة. وفي خارج الاسطوانات (في مجرى الطرد وفي الجو المحيط). No يتأكسد إلى No_2 (ثاني أكسيد الآزوت) الذي تتخفض سموميته لدرجة كبيرة.

No_2 يؤثر سلباً على الغدد الدرقية والأنف وعلى الجهاز العصبي للإنسان.
- المواد السامة الأخرى (اللامعيارية):

يخرج حوالي ٥٠ - ٧٠% من الرصاص الموجود في البنزين إلى الجو المحيط مع غاز العادم بشكل أملاح رصاصية أي بشكل جزيئات قطرها أقل من واحد ميكرون.

هذه الجزيئات تدخل في جسم الإنسان مع الهواء أو من خلال الجلد. مركبات الرصاص سامة للغاية ولا تطرح من الجسم بل تتراكم فيه. وهي تؤثر بشكل خطر على الجهاز العصبي المركزي وتسبب حالات عصبية ونفسية.

الكبريت الذي يتواجد أساساً في وقود الديزل ينبعث إلى الهواء الجوي بشكل ثاني أكسيد الكبريت الذي يضر كثيراً بالمزروعات والنباتات، ويؤثر بشكل خطر على المجاري التنفسية وعلى العين والأنف.

وبوجود الرصاص والكبريت في غاز العادم لا يسمح باستخدام موانع التلوث (المحييدات).

-الأوزون، السموغ، الأمطار الحمضية وأثر الدفينة.

بوجود الهيدروكربونات (أو جذورها) في الغلاف الجوي الساكن، وأكاسيد الآزوت وأكسيد الكربون وعند النشاط الإشعاعي الشديد للشمس يتشكل غاز الأوزون O_3 ، الذي يعتبر مؤكسداً شديداً ويسبب لدى الإنسان عند تركيز معين خطورة على أحاسيسه.

عند التراكيز العالية (وفي الجو الساكن والرطب للغازات CH_4 ، O_3 ، NO_2). يظهر ضباب بني اللون يسمى السموغ (من كلمتي معناهما بالعربية دخان - ضباب) وهو عبارة عن مزيج من مركبات سائلة وغازية يؤثر على العين والغدد الدمعية ويضعف الرؤية.

في الغلاف الجوي تتفاعل أكاسيد الكبريت وأكاسيد الآزوت مع بخار الماء وتشكل حموضاً تسقط على الأرض مع المطر (المطر الحمضي). وتسبب خطراً كبيراً في النباتات والأبنية وتسبب تسارع في عملية صدأ المعادن. في الطبقات العليا للجو يتمدد خليط الغازات المؤلف من ٦٠-٩٠ % من بخار الماء. هذا المزيج من الغازات مع الأشعة تحت الحمراء يمنع نقل الحرارة عن سطح الكرة الأرضية مما يرفع درجة حرارتها الوسطية. وبزيادة درجة الحرارة الوسطية على سطح الأرض تتولد ظاهرة الدفيئة. ومن أهم الغازات الرئيسية للدفيئة هو غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 . ولذلك فإن تخفيض اصدرات هذا الغاز أصبح مسألة بيئية حادة.

التحكم بمعايير الغازات السامة في المحركات العاملة بالشرارة الكهربائية:

- الطرق الرئيسية لتخفيض سموم غازات العادم:

تخفيض سمية الغاز العادم (غ.ع) إلى الحدود المعيارية المسموحة تعتبر عملية علمية - تقنية معقدة. حيث أن كلفة هذه الوسائل أو تلك مع المحافظة على العوامل الاقتصادية وعوامل الطاقة المرتفعة للمحركات تعتبر مسألة فائقة الأهمية.

وأهم وأول الخطوات المعتمدة في هذا الاتجاه هو تطوير وتحسين العمليات الحرارية المختلفة في المحركات "عملية المزج، الاحتراق، والوصول إلى الحالات المثالية للتحكم بالمحرك وقيادته".

ولقد بينت التجارب أن بلوغ المستوى المطلوب من سمومية غاز العادم الذي تتطلبه المعايير والقوانين الدولية في الدول المتقدمة غير ممكن.

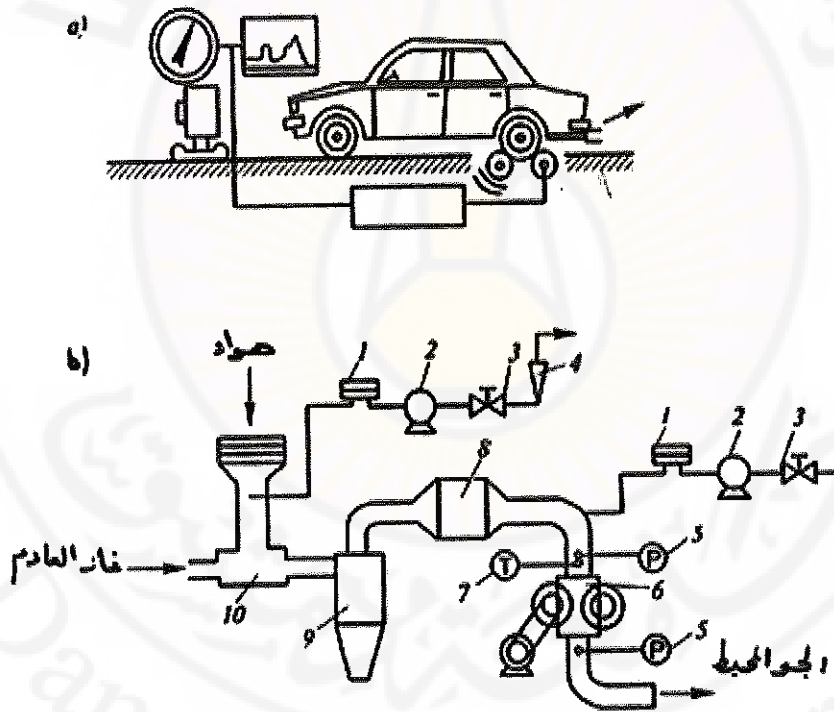
لذلك اعتمدت طريقة أخرى بشكل أوسع - تحييد الغازات العادمة في مجرى الطرد: حيث يتم تحييد الغازات السامة (No_x ، CH ، Co) الخارجة من الاسطوانات وذلك في المجرى قبل طردها خارجاً إلى الجو المحيط.

إن استخدام هاتين الطريقتين لا يسمح بالتخلص من مركبات الرصاص، SO_2 ، والمركبات الهيدروكربونية عديدة الحلقات العطرية إلى المستويات المطلوبة.

وهذا ما يستوجب الشروع بالطريقة الأخرى - تحديد نسبة وجودها في الوقود.

والطريقة الرابعة لتخفيض المواد السامة في غاز العادم مرتبطة بزيادة تحسين اقتصادية المحركات من الوقود، وبالانتقال إلى الوقود الذي لا يحتوي على الكربون (الهيدروجين مثلاً).

تخفيض سمومية غاز العادم. يمكن بلوغه بطريقة تشريع القوانين التي تحدد الإصدارات المختلفة للمواد السامة. لهذا الهدف أنجزت قوانين وقواعد ومعايير لمختلف الإصدارات المسموحة. (No_x, CH, Co) وإضافة لذلك توجد معدلات تخص الدخان في محركات الديزل. وظهرت في الآونة الأخيرة معدلات خاصة بالجزيئات الأخرى. وبزيادة أساطيل السيارات في العالم تدخل معدلات ومعايير أكثر شدة في متطلباتها.



توجد في الولايات المتحدة حالياً معايير مختلفة معمولة خصيصاً لأمريكا وأوروبا واليابان وهي عبارة عن معايير ومواصفات إقليمية قاسية بمتطلباتها تجاه الإصدارات.

ومن الاختبارات المعمولة بها:

-اختبارات النوع الأول:

مراقبة يقوم بها الخبراء في الظروف الاستثمارية أو في محطات الصيانة الفنية. هذه الاختبارات تتميز بالبساطة وتستخدم تجهيزات تحليل رخيصة الثمن.

- اختبارات النوع الثاني:

الاختبارات الرسمية المعتمدة أصولاً وهي دورية وخاضعة للمراقبة. وتحتاج إلى تجهيزات مكلفة وخاصة ومعقدة وتسمح هذه الطريقة بالحصول على المعطيات التامة عن سمومية غاز العادم في السيارات.

وهنا تحدد أنواع السيارات المختبرة وطريقة إجراء الاختبار ونظم وحجم الاختبارات. والمتطلبات من التجهيزات ودقة القياس، وتسلسل معالجة النتائج وكذلك تحدد المعايير القصوى المسموحة للإصدارات السامة.

- مراقبة سمومية غازات العادم عند استثمار السيارات:

تجري هذه المراقبة لجميع السيارات التي لا تقل كتلتها من ٤٠٠ كغ والمجهزة بمحركات تعمل على البنزين أو الغاز.

على السيارة المتوقفة التي تم تشغيل محركها تفحص نسب كل من CH_4 ، CO في غاز العادم في نظامين: على اللاحمل، وعند الدوران الأدنى وعند دوران مرتفع في مجال ما بين 3000 ± 1000 دورة في الدقيقة.

وتقارن النتائج مع النسب المعيارية المعتمدة.

- مراقبة سمومية الغازات على منصة الاختبار:

تنفذ هذه المراقبة على منصة اختبار مكبحية (تحميل كهربائي) تحتوي على طنبور متسارع وتجري للسيارات ذات الكتلة ما بين ٤٠٠ - ٣٥٠٠ كغ.

تعطينا المنصة إمكانية الحصول على مخطط الحركة المعطلة (التغير المعطى للسرعة تبعاً للزمن) طبقاً للدورة الحركية المعطاة وذلك بطريقة التأثير على تجهيزات القيادة في المحرك (صمام التحكم في البنزين أو الجريدة في مضخة الضغط العالي في الديزل).

عندئذ فإن تجهيزات الفرملة (التحميل) على المنصة يجب أن تؤمن تحميل المحرك طبقاً لكتلة السيارة.

ولمحاكات حمولات العطالة عند التسارع وعند الكبح يتم اختيار كتل العطالة المطابقة. يتم أخذ عينات من الغاز العادم لتحليلها بواسطة جهاز خاص ثابت الحجم لأخذ العينات وهو مخصص لخلط الغاز العادم بالهواء، ومقياس التصريف الحجمي العام لخليط الغاز العادم مع الهواء.

هذا التصريف يبقى ثابتاً مع اختلاف نظام حركة السيارة ويؤمن بواسطة مضخة معيارية روتيرية شكل-٥٢ أو بواسطة فوهات خاصة.

درجة خلط غاز العادم يجب أن تكون كافية لمنع حدوث تكثيف لبخار الماء في مختلف نظم العمل.

وتضاف كمية من الهواء إلى غاز العادم وتتخذ عينات غاز العادم عند التحليل عبر المصفاة ١، والمضخات ٢، والصمام ٣، ومقياس التصريف ٤ في أوعية مرنة. عندها يتناسب التصريف الحجمي لعينات الغاز العادم الممزوجة طرداً مع التصريف الكتلي العام لها.

بما أن تركيب الهواء الممزوج، والهواء الداخل إلى المحرك هو واحد، فإن تحليل هذا الهواء يسمح بإهمال النسب الضئيلة التي يمكن أن تدخل من الهواء الجوي إلى غازات العادم لكل من CH ، CO ، NO_x .

المبادل الحراري ٨ يحافظ على درجة حرارة مزيج غاز العادم مع الهواء أمام أجهزة القياس في مجال ± 6 درجات عن القيمة المعطاة من قبل المنظم (لا يظهر على المخطط).

تحليل CO_2 و CO يجري بواسطة محلل غازي مشيت للأشعة تحت الحمراء. CH - بمحلل تأبين - على اللهب و NO_x بمحلل كيميائي.

طريقة أخذ العينات لتحليل CH يجب أن تمنع التكاثر في المجرى من نقطة قطف العينة إلى جهاز التحليل.

معالجة نتائج الاختبار بالمعادلات الموصوفة في نظام المواصفات تسمح بالحصول على نسب (CH ، CO ، NO_x) بالغرام، أو بالغرام/كيلومتر.

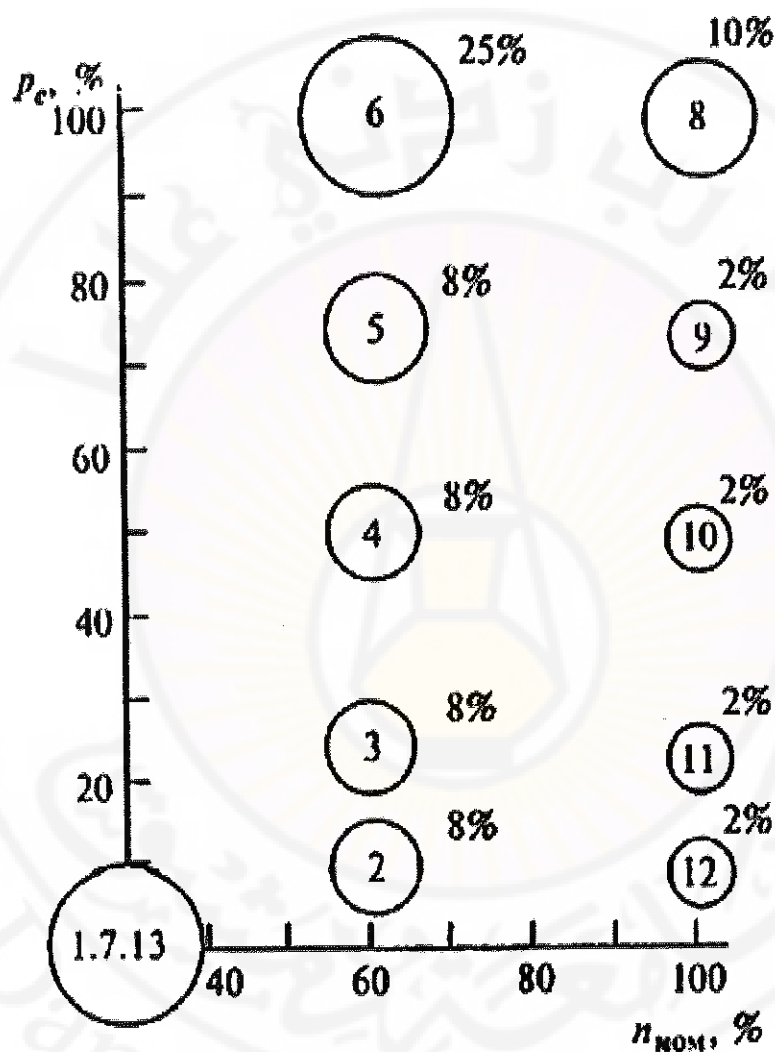
- التجارب المخبرية للمحرك على النظام الدوري ١٣ :

تجري هذه التجارب رسمياً بشكل دوري للمحركات البنزينية المستخدمة للسيارات التي تزيد كتلتها عن ٣،٥ طن.

وبموجب ذلك تحدد نسب الغازات (CH ، CO ، NO_x) في غاز العادم للمحرك المركب على منصة الكبح، وذلك عند إجراء ثلاثة عشر نظام مستقر مختلفة شكل -٥٣.

تحليل غازات العادم لحساب (CH ، CO ، NO_x) يجب إجراؤه بمساعدة تجهيزات تحليل سريعة الفاعلية بصورة مستمرة ومباشرة خلال الاختبار. وعند الاختبار تقاس: سرعة الدوران، التخلخل في مجرى الدخول، الضغط الجوي، استهلاك الوقود، حرارة الجو المحيط وعزم المحرك.

وبواسطة المعادلات المعتمدة ومن خلال القيم المقاسة تجريبياً تحدد النسب لكل من (No_x, CH, Co) بـ غرام/ك وات. ساعة، أو غ / حصان. ساعة .



شكل - ٥٣

اختبارات أخرى:

مراقبة إصدارات C_O على نظام اللاحمل، ومراقبة مسألة انعدام انبعاثات الغازات من خزان الوقود وهي نادراً ما يتم إجراؤها عملياً. ويوجد اختبار لمراقبة انبعاثات الهيدروكربونات وتبخّر البنزين. وهناك اختبار للسيارات الحديثة (بعد العام ٢٠٠٣) ويتطلب إجراء التجارب عند الحرارة المنخفضة (-٧) ويتألف من أربع دورات للسيارة في المدينة. ولا يجب أن يزيد إصدار CH عن ١,٨ غ/كم، و C_O ١٥ غ/كم. وذلك لتخفيض إصدارات كل من CH ، C_O عند إقلاع المحرك البارد وتسخينه ويوجد اختبارات أخرى أيضاً.

- تخفيض نسب الغازات السامة في العادم في المحرك العامل بالإشعال الكهربائي:

لتخفيض نسب الغازات السامة، تستخدم إجراءات ووسائل مختلفة من بينها تجهيزات خاصة وأنظمة خاصة. ويتم اختيار طريقة المعالجة نسبة لمستوى سمية الغازات العادمة المطلوب تحقيقه.

- تطوير وتحسين نظم التغذية بالوقود ونظام الإشعال:

تؤثر خليطة الوقود بشكل ملموس على تركيب الغاز العادم شكل - ٥٤ وتفسر زيادة نسب الغازات كأول أكسيد الكربون والهيدروكربون عند اغناء المزيج، بالعوز الكبير للأكسجين، ومن جهة أخرى، عند العمل على الخلط الفقيرة جداً تزداد نسب CH بسبب الانقطاع الحاصل للاشتعال.

تركيز NO_x عند إفقار الخليط إلى 1,05 $\approx$ يزداد بسبب كمية O_2 في غاز العادم وزيادة الحرارة خلال عملية الاحتراق. وعند الافقار المستمر للخليط، يلعب عامل انخفاض حرارة الاحتراق الدور الأساسي.

من جهة أخرى، زاوية تسبيق الاشتعال $\phi_{0.3}$ تؤثر بشدة على الإصدارات
CH ، NO_x شكل ٥٥

هذا التأثير مرتبط بذلك لأنه عند زيادة $\phi_{0.3}$ تزداد حرارة الاحتراق وتزداد
معها إصدارات NO_x . وبانخفاض $\phi_{0.3}$ ينتقل الاحتراق إلى منحنى التمدد،
وتزداد حرارة الغاز في نهاية شوط التمدد وفي مجرى الطرد، حيث يحصل
تأكسد تام للغاز CH .

لذلك في المرحلة الأولية لمكافحة الغازات السامة تستخدم أساساً جملة من
التدابير الموجهة لإتمام عملية احتراق الوقود بتحسين طريقة إعطاء المزيج
واشعاله بشكل موثوق ومستقر .

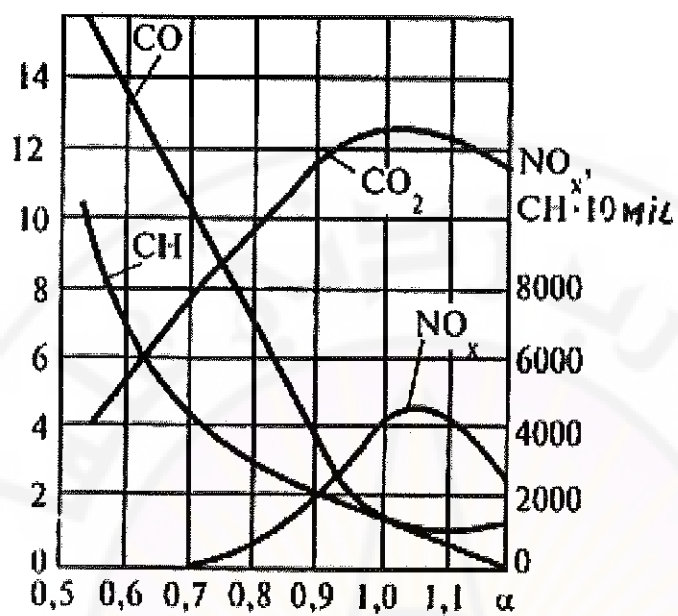
ومن الطرائق المتبعة والمؤثرة في تخفيض إصدار الغازات السامة في
محركات الشرارة الكهربائية هي طريقة استثمار الوقود الغازي المضغوط
والمميع .

وبتحويل المحركات للعمل على الغاز المضغوط نحصل على نتيجة ملموسة
لتحسين العامل البيئي .

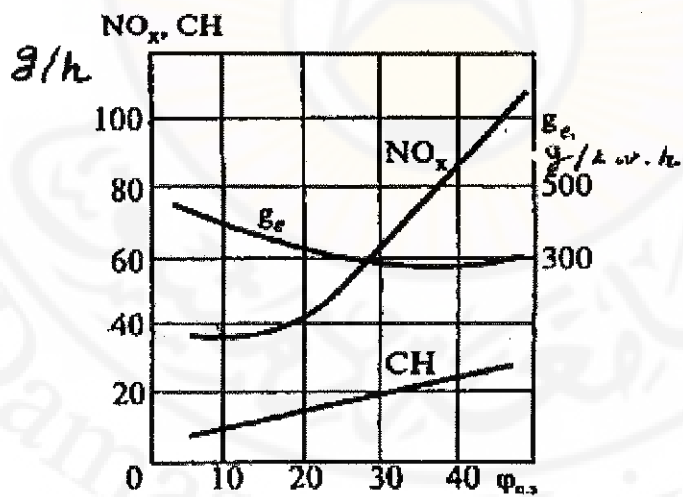
مثال: يلاحظ عندها انخفاض نسبة أول أكسيد الكربون بمرتين و CH بنسبة
١٥-٤٠ % وأكاسيد الآزوت بنسبة ١٥ % .

وعند العمل على الغاز المضغوط ينخفض إصدار CO₂ وتتعدم إصدارات
الهيدروكربونات الثقيلة في غاز العادم. هذا ولقد احتاج الأمر العمل على طرائق
أخرى لتخفيض الغازات السامة لأن هذه الطرق المذكورة وصلت إلى نهايتها.

CO, CO₂, %



شكل - ٥٤

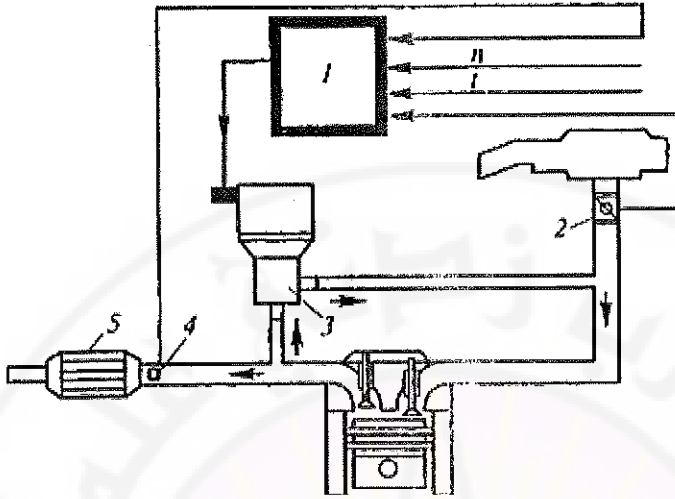


شكل - ٥٥

-إعادة تدوير الغاز العادم:

تدوير الغاز العادم يجري عبر تصريفه من مجرى الطرد إلى مجرى الدخول
شكل - ٥٦.

في المحركات التي تتغير فيها أطوار التوزيع الغازي، وعند الانفتاح المبكر
لصمام السحب أو عند الإغلاق المبكر لصمام الطرد تزداد كمية الغاز المتبقية
في الأسطوانة، وبذلك يحصل ما يسمى التدوير الداخلي للغازات. ونتيجة ذلك
تزداد كتلة مزيج التشغيل (وبزيادة مرافقة للسعة الحرارية) مما يسبب انخفاض
حرارة الاحتراق ونتيجة ذلك تنخفض عملية تشكيل أكسيد الآزوت. ولذلك فإن
إعادة التدوير تستخدم كوسيلة لتخفيض إصدارات أكاسيد الآزوت.
عند تدوير الغازات ينخفض قليلاً الضياع الميكانيكي في شوط السحب مما
يفترض تحسن اقتصادية عمل المحرك. إضافة لذلك عند تدوير الغازات ينخفض
الضياع المتعلق بعملية تفكك الغازات وفي عمليات الانتقال الحراري.
ويزداد بذلك المردود الحراري قليلاً (بسبب انخفاض السعة الحرارية نتيجة
انخفاض الحرارة وتبعاً لذلك زيادة مؤشر أدبيات نواتج الاحتراق).



شكل - ٥٦

- ١- وحدة التحكم ٢- حساس وضعية صمام التحكم ٣- صمام التدوير ٤ دليل الأكسجين ٥- المحييد

من جهة أخرى باستمرار زيادة تدوير الغاز العادم تزداد عملية الانبعاث الحراري وتزداد ظاهرة عدم استقرار الدورات الحرارية اللاحقة ويزداد إصدار الغاز H_C .

ونتيجة التأثير المشترك للعوامل السابقة وبزيادة تدوير الغاز فإن اقتصادية المحرك تتحسن في البداية قليلاً وتراجع بعد ذلك وهذا يحدد جدوى درجة التدوير R_c .

$$R_c = \frac{M_R}{M_T + M_B + M_R} \cdot 100$$

حيث M_R و M_T و M_B - كتلة الغازات المدورة، الوقود، الهواء على التوالي.

وتبين عملياً انه عندما تكون $R_c = 10-20\%$ يمكن أن تنخفض إصدارات NO_x بحدود $60-80\%$.

أما تراجع اقتصادية المحرك فيلاحظ عادة عندما تكون $R_c > 10\%$. عندئذ تبدأ g_e بالازدياد في المحركات ذات الاحتراق السريع عند القيم الكبيرة لـ R_c . وللتخلص من زيادة g_e ومن إصدار H_c يجب ألا تزيد R_c عادة عن 20% . تبعاً لحمولة المحرك من الضروري تغيير درجة التدوير الأمثل: وبزيادة الحمولة تزداد الحرارة العظمى للدورة الحرارية ويصبح جسم التشغيل أكثر فقراً بالوقود ولذلك يستحسن زيادة R_c .

عند الفتح الكامل لصمام التحكم، لا تسمح عملية تدوير الغازات بالحصول على الاستطاعة الكاملة لذلك يستحسن أن تكون $R_c = 0$ على هذه الأنظمة. يتم تغيير R_c تبعاً للحمولة بواسطة صمام هوائي خاص للتدوير. يتم التحكم بتدوير الغاز وتحويله إلى مجرى السحب وتنظيمه بحيث يتأمن التوزيع المتوازن للغاز بين الاسطوانات.

وفي الدارات المتطورة لتدوير الغازات يستخدم صمام الكتروني خاص مما يسمح بالحصول على علاقة مفيدة لتغيير R_c تبعاً لنظام عمل المحرك. وهناك أهمية كبيرة لهذا الهدف عند العمل على النظم الانتقالية. حيث لا يزيد زمن فتح وإغلاق الصمام عن $20-100$ م. ثانية، وهذا يسبب انخفاضاً كبيراً في إصدار أكاسيد الآزوت عند إجراء التجارب العملية.

معالجة الغازات العادمة وتحييدها:

تسمى التجهيزات المصنعة خصيصاً لمعالجة الغازات العادمة في مجرى طرد الغازات في المحرك (المحييدات) أو المحفزات.

-المحييدات المؤكسدة ذات الحفاز:

هذه المحييدات مهمتها أكسدة CO و CH. وهي تعمل بفاعلية عند الحرارة ٨٠٠-٣٠٠ . أو عند الحرارة الأعلى، أو عند استخدام إيثيل الرصاص في البنزين تنخفض بسرعة فاعلية الجهاز. والمحفزات تستخدم البلاتينيوم والبلاديوم. المحييدات المؤكسدة يلزمها مضخات هواء خاصة (عندما تكون $\infty < 1$). وهنا تبقى مسألة إصدار أكاسيد الآزوت قائمة تستوجب المعالجة.

-المحييدات الثلاثية (المحفزة):

لتتحييد NO ومعالجته تستخدم تفاعلات الاسترجاع، إلى عنصر الآزوت N_2 أو الأمياك NH_3 . وتستخدم الغازات H_2 ، HC، CO الموجودة في غاز العادم لعملية الاسترجاع. عند عمل المحرك على مزيج متوازن يتولد الآزوت N_2 وعند العمل على الخلائط الغنية NH_3 .

ولتخفيض كلفة المحييدات تستخدم محفزات ثلاثية معدنية: بلاتين، الروديوم، البلاديوم بنسبة ١ : ١ : ١٦ أو ٢٨ : ١ : ١. ويلزم للمحييد الواحد من ١,٥ - ٣ غ من البلاتين.

ولايسمح باستخدام البنزين الاتيلي عند استخدام المحييد الثلاثي.

عند استرجاع NO، تحصل عملية أكسدة HC، CO في وقت واحد معاً.

هذا المحييد يسمى ثلاثي التركيب (مسترجع ومؤكسد).

نسبة التحول التحفيزي للغازات المختلفة في الحفاز، تقدر بمعامل التحويل:

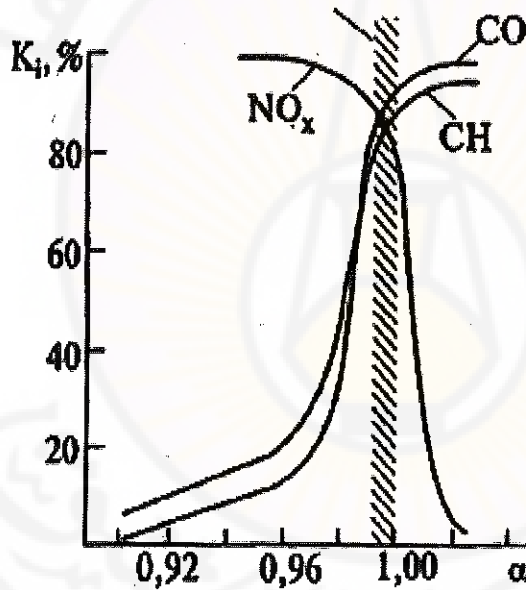
$$K_i = \frac{C_{iB} - C_{iBu}}{C_{iB}} 100\%$$

حيث K_i - معامل تحويل المركب المعني.

$C_{iB} - C_{iB}$ - نسبة تركيز هذا المركب على مدخل ومخرج الحفاز.

القيمة العظمى للمعامل K_i شكل ٥٧- في آن معاً وفق ثلاث مركبات معيارية تبلغ ($K_i \approx 0,9$). وذلك عند عمل المحرك على المزيج الغني (٠,٩٨ - ٠,٩٩). لأنه في هذه الحالة تبدو كمية الأوكسجين المتحررة عند ارجاع No كافية لأكسدة CH, CO, H_2 .

منطقة العمل



شكل ٥٧

وبالقرب من المزيج المتجانس لا تتغير معاملات التحويل إلا فيما ندر.

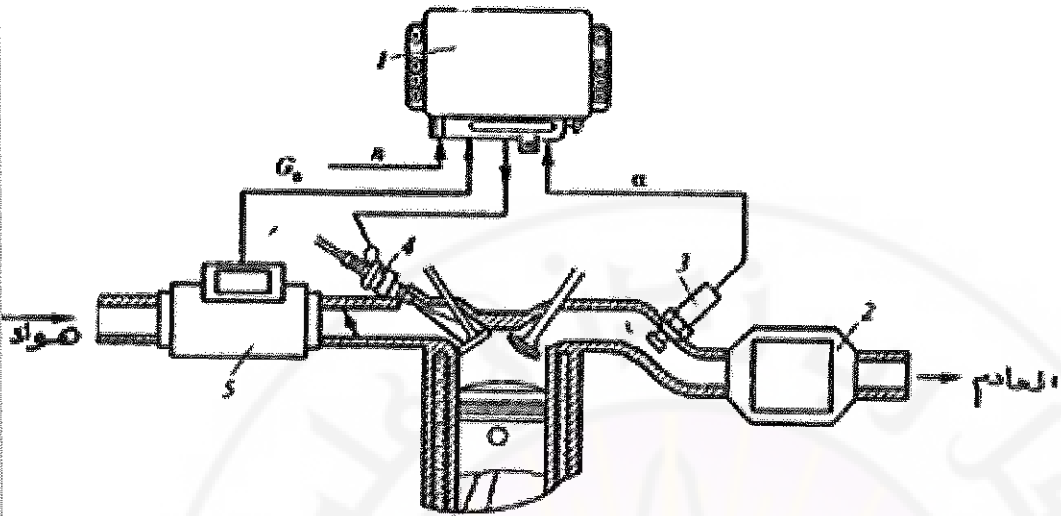
لذلك ولكي يعمل المحييد بشكل فعال يجب المحافظة على تركيب المزيج بدقة عالية حول (≈ 1) وهذا يمكن الوصول إليه بطريقة استخدام دائرة الحقن الألكتروني للوقود ذات الرابطة العكسية شكل - ٥٨.

فترة الحقن تحددها وحدة التحكم الالكترونية ١ تبعاً للإشارات التي تبين مصروف الهواء والدوران، والإشارات الصادرة عن دليل الأكسجين (١) الحساس.

على نظام الإقلاع وتسخين المحرك يتم تصحيح فترة الحقن تبعاً للحالة الحرارية للمحرك وحرارة الهواء.

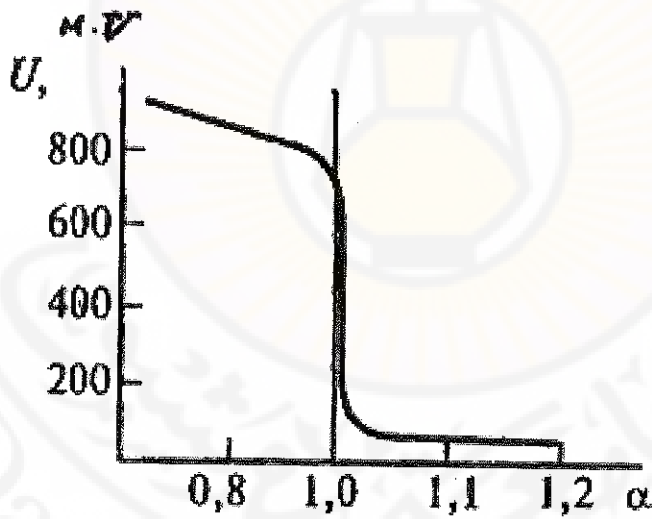
وعند انتقال تركيب المزيج من الحالة المتجانسة إلى حالة الخلائط الفقيرة ينخفض بشكل حاد التوتر على مخرج دليل الأكسجين (من ٧٠٠ - ١٠٠٠ إلى ٥٠ - ١٠٠ م. فولط شكل - ٥٩) وتسمح خواص ١ بتحديد التركيب المتجانس للمزيج بنسبة الخطأ التي لا تزيد عن $\pm 0,5\%$ والأداء الفعال للدليل ١ يكون عند الحرارة ٨٥٠ - ٩٠٠ مئوية وعند الحرارة الأعلى يمكن أن تظهر بداية تفكك طبقة الإلكتروود.

وعادة ما يركب دليل ١ إما على مخرج مجرى الطرد أو في بداية مجرى السحب.



شكل - ٥٨

- ١- وحدة التحكم ٢- المحييد الثلاثي ٣- الحساس λ ٤- البخاخ الكهربائي
٥- مقياس مصروف الهواء



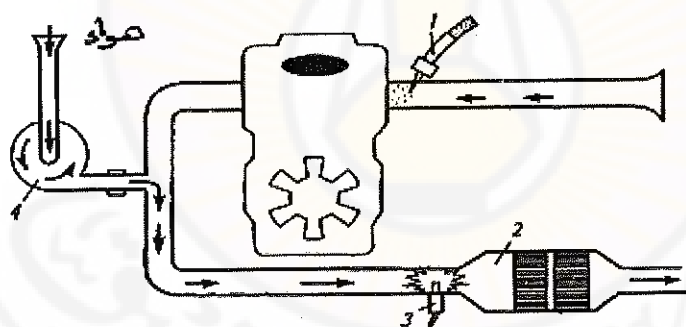
شكل - ٥٩

- تخفيض إصدارات CH عند الإقلاع وعند تسخين المحرك:

عند إقلاع المحرك البارد لا ينشط المحييد الحفاز لأن الحرارة بداخله ليست عالية بما فيه الكفاية، إضافة لذلك يكون عمل المحرك في أثناء ذلك قائماً على الخلائط الغنية ولا يوجد عندها أثر للأكسجين اللازم لأكسدة CH في المحييد. سمومية غاز العادم عند الإقلاع والتسخين تحدد من خلال المعايير والمواصفات المعمول بها.

ولذلك تزداد عملية استخدام طرق أخرى للتعجيل بتسخين المحييد الحفاز وإعطاء الهواء إلى تيار الغازات العادمة قبل الحفاز وذلك بواسطة مضخة كهربائية خاصة.

التسخين المتسارع للحفاز يحصل بطريقة وضعه بالقرب من المحرك، وبالعزل الحراري لمجرى الطرد بين صمام الطرد والحفاز، وبالتسخين الكهربائي للحفاز، وتسخين الحفاز بطريقة حرق الوقود في الأمام وذلك بحرق خاص شكل - ٦٠.

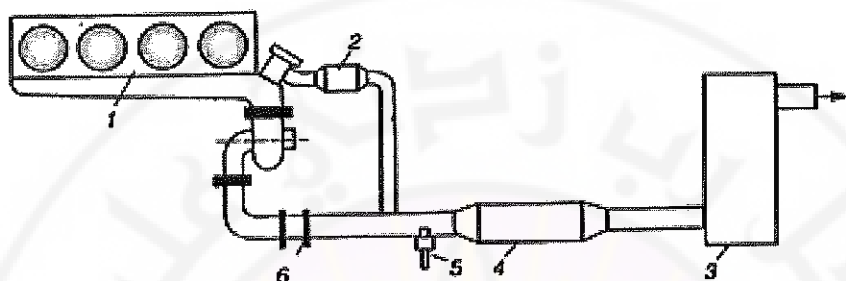


شكل - ٦٠

١- بخاخ ٢- محييد ٣- شمعة ٤- مروحة هوائية

أو بتخفيض زاوية تسبيق الاشتعال أو بإعطاء كمية قليلة من الوقود وإحراقها في شوط التمدد بهدف زيادة حرارة غازات العادم.

بما أن الدليل λ يبدأ العمل عند الحرارة $t=300^\circ\text{C}$ فإنه يستخدم غالباً التسخين الكهربائي. وفي بعض الحالات يستخدم حفاز إقلاع شكل - ٦١ تكون أبعاده صغيرة نسبياً بالمقارنة مع الحفاز الأصلي ويركب أمامه أو بالتوازي معه.



شكل - ٦١

- | | | |
|-------------------|----------------|------------------------|
| ١- محرك | ٢- محييد أولي | ٣- كاتم ٤- محييد أساسي |
| ٥- حساس λ | ٦- صمام التحكم | |

وفي الحالة الأخيرة يوجه تيار الغاز العادم إلى الحفاز المقلع الذي يسخن بسرعة.

وبعدها يوجه تيار الغاز العادم إلى الحفاز الأساسي بواسطة صمام خاص. هذا وتبقى عملية معالجة الإصدارات CO و CH على أنظمة الإقلاع والتسخين مسألة حيوية (تكثيف حركة الشحنة، وإفطار المزيج، زيادة قدرة الشرارة الكهربائية، امتصاص CH وغيرها).

- أنواع جديدة من الوقود:

هناك آفاق معينة مرتبطة بتحسين مواصفات البنزين وتطورها ولها تأثير على سمومية غازات العادم، ومنها تخفيض الرصاص في البنزين والكبريت والهيدروكربونات العطرية (لتخفيض إصدار المواد المسرطنة). وقد بينت اختبارات المقارنة التي أجريت باستخدام نوعين من البنزين على السيارات: نموذجي وفق المواصفات وآخر محسن ($\frac{1}{3}$ الهيدروكربونات العطرية استبدل بالأثير).

بينت هذه التجارب أنه عند استخدام النوع الأخير انخفضت إصدارات CH بنسبة ١٠ %، Co بنسبة ٢٠ %، و NO_x بنسبة ٣٣ % وبنسبة كبيرة انخفضت إصدارات الرصاص والكبريت والمواد المسرطنة الأخرى. وبينت التجارب أن إضافة ١٥ % من الميثانول CH₃OH إلى البنزين يسبب انخفاض إصدار المواد الضارة بنسبة ٢٥-٣٠ % وعند العمل على الميثانول تصل نسبة انخفاض هذه المواد إلى حوالي ٥٠ %.

أما الصعوبات المتعلقة باستخدام الميثانول فتتمحور بالسمية وبازدياد ظاهرة الصدأ والتآكل نسبة للمعادن والمواد الأخرى البلاستيكية والمطاطية.

وللتخلص التام من CH, Co₂, Co في غاز العادم يستخدم الهيدروجين كوقود للمحركات، لكن عندئذ تتشكل حتى في الخلائط الفقيرة كمية كبيرة من أكاسيد الآزوت ($NO_x^{max} = 5000 \frac{1}{Mil}$) بسبب ارتفاع حرارة احتراق الهيدروجين. وفي الوقت الحالي مازالت كلفة الهيدروجين عالية، إضافة لذلك فإن عملية تحويل المحركات للعمل على الهيدروجين يرافقها انخفاض الاستطاعة العظمى بظهور ما يسمى الاحتراق العكسي (اشتعال واحتراق المزيج في مجرى السحب، وظهور الهشاشة الهيدروجينية في الطبقات السطحية للمعادن عند إشباعها بالهيدروجين).

وهناك صعوبات كبيرة مرافقة للعمليات المتعلقة بتخزين الهيدروجين بشكل غاز على متن السيارات أو الهيدروجين السائل في خزانات معزولة، وكذلك عند عمليات الإنتاج والنقل والتخزين للهيدروجين. والاستخدام الأمثل للهيدروجين يكون باستخدامه في المحركات كمادة إضافية للبنزين.

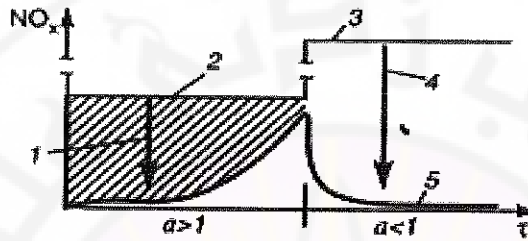
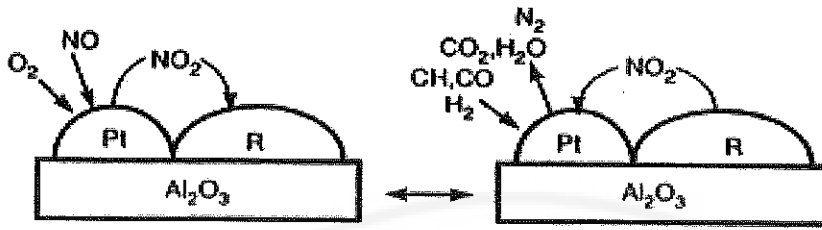
- استخدام الخلاط الفقيرة والشحنات الطبقية:

إن عملية التحكم بشدة حركة الشحنة في الاسطوانة بالتوافق مع زيادة نسبة الانضغاط وقدرة الشرارة الكهربائية، تعطينا وتهيئ لنا إمكانية حرق المزيج الفقير بنسبة (1,7-1,5 $\approx$) بفعالية كبيرة. وعندها تصبح إصدارات NO_x عند العمل على مزيج شديد الإفجار غير ذات قيمة.

والعمل على مكافحة CH و CO يقود إلى استخدام المخففات المؤكسدة. وعند الإفجار الشديد للمزيج تظهر مشاكل متعلقة بعملية إشعال المزيج بالشرارة، وعدم استقرار الاحتراق.

هذا وإن استخدام الشحنات الطبقية المتشكلة أساساً عن حقن البنزين في الاسطوانة، يتطلب التحييد الفعال لأكاسيد الآزوت في غاز العادم الذي يحتوي على O_2 .

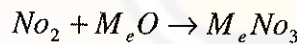
ولهذا الهدف تم تصنيع محييد (محفز) خاص تظهر آلية عمله على الشكل-٦٢ والعنصر الحامل يصنع من أكسيد الألمنيوم وهو مغلف بالمحفز المصنوع من البلاتين ومادة خاصة R (أكسيد معدني). تقوم بدورها بعملية سحب الملوث.



شكل - ٦٢

٤،١ - انخفاض N_{ox} تركيز N_{ox} على مخرج الاسطوانة
٣،٢ - تركيز N_{ox} على مخرج الاسطوانة
٥ - تركيز N_{ox} بعد المحييد

عند العمل على الخلطات الفقيرة، يكون الحفاز البلاتيني قادراً على أكسدة NO في NO_2 حيث يتم التخلص منه بواسطة المعدن R بشكل نترات ونيترت.



حيث M_e - المعدن.

وعندما يعمل المحرك بـ $1 \leq \infty$ فإن النترات وبمساعدة CH و Co و H_2 تسترجع عن البلاتين في المحفز.



وبتحسين ظروف عمل هذا المحييد الحفاز وعند حدوث خلل في التوازن المنشود بين زمن المحرك على $1 > \infty$ وعلى $1 \leq \infty$ يمكن أن نقود إلى التحول الآلي للمحرك، للعمل بشكل محدود على $\infty = 1$.

ومن سلبيات المحييد هي ضرورة تخفيض نسبة الكبريت إلى ٣٠ واحدة بالمليون في البنزين وفي الحالة المعاكسة لا نحصل على الفاعلية المطلوبة من المحييد بسبب وجود عنصر الكبريت.

ومن المستحسن التحكم بدرجة الحرارة في هذا المحييد لأن العملية تجري بشدة عند الحرارة ٢٥٠-٣٥٠ وإعادة التشكيل -٤٠٠-٥٥٠ وعملية تفكك الكبريت أعلى من ٦٥٠ درجة.

- معايير توصيف السُمومية والدخان في غاز العادم في محركات الديزل.
بسبب الخصوصية المميزة لعمليات المزج والاحتراق في الديزل وهي الإصدارات الزائدة نسبياً من الهباب فإنها تستدعي ضرورة وضع معايير الدخان في غاز العادم. ولذلك فإن جملة المواصفات والمعايير الخاصة بالدخان والسُمومية لغاز العادم تختلف عن المعايير التابعة لمحركات الاحتراق بالشرارة الكهربائية.

- مراقبة الدخان في غاز العادم عند استثمار الديزل:
تجري عملية المراقبة طبقاً للمواصفات المعتمدة والمطبقة على السيارات الشاحنة أو حافلات الركاب الكبيرة.
مقياس الدخان يجب أن يعمل بطريقة الفحص الإشعاعي لتيار الغازات بطول معين.

والمؤشر المعياري للدخان يكون المؤشر الطبيعي لانخفاض تيار الأشعة $K6 \frac{1}{M}$ أو معامل الانخفاض (إضعاف) للتيار الضوئي $N\%$ ، المؤشر K مقدار الشفافية لطبقة غاز العادم، والتي بمروره من خلالها يضعف تيار الإشعاع الوارد من مصدر الضوء بعدد من المرات يساوي (e) حيث هو (e) هو الأساس اللوغاريتمي الطبيعي.

هذا المؤشر يؤخذ عن الجدول الرقمي الأساسي لمقياس الدخان.
المعامل N هو عبارة عن درجة إضعاف التيار الضوئي الناجم عن امتصاص وتشتيت الضوء من قبل الغاز العادم عند مروره في مجرى أنبوب جهاز قياس الدخان، N تؤخذ من الجدول المساعد لجهاز القياس مع قاعدة الفاعلية التي تساوي ٠,٤٣ متر.

هذه المؤشرات (البارامترات) تؤخذ عند العمل على اللاحمل: على نظام التسارع الحر، وعند السرعات العظمى، ويظهر على الشكل مخطط قياس الدخان في تيار غاز العادم.

مراقبة السُمومية في غاز العادم على منصة الاختبار.

- المراقبة على منصة الاختبار، بواسطة الطنبور المتسارع:

مراقبة الغازات السامة في عادم محركات الديزل المركبة على السيارات المتوسطة والكبيرة من ٤٠٠-٣٥٠٠ كغ، تتم وفق الأنظمة الحركية المطبقة على المنصة، وطبقاً للمعايير المعتمدة.

- الاختبارات وفق النظام ١٣:

تجري على السيارات التي تفوق كتلتها ٣,٥ طن، وتجري هذه الاختبارات على منصة الفرملة.

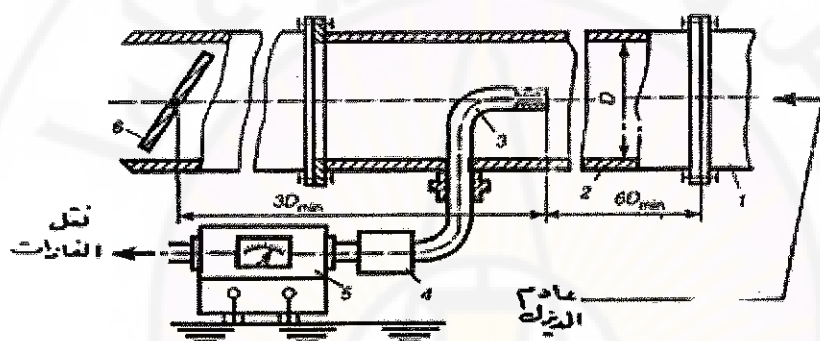
تجري عملية قياس إصدارات للغازات CO و HC و NO_x والجزئيات الصلبة على الأنظمة الثلاثة عشرة شكل - ٥٣.

يتم حساب الإصدار النوعي للمواد الملوثة بـ $g/K.w.h$ بالعلاقات المعروفة في المواصفات المعتمدة. (هذا في الددول الأوروبية أما في اليابان وأمريكا تعتمد اختبارات أخرى لتقدير سمومية الغازات العادمة في الديزل).

- معالجة وتخفيض الغازات السامة والدخان في عوادم محركات الديزل:

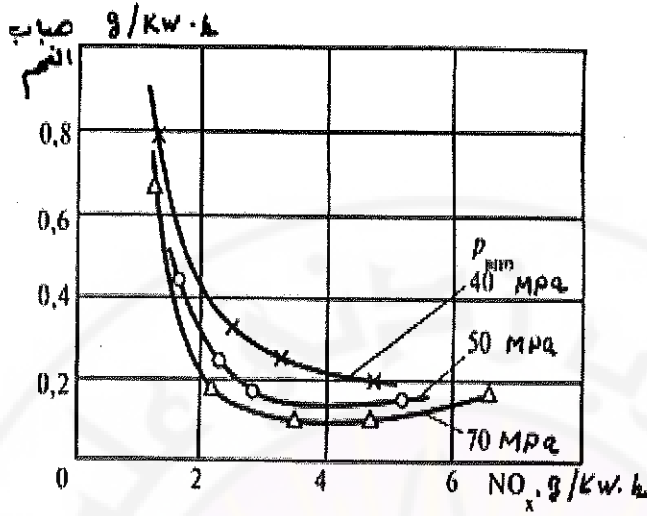
تحسين عمليات المزج و الاحتراق:

تتلخص عملية تطوير عمليات المزج والاحتراق في البحث عن حلول وسطية بين إصدارات NO_x والجزيئات، والمستوى الاقتصادي من ناحية الوقود. عند زيادة سرعة الاحتراق تزداد إصدارات NO_x وتحسن اقتصادية المحرك، لكن عملية المزج والاحتراق تتعقد بشكل واضح لأن الأساليب المستخدمة لتخفيض NO_x تسبب زيادة في إصدار الجزيئات شكل - ٦٤.



شكل - ٦٣

- | | | |
|---------------|-------------------------|---------------|
| ١- مجرى الطرد | ٢- مجرى الطرد في المنصة | ٣- أخذ العينة |
| ٤- مجمع | ٥- مقياس العينة | ٦- صمام |



شكل - ٦٤

وتنذير الوقود إلى قطرات ناعمة ودقيقة يدفع إلى إتمام عملية الاحتراق مما يؤدي إلى انخفاض إصدارات الجزيئات لكن ازدياد الحرارة في الدورة الحرارية يولد إصدارات زائدة من أكاسيد الآزوت.

الغازات السامة والدخان في محركات الديزل المزودة بحجرة احتراق غير منفصلة (حجرة احتراق واحدة) تتعلق بشكل كبير بشدة اضطراب الشحنة وبتتطابقها مع بارامترات مخروط الوقود ودقة تنذير الوقود.

محركات الديزل التي يجري فيها المزج بالقرب من جدران حجرة الاحتراق تتميز بزيادة إصدارات CO و CH والألدهيدات وخاصة عند إقلاع المحرك وتسخينه.

المواد الضارة	يورو II ١٩٩٦	يورو III ٢٠٠٠	يورو N ٢٠٠٥
$g / kW.T.h$			
CO	٤٠٠	٢٠١	١٠٤٥
CH	١٠١	٠٠٦٦	٠٠٤٦
Nox	٧٠٠	٥٠٠	٣٠٥
الجزئيات	٠٠١٥	٠٠١٠	٠٠٢

في الحركات الأولية للاحتراق تجري عملية الاحتراق عند درجات منخفضة نسبياً للحرارة وللمعامل ∞ . والاحتراق التالي في الحجرة الأساسية أيضاً يتم عند حرارة منخفضة نسبياً. ولهذه الأسباب فإن الديزل ذو الحجرتين للاحتراق. يولد إصدارات أقل من NO_x مما في الديزل ذو الحجرة الواحدة.

إضافة لذلك محركات الديزل ذات الحجرتين تصدر مع غاز العادم غازات ملوثة بنسبة أقل ومنها الدخان.

محركات الديزل العاملة على السيارات الشاحنة تتمتع بحجرتين للاحتراق كما هو معروف و الاتجاه لتطوير هذه المحركات لاستخدامها على السيارات الخفيفة يتمحور بالانتقال من الحجرتين إلى الحجرة الواحدة مما يحسن اقتصادية السيارات بنسبة ١٥ % تقريباً.

في النماذج الحديثة للديزل تظهر إمكانية التحكم بشدة حركة الشحنة. وبطريقة زيادة ضغط الحقن يمكن تخفيض إصدارات NO_x أيضاً وخاصة على الحمولات المتوسطة.

عند استخدام عملية الشحن تزداد ∞ على نظام السرعة الحدي مما يؤدي إلى انخفاض الغازات الملوثة في العادم وإصدارات الجزئيات فيه أيضاً.

هذا التخفيض يتسارع عند استخدام التبريد الوسطي للهواء، لأنه عند التبريد يزداد تركيز الأكسجين في الشحنة.

مثال: الديزل المشحون غازياً والذي يبرد فيه الهواء يسمح بتخفيض اصدارات NO_x والجزيئات الأخرى بنسبة ٣٠ % بالمقارنة مع الديزل غير المشحون.

كما أن تركيب الشاحن القسري في مجرى الخروج يرفع من فترة تسخين محبيد الغازات الحفاز. وإن زيادة P_B على الحمولات المتوسطة عندما تكون نسبة تأخير الاشتعال الذاتي إلى فترة الحقن ليست عالية تؤثر بشكل كبير على إصدار NO_x أكثر من حالات الحمولة الكاملة.

وللحوول دون زيادة اصدارات NO_x ولتخفيض الضجيج، يفضل تخفيض التغذية بالوقود في بداية الحقن (في فترة طور تأخير الاشتعال).

والحل الجذري يكمن في حقن الوقود أولاً بجرعة صغيرة وبعدها تعطى الجرعة الأساسية.

من جهة أخرى، فإن زيادة فترة الحقن وزيادة طور النهاية فيها تسبب زيادة في اصدارات هباب الفحم.

عند الحقن المتمم للوقود في الاسطوانة، تنخفض جودة عملية التذير و الاحتراق أيضاً ويستمر الاحتراق على منحنى التمدد وتتولد الغازات Co و CH وهباب الفحم.

وتسبب زاوية تسبيق الحقن ϕ تغير في طور تأخير الاشتعال θ_1 ، وفي نسبة الوقود المحقون في هذا الطور. وهذا يؤثر على زمن عملية الاحتراق الداخلي. مثال: إذا انخفضت θ_1 فإن نسبة الوقود المحقون قبل بداية الاحتراق السريع ΔV_7 تصبح أقل، ودخان الغاز العادم يزداد تبعاً لذلك شكل-٦٥.

عند تخفيض ϕ ، تتباطئ إصدارات NO_x بسبب انخفاض درجة حرارة الاحتراق ولكن يزداد استهلاك الوقود بعض الشيء.

- تدوير الغاز العادم:

عند زيادة درجة تدوير الغاز العادم تزداد فترة تسبيق الاشتعال، وتنخفض سرعة الانبعاث الحراري وتنخفض بشكل كبير إصدارات NO_x شكل-٦٦. هذه الوقائع تزداد أيضاً عند تبريد الغازات المدورة. وعند الحملات الكاملة يسبب تدوير الغازات ارتفاع كبير في إصدار الهباب لذلك فهي مستحسنة خاصة عند الحملات المتوسطة والخفيفة.

عند إجراء الاختبارات على النظام ١٣، تكون نسبة إصدارات أكاسيد الآزوت على نظام اللاحمل من ٨-١٠% ولهذا السبب ولتخفيض الضجيج أيضاً فإن عملية التدوير على نظام اللاحمل تكون ٥٠% تقريباً.

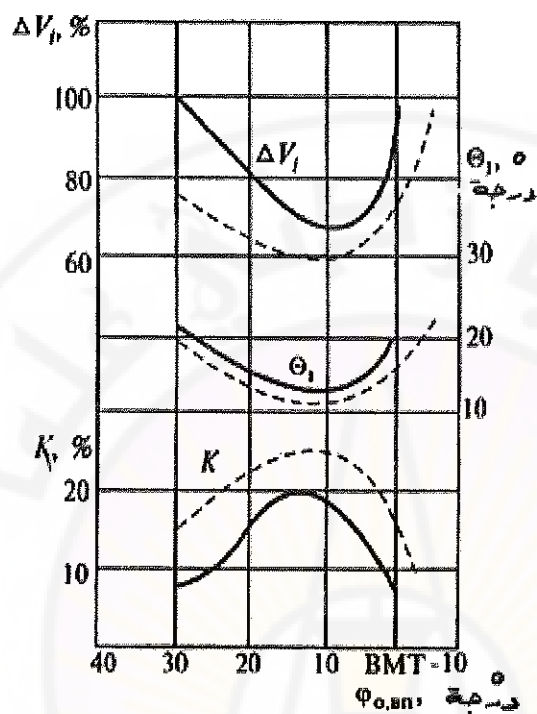
تبريد الغازات المدورة يخفض إصدارات NO_x وكذلك الجزيئات. غير أن تصميم مبادل حراري موثوق وفعال لتبريد الغازات تعتبر عملية معقدة بسبب تراكم المواد الملوثة المختلفة الناتجة عن غاز العادم في الديزل.

- تحييد الغازات العادمة:

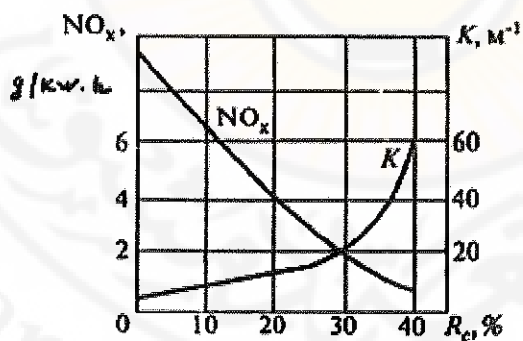
المحبيدات الحفازة المؤكسدة مستعملة على نطاق واسع في محركات الديزل السريعة العاملة على السيارات الخفيفة وعلى بعض الشاحنات. في هذه المحركات تكون حرارة الغاز العادم كافية لأكسدة CH و Co والمركبات العضوية الأخرى كالألدهيدات وغيرها أيضاً.

ومن جهة أخرى هذه الحرارة غير كافية لتشكيل كميات كبيرة من الكبريتات. عند الحرارة العالية يتأكسد SO_2 الخارج من الاسطوانات إلى SO_3 في المحبيدات أولاً. بعدها يتفاعل الأكسيد الناتج مع بخار الماء، ومع الجزيئات العضوية واللاعضوية وتتولد الكبريتات التي تؤدي إلى زيادة كمية الجسيمات

والجزيئات الأخرى. ولهذه السبب فإن استخدام المحببات الحفازة المؤكسدة في ديزل السيارات الشاحنة يواجه بعض الصعوبات.



شكل - ٦٥



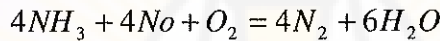
شكل - ٦٦

بعد معالجة غازات العادم في الديزل، تنخفض نسبة إصدار Co بنسبة ٨٥-٩٠ %، في المحييدات عند الحرارة ٣٠٠ درجة مئوية، وإصدار CH بنسبة ٧٥-٨٠ %.

وعند الحرارة الأقل من ٣٠٠ درجة تنخفض فاعلية هذه المحفزات. لذلك فإنه لتحبيد الغاز العادم في نظام اللاحمل وتسخين المحرك يستخدم محبيد خاص إضافة للمحييد الرئيسي والذي يسبب انخفاض الإصدارات لكل من Co و CH والهيدروكربونات و NO_x أيضاً.

وتحييد NO_x على أنظمة العمل الرئيسية للديزل يتطلب صناعة محييدات خاصة تسمى انتقائية. وهي تعمل عندما يضخ غاز النشادر NH_3 في مجرى الطرد قبل المحبيد مع المادة $(NH_2)_2Co$ وذلك للتفاعل الكيميائي وجذب الأكسجين O_2 الموجود في تركيب غاز العادم.

عند استخدام NH_3 يتم إرجاع No وفق المعادلة التالية:



في المحبيد الانتقائي وعند الحرارة $t=300-420$ يمكن أن تنخفض إصدار NO_x إلى ٩٠ % وعند استخدام النشادر على السيارات يجب تخزين حجم معين منه، مع مجموعة حقن خاصة تؤمن إعطاء الكمية المطلوبة تبعاً لنظام عمل الديزل.

عند الحقن الأولي، ولتخفيض إصدارات المواد العضوية والجزيئات و Co و CH والألدهيدات يجب أن يعمل مع المحبيد الانتقائي محبيد محفز مؤكسد أيضاً. وعند استخدام الهيدروكربونات لمعالجة NO_x فإن النتائج الأفضل يمكن الحصول عليها عند إعطاء وقود معين في اسطوانة الديزل بعد نهاية عملية الاحتراق عندما تكون الحرارة مازالت مرتفعة.

وهذا يسمح جزئياً باستخدام حرارة الجرعة الإضافية من وقود الديزل .
وعلى العموم ورغم الاستهلاك المطلوب من النشارد أو غيره من المواد
الأخرى، يمكن أن تبقى اقتصادية عمل المحرك على ما هي عليه.
وتصل درجة تفكيك NO_x في المحييد إلى ٣٠-٤٥ % . والمادة المحفزة
المستخدمة عادة هي النحاس أو البلاتين أو غيرها.
-الوقود والإضافات:

زيادة عدد السيتان تؤدي إلى انخفاض إصدارات NO_x في ديزل السيارات
الشاحنة لكنها تسبب زيادة في إصدارات الجسيمات في الديزل السريع الدوران
المستخدم في السيارات الخفيفة.
وفي الوقت ذاته يلاحظ في مختلف محركات الديزل انخفاض إصدارات Co
و CH.

وكما كانت نسبة المركبات الخفيفة كبيرة في تركيب الوقود كلما كان مزيج
الوقود متجانساً أكثر في حجرة الاحتراق وهذا يؤدي إلى انخفاض نسبة الدخان
في غاز العادم، ونسبة إصدار NO_x أيضاً.
ومما يعقد الوضع البيئي، هو تواجد الكبريت في وقود الديزل. فعند عمل
الديزل مع محييد مؤكسد حفاز يزداد بشكل كبير تشكيل الكبريتات عند الحرارة
العالية، وهذا يرفع من نسبة إصدارات الجسيمات إلى الجو.
وبانخفاض الهيدروكربونات العطرية في وقود الديزل تنخفض إصدارات
المواد المسرطنة .

وبإضافة بعض الإضافات بنسبة ١ % إلى وقود الديزل على أساس الباريوم
مثلاً أو المنغنيز يمكن تخفيض الدخان في غاز العادم بعدد من المرات
وتخفيض الألدهيدات والبنزوبيرين كذلك.

وباستخدام الكحول كموا د إضافية إلى وقود الديزل تنخفض إصدارات
الجزئيات المختلفة، وإصدارات NO_x و CO في الوقت ذاته، لكن إصدار CH
عندئذ يرتفع بشدة.

ويمكن تخفيض إصدارات NO_x بحقن الماء في مجرى سحب الهواء أو في
اسطوانة الديزل. وفي الحالة الأخيرة يمكن حقن الماء مباشرة مع الوقود أو
بشكل مستحلب (وقود- ماء).

عند إضافة الماء بنسبة ٣٠ % إلى وقود الديزل، تنخفض إصدارات NO_x
بنسبة ٣٠ % تقريباً وتنخفض معها إصدارات الدخان و CO .

وتتعلق إصدارات NO_x بشكل خطي مع كمية الماء المضاف، وتزداد بزيادة
الحمولة وزاوية تسبيق الحقن أو زيادة عدد الدوران. لكن إضافة الماء بغرض
تخفيض NO_x تصطدم ببعض الصعوبات العملية المتعلقة بإمكانية تجمدها، أو
تفكك طبقات المستحلب (عند الحرارة المنخفضة)، أو بظهور الصداً وزيادة تآكل
بعض أجزاء المحرك.

استخدام ثنائي ميثل الأثير عوضاً عن وقود الديزل يسبب انخفاض الضجيج
وانخفاض إصدارات NO_x و CH ومن أهم إيجابيات هذا الوقود انعدام الدخان
في غاز العادم.

ومن أنواع الوقود الأخرى التي يمكن استخدامها في الديزل هو الزيت النباتي
المستخرج من نبات الشلجم هذا ولا يمكن استخدامه بشكل منفرد لوحده لأن
احتراقه يسبب تراكم المواد الكربونية على وحدات الحقن، وفي نظام الوقود
وفي نظام الزيت.

ويمكن بمعالجة هذا الزيت النباتي الحصول على وقود قريب من ثنائي ميثل
الأثير بمواصفاته.

ومن أهم الموصفات البيئية الايجابية لهذا الوقود هو انخفاض إصدارات CH والجزئيات والهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات. وعند إنتاج هذا الوقود تتولد كمية كبيرة من CO₂ توازي الكمية المتولدة عن احتراقه في الديزل.

ومستقبل استخدام الوقود المستخرج من زيت الشلجم النباتي أقل من استخدام ثنائي ميثل الأثير بسبب الحاجة إلى مساحات من الأراضي الواسعة لهذا النبات.

- مصافي الجزئيات:

إن عملية تنقية غاز العادم من الجزئيات بواسطة مصافي خاصة تعد عملية سهلة نسبياً لكن هذه المصافي تنسد بسرعة بالمواد الملوثة ويزداد الضغط المعاكس في مجرى الطرد بقوة. وإعادة تنظيف المصافي تعتبر عملية صعبة. هذا ويمكن تبديل عناصر التصفية أو معالجتها على متن السيارة وفي الحالة الأخيرة تستخدم الكهرباء وأدوات حرق خاصة تؤمن حرق المواد المتراكمة على المصفاة مباشرة.

ولتسريع عملية إحراق الهباب تستخدم المحفزات (مواد معدنية نادرة أو النحاس). أو الإضافات الخاصة للوقود.

هذه الوسائل تؤدي إلى انخفاض حرارة إحراق الجزئيات الهيدروكربونية إلى ٣٠٠-٤٠٠ درجة. وتتطلب المصافي النموذجية عمليات التنظيف كل ١٠-١٢ ساعة وهي معقدة ومكلفة ووثوقيتها غير كافية.

الفصل الخامس

قيادة المحركات والتحكم بها

١ - المحرك موضوع التحكم وهدفه.

١. ١ - متطلبات التحكم بعمل المحرك:

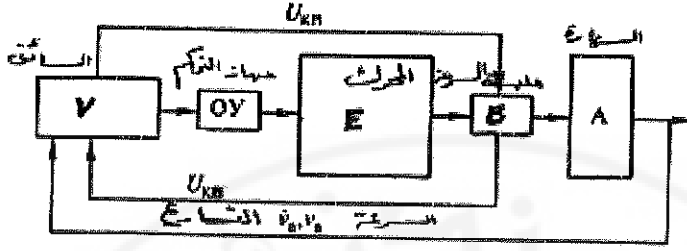
المسألة الأولى والأساسية لعملية التحكم بمحرك السيارة أو أية واسطة نقل أخرى هي تأمين الحصول على الاستطاعة اللازمة لتحريك السيارة بالسرعة المطلوبة في لحظة معينة وبالتسارع المطلوب.

تقدر استطاعة المحرك عبر عزم الفتل (الدوران) وسرعة الدوران، ولذلك يقال غالباً عما يسمى التحكم بنظام العمل المزدوج (الحمل-السرعة) للمحرك. ولإجراء ذلك على السيارة، يتحكم سائق المركبة عادةً بشكل أو بآخر، وبشكل خاص تتم المراقبة والتحكم ألياً.

على الشكل-٦٧ يظهر مخطط مبسط للتحكم بمحرك السيارة. لتحريك السيارة بالسرعة والتسارع المطلوبين يؤثر السائق على تجهيزات تغير الطاقة المنبعثة في الدورة الحرارية، وبذلك يتغير العزم.

في محركات الديزل تتغير كمية الوقود المعطاة، وفي محركات الشرارة الكهربائية والمزج الخارجي تتغير كمية خليطة الوقود الواردة إلى الاسطوانات، أما في محركات الشرارة والمزج الداخلي يمكن أن يستخدم كلا الأسلوبين.

تدل الخاصية المركبة عديدة العوامل للمحرك شكل -١٩ أن قيمة واحدة معينة لاستطاعة المحرك يمكن الحصول عليها عند اختلاف قيم كل من العزم وعدد الدوران. وهنا تتغير خاصية الشد للسيارة ومؤشرات الوقود والمؤشرات البيئية أيضاً.



شكل - ٦٧

ولذلك فإنه في السيارات التي تحتوي على علب ميكانيكية للسرعة يمكن بواسطة التحكم اليدوي (من قبل السائق) وبنفس الوقت التحكم بالعزم واختيار العلاقة المطلوبة بين العزم وعدد الدوران بتغيير نسبة النقل في علبة السرعة. أما في السيارات ذات التحكم الآلي بنقل الحركة فإن اختيار نسبة النقل يحصل بواسطة برنامج معين.

وفي الواقع فإن كثيراً من المتطلبات الخاصة من محركات السيارات (مثال متطلبات الاستطاعة، اقتصادية مصروف الوقود، المتطلبات البيئية، نسبة للكلفة ولمؤشرات الكتلة والأبعاد، وإمكانية العمل على نوع معين من الوقود أو غيره، والوثوقية) هي متناقضة مع بعضها البعض. ولذلك فإن بلوغ كل المتطلبات عملياً غير ممكن. ويكون الحل غالباً مبنياً على أساس التوازن والتوافق. ويقال عادة عن مفاهيم عديدة في هذا الخصوص:

محرك عالي الاقتصادية، أو عالي الاستطاعة، أو محرك نظيف بيئياً. وتحت كل مفهوم وتوجه نفهم تصوراتنا عن جملة الحلول التصميمية وطرائق التنظيم والتحكم بعمليات التشغيل التي تحقق الأهداف المرسومة.

محرك السيارة أثناء استثمارها يعمل في مجال واسع من أنظمة السرعة والحمولة.

وبتغيير نظام العمل تتغير عمليات التشغيل في المحرك وبارامتراته (عوامله) بشكل كبير.

وباختيار المؤشرات التصميمية للمحرك يمكن تحسين عوامله لكن لا تتحقق عندئذ الفعالية العالية لعمليات التشغيل أو الحصول على العوامل الحدية الممكنة على جميع أنظمة العمل.

لأنه بسبب انخفاض جودة عملية التبادل الغازي، وعملية استقرار المحرك عند العمل على الدوران المنخفض، لا يمكن بلوغ أطوار التبادل الغازي الضرورية للحصول على الاستطاعة الأعظمية الممكنة للمحرك عند الدوران المرتفع. وبتغيير قنوات السحب التي تحسن وتنشط عملية الاحتراق عند الحمولات الجزئية وعند الدوران المنخفض، يزداد اضطراب الشحنة وتنخفض جودة عملية امتلاء الأسطوانة بها، وتبعاً لذلك انخفاض الاستطاعة.

أما عملية اختيار نسبة الانضغاط في محركات الشرارة الكهربائية التي تمنع ظاهرة الصفع عند الحمولات العظمى، فهي تحد من إمكانية زيادة اقتصادية المحرك على الحمولات الجزئية.

وتزداد الصعوبات أمام المحرك نظراً لأن المتطلبات ذاتها تتغير تبعاً لنظام العمل.

مثال على نظام العمل الذي يكون فيه صمام المزيج (التحكم) مفتوحاً بالكامل يصبح الأهم هو الحصول على العزم الأعظمي، مع المحافظة على العمل بدون ظاهرة الصفع، وكذلك المحافظة على المعايير البيئية للمحرك.

على النظم الجزئية لهذه المحركات تعتبر مسألة الحد من إصدار الغازات السامة هي الأهم، مع المحافظة على الاقتصادية المرتفعة. إضافة لذلك تظهر

أيضاً الحاجة لبعض المتطلبات الأخرى عند العمل على نظم العمل الجزئية (الإقلاع، تسخين المحرك، فصل الحمولة أو زيادتها، أو الزيادة السريعة لسرعة الدوران).

وللتغلب على هذه المتناقضات من الضروري امتلاك إمكانية التأثير الموجه على عمليات التشغيل تبعاً لنظام عمل المحرك.

لذلك فإن المسألة الثانية لعملية التحكم بالمحرك تنحصر بما يلي:
يكون هدف التأثير على عمليات التشغيل على كل نظام عمل هو تأمين جميع المتطلبات الممكنة بنسبة كبيرة.

على امتداد سنوات طويلة كانت عمليات التحكم تجري بواسطة تجهيزات ميكانيكية وهيدرولائية آلية، وكانت قدرة هذه التجهيزات محدودة.

ففي محركات الديزل استخدمت منظمات للتحكم بعدد الدوران، تعمل على القوة النابذة، ومصححات للتغذية بالوقود ومنظمات تسبيق بداية الحقن.

وفي محركات الشرارة الكهربائية، من الضروري لكل حالة من حالات المزج تركيب المغذي المطلوب وتحديد زاوية تسبيق الاشتعال - منظم مركزي وتخلخلي آلي لتسبيق زاوية الاشتعال.

ويحافظ على الحالة الحرارية في نظام تبريد المحرك باستخدام منظم حراري وغيره.

لكن المتطلبات الحادة والقاسية من المحركات، وفي المقام الأول فيما يخص المؤشرات البيئية والاقتصادية جعلت وسائل التحكم هذه غير كافية. وظهرت الحاجة الملحة لاستخدام الوسائل الالكترونية في قيادة المحركات والتحكم بها.

وبإنشاء نظم التحكم الالكترونية في المحركات ارتفعت بشكل حاد دقة التحكم وتحققت القيادة الآلية والتحكم بعمليات التشغيل، وذلك باستخدام بعض العوامل التي لم يكن ممكناً استخدامها سابقاً في النظم السابقة، ومن هذه العوامل: الحالة

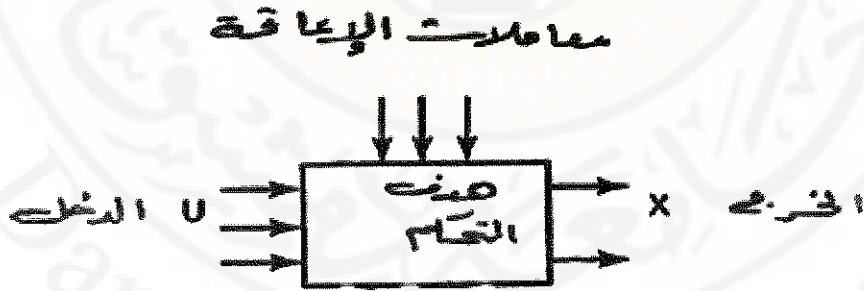
الحرارية للمحرك والظروف المحيطة وجودة الوقود وخصوصية العمليات الانتقالية وغيرها.

وهكذا يمكن القول أنه أمكن الانتقال إلى توجه جديد- إنتاج محركات ذات تحكم عديد العوامل بعمليات التشغيل على كل نظام من أنظمة العمل. وفتحت الأنظمة الحديثة للتحكم آفاقاً جديدة لتطوير تصاميم المحركات وتحسين عواملها ومؤشراتها.

١. ٢. خصوصية المحرك كموضوع للتحكم:

المحرك كأى موضوع (هدف) للتحكم الآلي تميزه ثلاث مجموعات رئيسية مؤثرة فيه:

- مؤثرات الدخل، الخرج، ومؤثرات جانبية شكل- ٦٨. هذه المفاهيم تعود إلى منظومة التحكم ككل. وإلى كل جزء منها. مثال: المؤثرات الخارجية(الخرج) لأجهزة التنفيذ ستكون مؤثرات داخلية(دخل) للمحرك. وجملة المؤثرات هذه تحدد حالة المحرك. حالة الهدف تحدها أولاً جملة مؤثرات الخرج، وفي حالة المحرك تسمى عادة مؤثرات خارجية للهدف.



شكل - ٦٨

من المؤشرات (العوامل) الخارجية: عزم الدوران الفعلي على عمود المرفق، سرعة الدوران، العوامل الاقتصادية الخاصة بالمحرك، تلوث الغاز العادم وغيرها.

وإذا كانت حالة هدف التحكم مميزة من خلال عوامل خرج عديدة كما في حالة المحرك فإن هذا الهدف يسمى "متعدد القياس".

يتم تغيير قيم عوامل الدخل، التي تسمى أحياناً عوامل التحكم، تحت تأثير نظم خارجة عن المحرك، ومنها على وجه الخصوص يمكن أن يكون السائق نفسه.

ويهدف التحكم إلى تأمين جملة قيم معينة للعوامل الخارجية للمحرك في أية لحظة زمنية.

عند التحكم بالمحرك العامل بالشرارة الكهربائية يمكن النظر إلى عوامل التحكم التالية: زاوية فتح صمام التغذية (صمام التحكم في المزيج)، زاوية تسبيق الاشتعال، كمية الوقود المعطى، الغازات المدورة، حرارة وضغط الهواء على مخرج الشاحن القسرى وغيرها.

ويمكن اعتماد عوامل تحكم أخرى تكون مرتبطة بالقيم المذكورة مثال:

$\eta_v \propto \infty$ ومسار صمام تدوير الغازات وغيرها.

وفي محركات الديزل يمكن اعتماد التغذية الدورية بالوقود، ضغط حقن الوقود، تسبيق بداية التغذية، ضغط الهواء بعد الشاحن، كمية الغازات المدورة وغيرها. وبما أنه يوجد عوامل تحكم عديدة مؤثرة بالمحرك يطلق عليه "تحكم متعدد العوامل".

وكل عامل، له تأثير معقد على عمل المحرك وكثير من عوامل الخرج. وللحصول على جملة عوامل الخرج المطلوبة (للتحكم المثالي) يجب اختيار قيم العوامل معاً.

وعندما يتعلق اختيار عامل ما، باختيار العوامل الأخرى: يسمى التحكم مشترك.

- العامل المعرقل هو العامل أو المؤثر الذي لا يخضع للتحكم، وهو يؤثر على هدف التحكم من الخارج وهو يعرقل عملية التحكم وتحقيق أهدافه. والعوامل السلبية المعرقلة هي غالباً طارئة وهي قد تخضع للمراقبة وقد لا تخضع.

ومن هذه الظواهر فيما يخص المحرك، العوامل الجوية، مقاومة حركة السيارة، اختلاف جودة الوقود وغيرها.

تعمل محركات السيارات غالباً على الأنظمة الانتقالية، وبذلك يكون المحرك هدف ديناميكي للتحكم. وتتعلق طبيعة جريان العمليات المختلفة في المحرك بمنحى تغير العوامل المختلفة في أنظمة العمل.

فعند الإقلاع تختلف العمليات في المحرك بشكل كبير، وعند التوقف، أو عند الانفتاح المفاجئ والحاد لصمام المزيج أو إغلاقه. ولذلك يكون المحرك هدف تحكم ديناميكي وغير متناظر.

ولتحقيق التغيرات الضرورية بالزمن لعوامل الخرج في المحرك، على أنظمة العمل الانتقالية يلزم بشكل مطابق أو بآخر تغير قيم العوامل المؤثرة نسبة للزمن.

المحرك هو آلية ذات فاعلية وتأثير دوري. ومن أكثر الطرق المعروفة في تأثيرها على العمليات الجارية في اسطوانات المحرك المستخدمة عملياً هي القيام بتنفيذ إجراءات التحكم بأطوار الدورة الحرارية نسبة للزمن.

في محرك الشرارة الكهربائية يمكن التحكم بصمام المزيج بصورة مستمرة لكن التأثير على قيمة الشحنة في الاسطوانة يكون فقط التأثير على عملية التبادل الغازي.

وإعطاء الوقود بطريقة الحقن الموزع في مجرى السحب يحصل بشكل نبضي عادة وينتهي قبل فتح صمام السحب.

أما في الديزل فإن حقن الوقود يتم عادة في نهاية عملية الانضغاط. والنبضة الكهربائية على شمعة الإحتراق تعطى قبل بداية الشوط الفعال وبذلك يكون هناك مكاناً للتحكم النبضي، وينسب عندها المحرك لمجموعة الأهداف المطلوبة من التحكم النبضي.

والتحكم الرقمي هو نبضي، لذلك فإن المعطيات المنطقية الواردة إلى وحدة التحكم الرقمي يجب تحويلها إلى معطيات رقمية، وتحويل المعطيات الرقمية على مخرج وحدة التحكم، إذا كانت تتحول إلى معطيات منطقية للأجهزة التنفيذية.

عند الاستثمار فإن حالة أجزاء المحرك، وعمل أنظمتها لا تبقى مستقرة بل تتغير بسبب تآكل الأجزاء المختلفة وحدوث خلل في إحكام الوصلات المختلفة، وتراكم المواد، وانخفاض جودة الزيوت وغيرها. ويتغير نتيجة ذلك سير العمليات الحرارية داخل المحرك مثال: اختلاف ضغط الغازات خلال عملية الانضغاط، والفقدان الحراري في جدران حجرة الإحتراق، والهدر وفي عملية الاحتكاك. وغيرها. لذلك فإن عوامل التحكم للمحرك الجديد لا تبقى مثالية خلال مدة الاستثمار.

في كل محرك معين، وبسبب تأثير عوامل طارئة عديدة يمكن أن تجري العمليات الحرارية بشكل مغاير، وخاصة في المحركات العاملة بالشرارة الكهربائية. وبصورة مفاجئة تتغير بعض المؤثرات الخارجية المعرقة. وبذلك يعد المحرك هدف تحكم غير مستقر.

إن مجموعة العمليات الفيزيا- كيميائية والحرارية والغازية وغيرها لا يتاح لنا بدقة كافية توصيفها بمعادلات تفاضلية خطية بسبب أن كثير من الروابط هي غير خطية، وتحقيق التحكم النموذجي غير الخطي يعتبر عملية أكثر تعقيداً من التحكم الخطي.

ومما سبق يعد محرك السيارة هدفاً معقداً لعملية التحكم.

١. ٣ - المبادئ الأساسية للتحكم الآلي:

في نظرية التحكم الآلي تستخدم ثلاثة مبادئ أساسية: التحكم بالعوامل (المعطاة). التحكم بمعامل الإعاقة (مبدأ التوازن)، التحكم بالانحراف (مبدأ الرابطة العكسية).

وما يحدد إمكانية استخدام هذا المبدأ أو ذاك هو نوع المعلومات (المعطيات) المستخدمة.

إذا كانت القيم المقاسة في عملية التحكم هي القيم الحقيقية لمركبات شعاع مؤشرات الخرج في المحرك، تقارن مع القيم المطلوبة وإذا كانت تأثيرات التحكم (عوامل التحكم) تتغير بحيث تنخفض انحرافات القيم الفعلية لمؤشرات الخرج إلى الحد الأدنى، فإنه في هذه الحالة يكون مبدأ التحكم هو (التحكم بالرابطة العكسية)، شكل - ٦٩ a وينسب نظام التحكم هذا إلى نظم التحكم المغلق التي تؤمن الدقة العالية لعملية التحكم.

التحكم المغلق يقوم بمهمة الاستقرار أو وضع حدود لقيم معينة لمؤشرات الخرج.

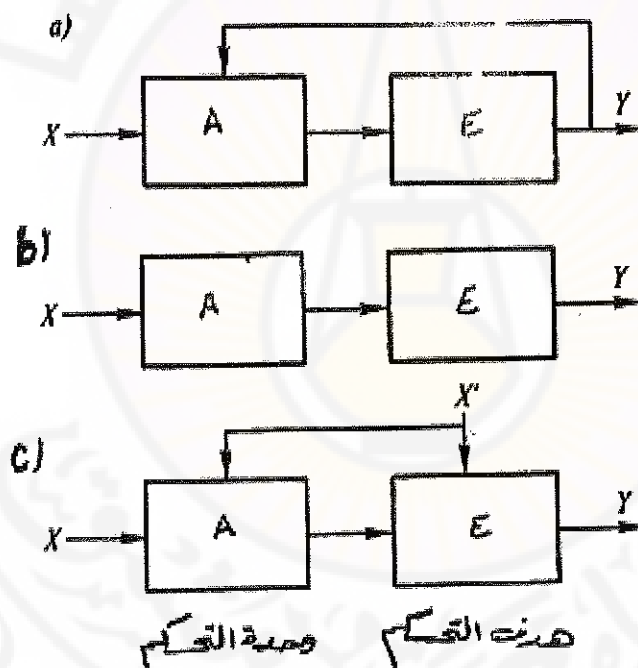
التحكم على مبدأ المؤشر المعطى يحصل وفق إشارة تأتي من خارج موضوع التحكم.

هذه الإشارة قد تأتي من السائق أو هي مخزنة في ذاكرة التحكم الرقمي. في هذه الحالة فإن قيمة مؤشر التحكم لا تتعلق مباشرة بالمؤشر الحاصل على الخرج.

هذه الأنظمة تنسب إلى نظم البرمجية المفتوحة. شكل - ٦٩ b ويميز هذه النظم الاستجابة السريعة والعالية.

عند الإعاقات الكبيرة، وفق المؤشرات المذكورة للتحكم المحددة ببرنامج قاس لا يمكن الحصول على الجودة المطلوبة للتحكم. وإذا وجدت معطيات عن العوامل المعرّقة فإن عوامل التحكم يمكن تصحيحها لبلوغ أهداف التحكم، أي استخدام مبدأ الموازنة شكل-٦٩ c.

وفي الأنظمة الحديثة للتحكم يتم دمج الطرق الثلاثة معاً لتنظيم التحكم. وبظهور تقنية التحكم الرقمي ظهرت إمكانية جديدة لتطوير واستكمال نظم التحكم وخاصة باستخدام مبدأ التكيف.



شكل-٦٩

وبفهم من هذا المبدأ: أن النظام هو الذي يمكن معه عند تغيير الظروف الداخلية أو الخارجية خلال العمل، تبديل المخطط، الخوارزمية أو البرامج (عوامل التحكم) لتحقيق الأهداف المطلوبة وهذه النظم يمكن أن تكون مغلقة أو مفتوحة.

المعطيات الناتجة الضرورية لتنفيذ عملية التحكم ليست دائماً مرتبطة مباشرة بالقياس المباشر للقيم المختلفة للعوامل الفيزيائية لحالة موضوع التحكم. وعند توفر نماذج رياضية دقيقة لموضوع التحكم، يمكن بطريقة حسابية تحديد قيم عوامل معينة (للحالة) لا يمكن قياسها مباشرة، ويمكن استخدامها لتنفيذ عملية التحكم.

وفي الحالة الأخيرة تظهر إمكانية لتوقع النتائج الخاصة ببعض عوامل التحكم المؤثرة والمعركة.

ولذلك أهمية كبيرة عند إجراء نظم التحكم الدينامية.

٢. التحكم الآلي بسرعة الدوران:

١,٢ - استقرار نظام عمل المحرك.

-النظم المستقرة واستقرار نظام عمل المحرك:

نظم عمل المحرك يمكن أن تكون مستقرة (متوازنة) وغير مستقرة (غير متوازنة).

استقرار نظام العمل: هو قدرة منظومة (المحرك-المستهلك) على تثبيت المساواة

بين عزومها (عزم المحرك T_K وعزم المقاومة T_C) عندما يتغير الدوران.

أمثلة على نظام عمل مستقر وآخر غير مستقر تظهر على الشكل -٧٠، a، b.

نفترض أنه عند عمل المحرك على نظام مستقر حصلت لسبب من الأسباب

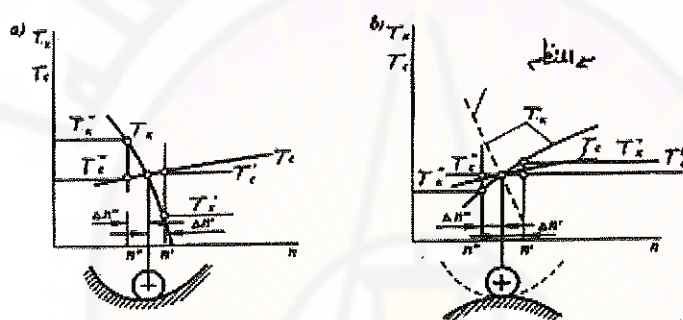
زيادة في سرعة الدوران بمقدار $\Delta n'$. ففي نظام العمل المستقر شكل -٧٠

a حيث أن $T_K' > T_C'$. المحرك ينخفض دورانه ويعود إلى الحالة الأولية.

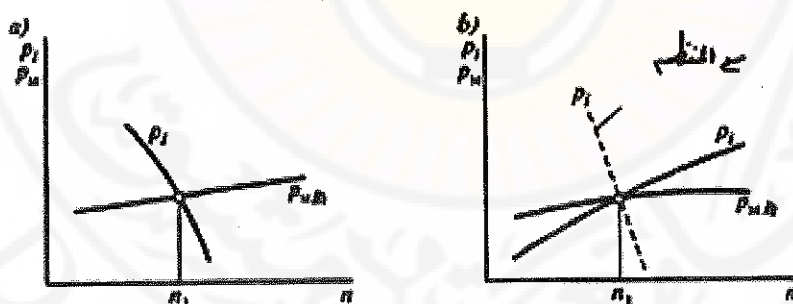
وفي نظام العمل الغير المستقر (دون منظم) شكل - ٧٠ b فإن الزيادة المماثلة للدوران بـ $\Delta n'$ تؤدي إلى $Tc' < Tk'$ فيقوم المحرك بزيادة الدوران (يدخل المحرك في حالة الطنين).

في حالة انخفاض الدوران $\Delta n''$ تبعاً لميل العلاقة $Tk = f(n)$ فإن المحرك إما أن يستمر بانخفاض الدوران ويتوقف بعدها شكل - ٧٠ b أو أنه يعود إلى الحالة الأولية شكل - ٧٠ a.

على الشكل - ٧١ تظهر أمثلة مشابهة مستقرة (a) وغير مستقرة (b).



شكل - ٧٠



شكل - ٧١

لعمل المحرك على نظام اللاحمل. هنا يمكن تقدير استقرارية نظم العمل كما. وهي تتعلق بالفروق القائمة بين عزوم المقاومة، وعزم الدوران، والناجمة عن اختلاف معين ΔW للسرعة الزاوية لعمود المرفق في المحرك. شكل-٧٢. ويمكن تقدير الاستقرارية كما بالمعامل الذي يسمى "معامل استقرار المحرك"

$$F_D = \frac{(\Delta T_c - \Delta T_k)}{\Delta W}$$

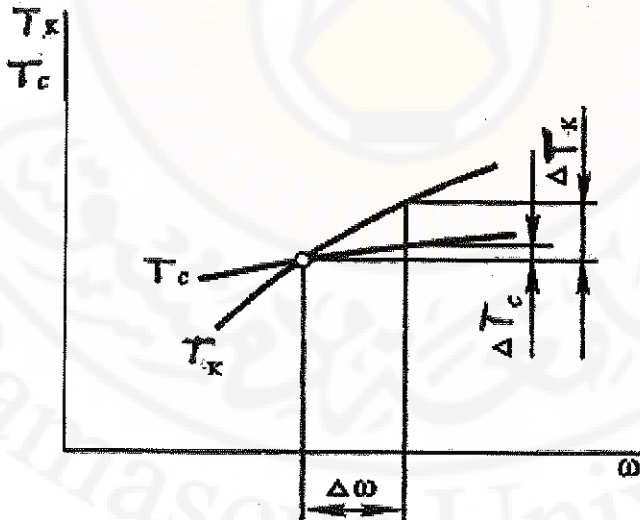
حيث $\Delta T_c, \Delta T_k$ - انحراف العزوم عن حالة التوازن. وبإهمال مسألة العلامة الخطية للعزم T بـ W . يمكن كتابة ما يلي:

$$\Delta T_c = \frac{\partial T_c}{\partial w} \Delta w, \Delta T_k = \frac{\partial T_k}{\partial w} \Delta w$$

وإذا وضعنا هذه العلاقات في المعادلة F_D نحصل على:

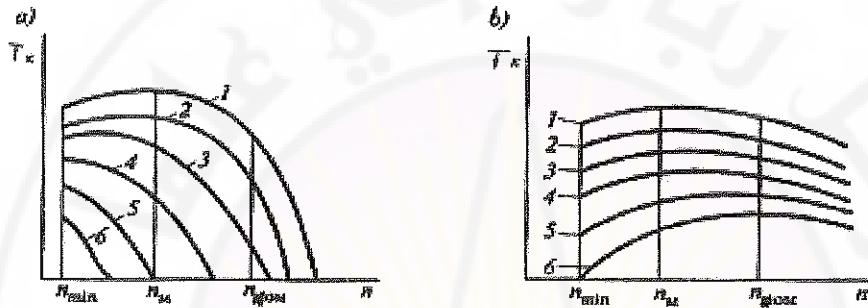
$$F_D = \frac{dT_c}{dw} - \frac{\partial T_k}{dw}$$

استقرار نظام العمل تحدده قيمة المعامل F_D وإشارته. في المثال شكل-٧٢، $F_D < 0$ هنا نظام العمل غير مستقر.



شكل - ٧٢

- ضرورة وضع منظمات آلية لسرعة الدوران على المحركات:
استقرار نظام العمل يتحدد كما يظهر على الشكل-٧٢ والشكل-٧٣ من شكل المنحني الذي يبين العلاقة بين عزم المحرك وسرعة دورانه.
معلوم أن طبيعة العلاقة بين T_K والدوران، تحددها مجموعة العوامل $\frac{\eta_i}{\infty} \cdot \eta_v \cdot \eta_M \cdot \rho_k$ مجتمعة.



شكل-٧٣

ففي محركات الشرارة الكهربائية، العامل الهام بتأثيره على T_K عند ثبات الدوران، وثبات وضعية صمام المزيج، هو العامل η_v . حيث تنخفض بحدّة عملية امتلاء الاسطوانة بالشحنة و T_K بزيادة الدوران عند الانفتاح الحاد لصمام المزيج كما هو على الشكل-٧٣ a.

وفي محركات الديزل، العامل الأساسي الذي يحدد العلاقة $T_K = f(n)$ هو أشكال منحنيات السرعة.

وبمقارنة العلاقة بين T_K وسرعة الدوران يظهر لدينا أن منحنيات السرعة في المحرك العامل بالشرارة تؤمن استقرار كبير بالمقارنة مع الديزل، والفروق كبيرة خاصة عند العمل على نظم الحمولات الخفيفة.

فصل الحمولة الخارجية بشكل مفاجئ على محرك الشرارة يرافقه زيادة نسبية قليلة في n . شكل ٧٣ a .

وعندما يكون الدوران أعلى من n_{Nom} تنخفض جودة عمليات المزج والانبعاث الحراري في محرك الشرارة الكهربائية بنسبة أقل مما في محرك الديزل. وبسبب ذلك تستثمر محركات الشرارة الكهربائية من دون وجود منظم للدوران.

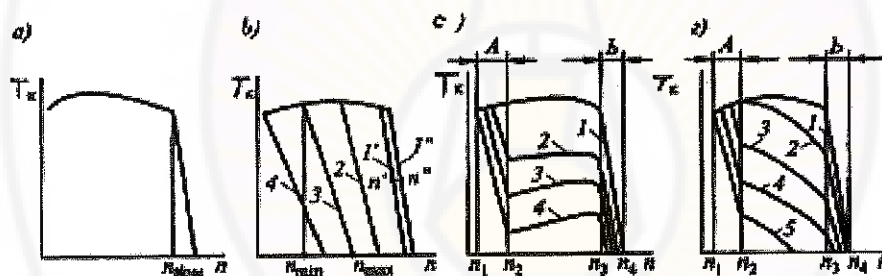
والمحركات العاملة على السيارات الشاحنة يمكن أن تزود بمنظم يحدد الدوران الأعظمي.

وفي الديزل عند فصل الحمولة فجأة وعلى جميع حالات وأوضاع المنظم، يمكن أن يؤدي ذلك إلى زيادة مرتفعة في سرعة الدوران. وعندما تزداد السرعة عند n_{Nom} . ليس فقط تزداد الحمولات الميكانيكية والحرارية بل تنخفض جودة عمليات المزج والاحتراق وتزداد عملية إصدار الجزيئات الملوثة. نظام اللاحمل ونظم الحمولات الخفيفة هي عادة ضعيفة الاستقرار أو عديمة الاستقرار.

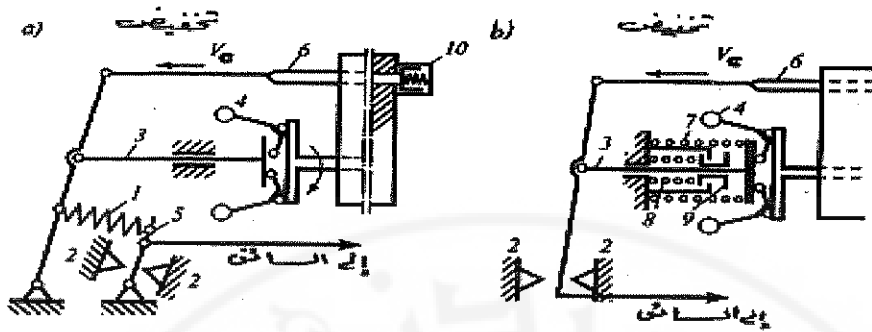
لذلك يجب وضع منظمات على محركات الديزل العاملة على وسائط النقل بحيث تعمل على الأقل لتثبيت السرعة القصوى والسرعة الدنيا. وعند العمل على منحنيات السرعة الحدية من المهم أن يكون عزم الدوران الأعظمي، T_K على القيمة المعطاة أعلى من العزم الموافق للاستطاعة الاسمية $T_K Nom$.

وبوجود احتياط كافي من العزم تسهل عملية التحكم بالمحرك، ويسمح بتبديل أقل لنسبة نقل الحركة ما بين المحرك و المستهلك. من هذه الوقائع نجد أنه من المستحسن زيادة معامل التكيف K_{II} وتخفيض معامل السرعة إلى حدود معينة.

في محرك الشرارة الكهربائية، يبلغ معامل الاحتياطي للعزم ٢٥-٣٥ % .
 والتصحيح الإضافي لخواص السرعة الحدية ليس ضرورياً.
 في محركات الديزل العاملة على الجرارات والسيارات نحتاج إلى تصحيح
 لخواص السرعة الحدية، لتحقيق قيمة Kn على منحنى السرعة الحدية تبلغ
 من ١٠-١٥ إلى ٣٠-٥٠ % تبعاً لطبيعة الاستثمار وظروفه.
 تصحيح العزم الاحتياطي يتم أساساً بتغيير مسار الضاغط في مضخة الضغط
 العالي للوقود، وتغيير التغذية بالوقود تبعاً لذلك بمساعدة مصحح مباشر.
 والمصحح المباشر يوضع في المنظم شكل-٧٥. والقيم العالية للمعامل Kn
 يمكن الحصول عليها بطريقة التحكم بالشحن القسري للهواء مع عملية تصحيح
 التغذية بالوقود.



شكل - ٧٤



شكل - ٧٥

٢,٢- المنظمات الآلية لتواتر الدوران:

تصنيف المنظمات الآلية لتواتر الدوران:

المحركات العاملة بالشرارة الكهربائية لا تحتوي على منظمات، بل يركب عليها منظمات تحدد التواتر الحدي المسموح. هذه المنظمات تعمل عندما تزداد n عن الحد الاسمي شكل - ٧٤a.

محركات الديزل العاملة على السيارات والجرارات تزود أساساً بمنظمات ثنائية الفاعلية أو متعددة الفاعلية.

وعلى الشكل - ٧٤b, c، تظهر منحنيات السرعة التابعة لها المطابقة لعدة مواقع مختلفة لدعسة القيادة (ذراع التحكم). حيث أن الموقع ١ يطابق الضغط الكامل على الدعسة، والمواقع من ٢-٥ تطابق ضغوط جزئية.

على محركات الديزل العاملة على الجرارات وآليات الطرق وكثير من السيارات الشاحنة تتركب منظمات متعددة الفاعلية (عدة الأنظمة)، وهي تؤثر على تجهيزات التحكم في كل تواترات الدوران الاستثنائية شكل - ٧٤b.

والمنظمات التي تحد التواتر الأعظمي والتواتر الأدنى للدوران تسمى ثنائية الفاعلية (ثنائية الأنظمة). شكل - ٧٤c.

هذه المنظمات لا تؤثر على الجريدة المسننة لمضخة الضغط العالي للوقود،
 في المجال الرئيسي لأنظمة العمل الواقعة مابين n_2 و n_3 شكل-٧٤ c.
 منحنيات السرعة في مجال العمل هذا يمكن تطويرها باستخدام المنظمات متعددة
 الفاعلية، لتصبح تدريجية شكل-٧٤ r.
 والعنصر الذي يقيس اختلاف معامل التحكم (تواتر الدوران) يسمى عنصر
 التحسس (الحساس).

في الحالات التي يكون فيها عنصر التحسس مرتبط مباشرة مع جهاز التحكم
 في المحرك: (الجريدة المسننة، صمام التغذية، الصمامات الكهربائية أو
 المضخة الحاقنة للديزل أو صمام المزيج للمحرك البينزيني) يسمى المنظم "منظم
 الفعل المباشر".

وإذا كان بين الحساس وجهاز التحكم يوجد عنصر تضخيم، يسمى عندها المنظم
 "منظم الفعل غير المباشر".

وفي محركات السيارات والجرارات تركيب منظمات الفعل المباشر. وأكثر
 عناصر التحسس المستخدمة حالياً هي عناصر التحسس الميكانيكية العاملة على
 القوة النابذة.

وتسمى المنظمات التي تستخدمها "المنظمات الميكانيكية". ويمكن أيضاً
 استخدام حساسات هوائية، هيدروليكية، وكهربائية وعندها تسمى المنظمات
 هوائية، هيدروليكية وكهربائية (الالكترونية).

وتسمح المنظمات الالكترونية بتنظيم تحكم أكثر فاعلية وسلاسة. حيث أن المنظم
 الالكتروني يحقق قانون تحكم تناسبي - تكاملي - تفاضلي.

ويحسب ليس فقط انحراف معامل التحكم $\varphi = \frac{\Delta w}{w_o}$ بل ومشتق هذا الانحراف $\frac{d\varphi}{dt}$
 وتراكم الأخطاء بشكل تكاملي $\int \varphi dt$.

ويمكن الحصول على الجودة الأعلى في المنظم الإلكتروني عندما يوضع في منظومة التحكم الرقمي (مع الأجهزة الأخرى) بمحرك الديزل، ويعتبر عندئذ جزءاً من هذه المنظومة شكل-٦٩ .

- مخططات منظمات تواتر الدوران:

يظهر مخطط المنظم متعدد الفاعلية على الشكل-٧٥ a. عند نظام العمل المستقر، تتوازن القوة النابذة للكتل ٤ من خلال قوة الشد في النابض ١، المعطاة بواسطة ساعد التحكم ٥. وعند زيادة تواتر الدوران، تزيح الكتل ٤ الفارئة ٣ إلى اليسار وتقوم بتحريك المسنن ٦ (الجريدة المسننة لمضخة الوقود) إلى جهة تخفيض التغذية الدورية VC. ويؤدي تخفيض الوقود إلى انخفاض الدوران وتتم المحافظة عليه في المجال المعطى.

ويؤدي انخفاض الدوران إلى تحريك الذراع ٦ تحت تأثير النابض ١ إلى جهة زيادة التغذية الدورية، وبذلك يزداد الدوران ويحافظ على الدوران في المجال المعطى.

والسائق يثبت وضعية ذراع التحكم ٥ فيعطي بذلك المجال الذي يمكن أن يتغير خلاله دوران عمود المرفق للمحرك عند تغير الحمولة. فعند الوضعية الوسطية للذراع ٥ تتحقق المحافظة على الدوران، ويحافظ على الدوران، مثال على ساعد التحكم ٣ من n_{min} إلى n_{max} شكل-٧٤ b يحرك السائق الساعد 5 إلى اليمين إلى المسند ٢ حيث تزداد قوة شد النابض. والقوة النابذة للكتل في هذه الحالة يمكن أن تتغلب على مقاومة النابض عند التواتر العالي للدوران، والمحرك يعمل على تواتر دوران مطابق لوضعية ساعد التحكم ١ شكل- ٧٤ b. وتؤمن المنظمات ثنائية الفاعلية عملية التحكم بنظامين اثنين للسرعات باستخدام نابضين مختلفين بقساوتهما، وبانزياحها الأولي (النوابض ٨،٧) شكل-٧٥ b.

النابض ٧ له أقل انزياح (تمدد) أولي ويبدأ بفعل قساوته بالانضغاط تحت تأثير القوة النابذة للكتل ٤ عند الدوران n_1 شكل-٧٤ c.

القارنة ٣ تتحرك يساراً وتزيح الساعد ٦ في مضخة الوقود باتجاه تخفيض التغذية شكل ٧٥ b- . وهذا يقود إلى انخفاض حاد للعزم Tk . عند الدوران n_2 (شكل-٧٤ C) تصل قارنة المنظم إلى الجلبة ٩ وتتوقف لأن الجلبة واقعة تحت تأثير قوة النابض ٨ المثبت بقوة شد أولية كبيرة. وعند الاستمرار بتغيير عدد الدوران n_2 إلى n_3 ، لا يؤثر المنظم على الجريدة المسننة. وهنا يؤثر السائق.

عند الدوران n_3 تؤثر القوة النابذة للكتل بقوة تساوي مجموع قوى تأثير النوابض ٧، ٨. لذلك فإن استمرار زيادة الدوران يسبب تحريك القارنة والجريدة باتجاه تخفيض التغذية الدورية بالوقود.

هذا المنظم يؤمن منطقتان للتحكم: A، B. في المجال $n_3 > n > n_2$ ، يتم التحكم من قبل السائق بتأثيره على الجريدة المسننة (صمام التغذية) في مضخة الوقود.

المنظمات ثنائية الفاعلية في ظروف المدينة (الديزل) تؤمن انخفاض نسبة الدخان في غاز العادم وانخفاض مصروف الوقود بحدود من ٥-٧% ، بالمقارنة مع المنظمات عديدة الفاعلية . وهذا ناتج عن أنه عند التسارع يقوم المنظم عديد الفاعلية بإزاحة الجريدة المسننة إلى الوضعية المطابقة للتغذية القصوى ، بعدها تثبت التغذية الدورية تبعاً للحمولة .

عند استخدام المنظم ثنائي الفاعلية، يقوم السائق بتحريك الجريدة المسننة ولديه إمكانية تخطي الضغوط الفجائية على دعة التحكم .

بدورها المنظمات متعددة الفاعلية هي أكثر تنوعاً، وقدرتها أعلى في المحافظة آلياً على سرعة الدوران وهي سهلة في عملية التحكم بالسيارة وفي بعض التجهيزات المساعدة فيها (رفع القلاب، قطر المقطورات وغيرها) . وتظهر جودة المنظم عديد الفاعلية عند عمله على محركات الديزل العاملة على الجرات والطرق .

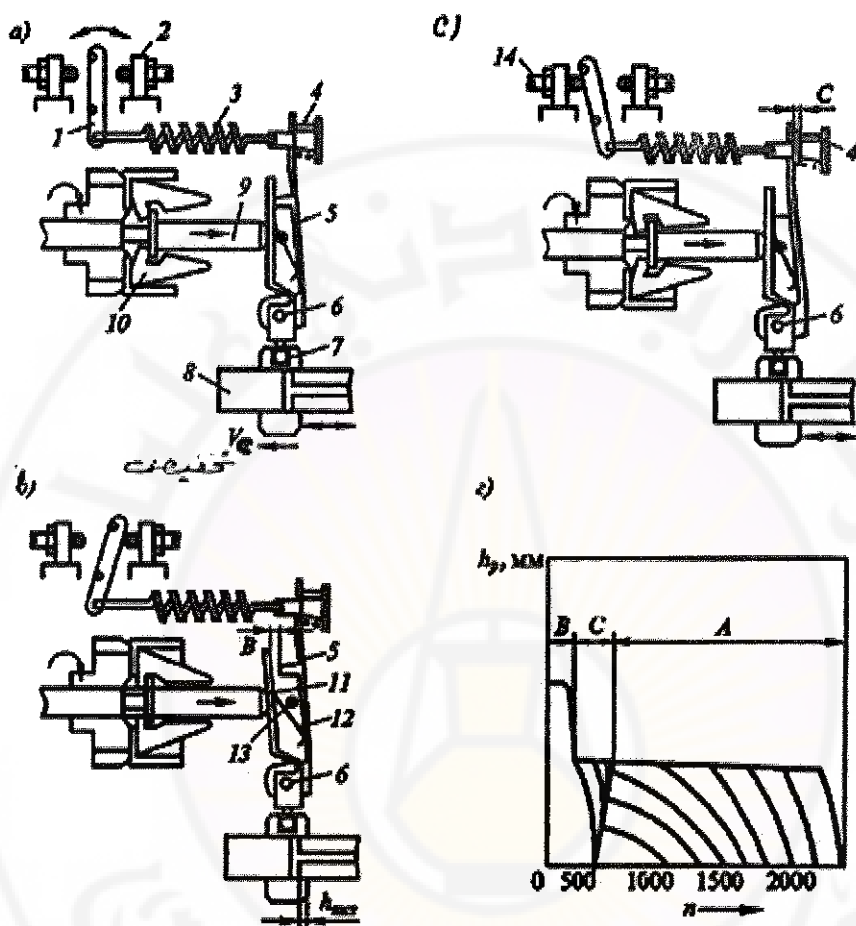
المنظمات عديدة الفاعلية ذات المنحنيات السلسة (عندما تكون $n_2 < n < n_3$) شكل - ٧٤ r تحافظ على ميزات المنظم ثنائي الفاعلية نسبة لمصروف الوقود ولنسبة الدخان في غاز العادم. وفي الوقت ذاته تتخلص من مساوئ هذا المنظم - نظام العمل اقل استقرارا للديزل في المجال $n_2 < n < n_3$. ولتحقيق المعامل المطلوب للعزم الاحتياطي ، يضاف إلى المنظم مصحح مباشر .

ويظهر على الشكل - ٧٥ مخطط تصميم للمصحح المباشر وهو عبارة عن مسند متحرك للجريدة المسننة في مضخة الضغط العالي. عند عمل الديزل على منحنى السرعة الخارجي (الحدى). يؤدي تغيير سرعة الدوران من n_{Nom} إلى n_{max} إلى انزياح الجريدة ٦ و مسندها الموجود في جسم المصحح ١٠ إلى اليمين لجهة زيادة التغذية الدورية . ويحصل انزياح الجريدة بتأثير النابض الرئيسي للمنظم ١ ، الذي يتغلب على القوة النابذة للكتل والتأثير المعاكس لنابض المنظم ١٠ ، عند انخفاض الدوران .

على الشكل - ٧٦ تظهر مخططات عمل المنظم عديد الفاعلية في مضخة ضغط عالي وحيدة الضواغط من نوع المضخات الموزعة.

عمل المنظم في المجال الأساسي لأنظمة العمل يظهر على الشكل - ٧٦ a. وفيه ذراع التحكم ١ يثبت من قبل السائق، طبقاً للدوران المعطى من قبله: كلما كان الذراع قريباً إلى المسند ٢ كان تواتر الدوران أعلى. وتثبت سرعة الدوران

المعطاة بحيث أنه عند انخفاض الحمولة وعندما تكون قوى الكتل ١٠ متوازنة بواسطة النابض ٣ يزداد الدوران ، وتقوم القوى النابذة للكتل ١٠ بإزاحة القارئة ٩ إلى اليمين ، وبدورها تؤثر على الذراع ٥ و ١١ وبانضغاط هذين الذراعين على بعضهما يتغلبان على مقاومة النابض ٣ وتدور حول المحور ٦ وتزيح الصمام المغذي ٧ يساراً فينخفض بذلك المسار الفعال للمكبس في مضخة الوقود والتغذية تبعاً لذلك مما يسبب زيادة الدوران في المجال المعطى من خط التحكم. شكل ٢.٧٦ زيادة الحمولة تؤدي إلى انخفاض القوى النابذة للكتل ١٠ وانزياح السواعد ٥ و ١١ بتأثير النابض بحيث أن الصمام المغذي ينحرف يميناً وتزداد التغذية الدورية.



شكل - ٧٦

هكذا تحصل عملية تثبيت الدوران المعطى من قبل السائق عند العمل على خط التحكم، في المجال الأساسي لأنظمة العمل (المجال A على الشكل - ٧٦ r).
 Damsus University

ويجب التنويه أنه في الحالات السابقة، فإن نابض نظام اللاحمل ٤ ونابض الإقلاع ١٢ ، تكون مضغوطة حتى النهاية .

إقلاع الديزل يظهر على الشكل-٧٦ b. وعند الإقلاع يكون ذراع التحكم ١ على المسند في الوضع النهائي ٢، الذي يطابق السرعة القصوى للدوران. ونتيجة الدوران المنخفض لعمود الديزل، وتبعاً لذلك محور المنظم، تكون قوى الكتل ليست كبيرة، ولذلك فإن النابض ٣ يضغط الذراع ٥ إلى المسند ١٣ . ونابض الإقلاع ١٢ يفصل الذراع ١١ عن الذراع ٥ ويزيح الصمام ٧ إلى اليمين بقوة إضافية بالمقدار المطلوب لإقلاع الديزل (المجال B شكل-٧٦ r). عندما يعمل الديزل على الدوران الأدنى لنظام اللاحمل ، وعلى أنظمة العمل الأخرى في المجال C شكل-٧٦ r، يكون ذراع التحكم ١ على المسند ١٤ ويحدد بذلك الحد الأدنى لسرعة الدوران شكل-٧٦ b. وتبعاً لذلك تكون قوة النابض ٣ ليست كبيرة. والقوى النابذة للكتل في هذه الحالة تتوازن أساساً بواسطة النابض ٤ .

وبذلك يزداد استقرار عمل الديزل على نظام اللاحمل .

٣,٢. استقرار التحكم الآلي لسرعة الدوران:

-الخاصية المستقرة للمنظم الآلي:

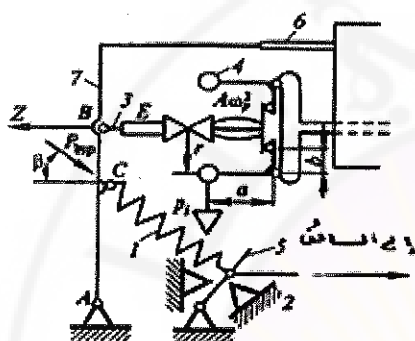
خطوط التحكم على منحنيات السرعة هي العلاقة بين T_K وبقية عوامل المحرك الأخرى من جهة وبين سرعة الدوران عند الوضعيات المستقرة لمساعد التحكم. وهي تبين الخواص الستاتيكية لنظام التحكم الآلي ، وهي عبارة عن جملة التأثيرات المتبادلة بين المحرك والمنظم . وشكل خط التحكم على منحنى السرعة (خاصية السرعة) لنظام التحكم الآلي تحدده أولاً خاصية استقرار المنظم شكل-٧٩. إضافة لذلك تؤثر على خط التحكم خواص نقل الحركة من القارئة في عنصر التحسس إلى الجريدة المسننة لمضخة الوقود، وكذلك خواص تغيرات التغذية الدورية (نسبة الدوران ووضعيتي الجريدة)، والعلاقة بين عزم الدوران وكمية الوقود المعطاة أيضاً.

عند النظر إلى خاصية استقرار المنظم عديد الفاعلية، الذي يعمل بالفعل المباشر وبالحساس الميكانيكي شكل-٧٧. نشاهد في عنصر التحسس الميكانيكي للمنظم تؤثر قوتان أساسيتان: القوة المستقرة الثابتة E ، وهي القوة المحولة إلى محور القارئة الناتجة عن مرونة النابض P_n ، والقوة المساندة AW_p^2 - المحولة (إلى محور القارئة) من القوة النابذة للكتل p_i .

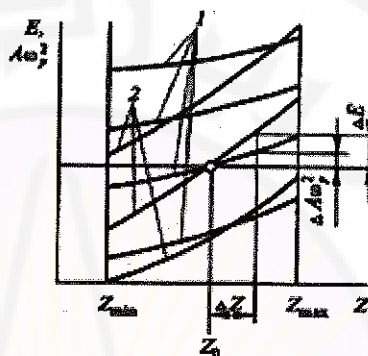
وتحسب القوة E من القوة P_n ومن زاوية ميل محور النابض على محور القارئة (β)، والمواقع النسبية للنقاط A ، B ، C . على الذراع ٧ شكل-٧٧ . عند ثبات مساعد التحكم ، وتبعاً لذلك ثبات ψ (التمدد الأولي للنابض) فإن E تتعلق بانزياح القارئة Z بشكل خطي، لأن الزاوية β عندئذ سوف تتغير . إضافة لذلك، E تتعلق بالمعامل ψ أي أن $E=f(\psi.Z)$.

عند الحساب الستاتيكي للمنظم يتم معرفة العلاقة $E=f(Z)$ وحسابها تبعاً لقيم مختلفة للمعامل ψ (٢ على الشكل-٧٨). القوة النابذة للكتل تتعلق بمقدار

الكتل m ، أبعاد الكتل a, b ، المسافة بين مركز ثقل الكتلة ومحور الدوران r (شكل - ٧٧)، والسرعة الزاوية لمحور المنظم w_p . وباستخدام العوامل المحسوبة، يمكن حساب وإنشاء علاقة قوة المساندة نسبة لوضعية القارنة عند القيم المختلفة للسرعة w_p (الخطوط ١ على الشكل - ٧٨).



شكل - ٧٧



شكل - ٧٨

والخواص التي تظهر على الشكل - ٧٨ يمكن تقديرها عملياً، بقياس القوى E ، عند اختبار المنظم. الوضعية المستقرة للقارنة يمكن المحافظة عليها فقط عندما تتساوى القوتان المعطاة (المستقرة) والمساندة (المقابلة).

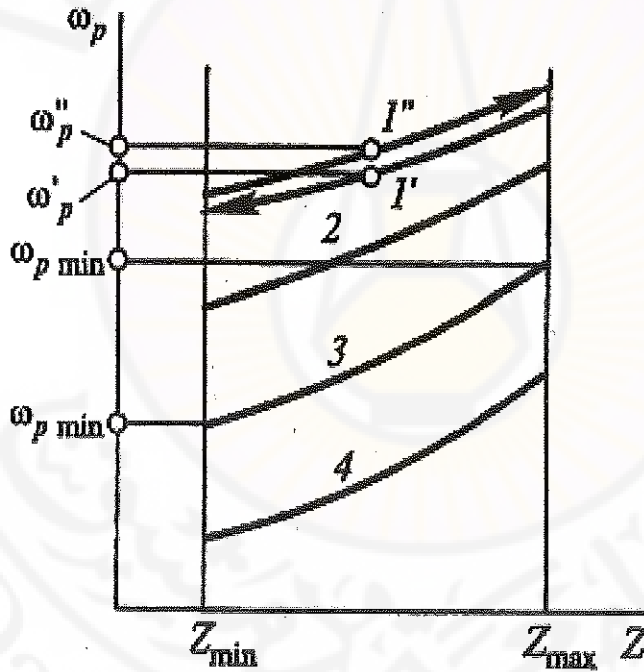
$$E - Aw_p^2 = 0$$

تسمى هذه المعادلة "بمعادلة التوازن الستاتيكي للمنظم الآلي".

وتحدد مجموعة الأوضاع المستقرة للقارنة (عند ثبات الشد الأولي للنابض)، بصورة تحليلية بإيجاد w_p من معادلة التوازن الستاتيكي $w_p = \sqrt{\frac{E}{A}}$ وذلك للمجال الممكن لتغيرات Z .

والعلاقة الحاصلة للسرعة الزاوية ω_p في الوضعيات المستقرة للقارنة Z ولعدة قيم معطاة للعامل η تسمى "الخاصية الستاتيكية للمنظم الآلي" شكل-٧٩. على المحور الأفقي توضع المواقع الستاتيكية للقارنة $Z : Z_{\min}$ وهي تطابق الحمولة الكاملة $-Z = Z_{\max}$ نظام اللاحمل . وعلى المحور العمودي- قيم السرعة الزاوية لمحور المنظم، المطابقة للمواقع المستقرة للقارنة.

وتظهر الخاصية الستاتيكية للمنظم عديد الفاعلية (١-٤ على الشكل-٧٩). تحدد مسار خطوط التحكم بدءاً من المنحني الخارجي (الحدّي) للديزل شكل-٧٤. b.



شكل-٧٩

-العوامل الأساسية التي تبين استقرار عملية التحكم الآلي بسرعة الدوران:
 خلال عمل المنظم تظهر قوى تؤدي إلى انحراف القارنة عن الأوضاع
 المتوازنة ومن المهم في مثل هذه الحالات تحديد استقرار المنظم . مثال، تغير
 الوضع المستقر للقارنة Z_0 بمقدار ΔZ (شكل-٧٨) يجعل القوة المستقرة
 المعطاة $E_0 + \Delta E$ تبدو أكبر من القوة المساندة $(Aw^2_p)_0 + \Delta(Aw^2_p)$
 والقوة الزائدة موجهة لإعادة القارنة إلى الوضعية الأولية.
 عند انحراف وضعية القارنة عن Z_0 باتجاه تخفيضها فإن القوة المساندة تصبح
 أكبر من المعطاة، وتحاول أيضا إعادة القارنة إلى الوضعية الأولية.
 الوضع المتوازن هذا للقارنة يسمى مستقراً ويقدر كماً من خلال معامل استقرار
 المنظم:

$$F_p = \frac{[\Delta E - \Delta(Aw^2_p)]}{\Delta Z}$$

وتتعلق قيم E و A بوضعية القارنة Z (وتتعلق E أيضاً بالمعامل ψ)

$$\Delta E = \frac{\partial E}{\partial Z} \Delta Z, \quad \Delta(Aw^2_p) = w^2_p \frac{dA}{dZ} \Delta Z$$

ومع احتساب هذه العلاقات في المعادلة السابقة يصبح لدينا.

$$F_p = \frac{\partial E}{\partial Z} - w^2_p \frac{dA}{dZ}$$

وتكون القيمة الموجبة لـ F_p مطابقة للوضع المستقر للقارنة المتوازنة، والقيمة
 السالبة تطابق الوضع غير المستقر.

ومن الشروط الحتمية لمنظم الدوران هي تأمين شرط $F_p > 0$ على مختلف
 أنظمة العمل.

ولتقدير إمكانية المنظم كماً، في المحافظة على نظام السرعة المعطى
 للمحرك عندما تتغير الحمولة، يستخدم مصطلح درجة عدم الاستقرار للمنظم
 الآلي δ_p .

$$\delta_p = \frac{w_{p \max} - w_{p \min}}{wp.c}$$

حيث $w_{p \min}$ ، $w_{p \max}$ - السرعة الزاوية لمحور المنظم عند العمل على نظام اللاحمل، وعند العمل على الحمولة القصوى (عند الوضعية المختارة لجهاز التحكم في المنظم). $wp.c$ - السرعة الزاوية الوسطى وهي تساوي:

$$W_{p.c} = \frac{w_{p \max} + w_{p \min}}{2} \text{ شكل-٧٩.}$$

وتحسب درجة عدم الاستقرار في منظومة التحكم الآلي المؤلفة من المحرك والمنظم الآلي على خط التحكم في منحنى السرعة الخارجى وهو الخط ٣ شكل-٧٤ b.

$$\delta = \frac{(n_{\max} - n_{\min})}{n_e}$$

بانخفاض تواتر الدوران فإن القوة Aw^2p تنخفض، والقوة الثابتة (عندما تكون قساوة نابض المنظم ثابتة) عند حركة القارئة من $Z_{\min}$ إلى $Z_{\max}$ لا تتأثر تغيراتها تقريباً بالسرعة الزاوية. وهذا يؤدي إلى زيادة غير مرغوبة ب δ_p بانخفاض تواتر الدوران، لأنه عند الدوران المنخفض، نحتاج للتغلب على القوة المعطاة، تغيير السرعة الزاوية لكثل المنظم في مجال واسع.

وللحد من زيادة δ_p عند زيادة w_p تستخدم الوضعية المائلة لنابض المنظم أو يبدل النابض بمجموعة نوابض بحيث أنه بزيادة الدوران يدخل في العمل عدد اكبر من النوابض.

وتسمح هذه التدابير بتخفيض القوة الثابتة المعطاة وتبعاً لذلك تتم فرملة الزيادة في δ_p ، عندما ينخفض تواتر الدوران.

المعادلة السابقة للتوازن الستاتيكي للمنظم لا تأخذ بالاعتبار قوة الاحتكاك R_p التي تؤثر في المنظم، وفي مضخة الوقود وفي العناصر الأخرى أيضاً.

وعند اعتبار قوة الاحتكاك هذه، يتحدد استقرار وتوازن المنظم بالمعادلة التالية:

$$E - Aw^2_p \pm R_p = 0$$

وتبعاً لإشارة القوة R_p ، التي تحددها وجهة تأثير الفروق بين القوتين E, Aw^2_p يمكن بهذه المعادلة إيجاد قيمتين حديتين للسرعة الزاوية تنطبقان مع وضعية واحدة للقارنة وهما:

wp'' - عند زيادة السرعة الزاوية للكتل و wp' - عند انخفاض السرعة، أي أن:

$$wp' = \sqrt{\frac{E - R_p}{A}}, wp'' = \sqrt{\frac{E + R_p}{A}}$$

في مجال السرعات $(wp'' - wp')$ شكل-٧٩ لا يتفاعل (لا يتجاوب) المنظم مع تغير wp ، لذلك يسمى هذا المجال مجال عدم الاستقرار.

$$\varepsilon_p = \frac{wp'' - wp'}{wp'' + wp'} \quad \text{والنسبة:}$$

تسمى درجة عدم الإستقرار في المنظم الآلي.

وتحسب درجة عدم الاستقرار لمنظومة التحكم الآلي على خطوط التحكم على منحنى السرعة الخارجي للديزل (شكل-٧٤ ب)، وهي الخطوط $1', 1''$ وتحسب عند موضع معين لذراع التحكم،
علماً أن الخط $1''$ يحدد عبر الزيادة المستمرة لتواتر دوران الديزل والخط $1'$ - بالتخفيض المستمر للدوران.

عملية تخفيض القوة R_p تتم بالتزييت الوافر، أو باستبدال الاحتكاك الإنزلاقي بالاحتكاك التدرجي، أو بتخفيض الأزواج المحنكة وغيرها.
في أنظمة الوقود ذات المضخات متعددة الضواغط، تتعلق R_p أساساً بالقوة المعطاة للجريدة المسننة - القوة المبذولة لتدوير الضاغط، لذلك فإن تدابير

تخفيض هذه القوة تقود إلى زيادة كبيرة في القوة المساندة في المنظم AWP^2 والقوة المرتبطة بها E .

وتتم زيادة AWP^2 أساساً بزيادة الكتل في المنظم، وبإدخال ناقل حركة يرفع السرعة الزاوية لمحور المنظم بالمقارنة مع السرعة الزاوية لعمود الديزل، والزيادة الموافقة للقوة E تحصل بزيادة قوة نابض المنظم.

٣. التحكم الإلكتروني بالمحرك

٣. ١. كيفية التحكم الإلكتروني بعمل المحرك:

تتم عملية التحكم الإلكتروني على أساس الآلات الحاسوبية المنطقية والرقمية وتستخدم النظم الرقمية الحديثة ذات الذاكرة المتطورة والاستجابة العالية ، الآن بنجاح للتحكم بالمحرك.

النظم المنطقية ذات استجابة عالية لذلك فإنه يمكن في المستقبل استخدام نظم مركبة مؤلفة من قسمين منطقي ورقمي.

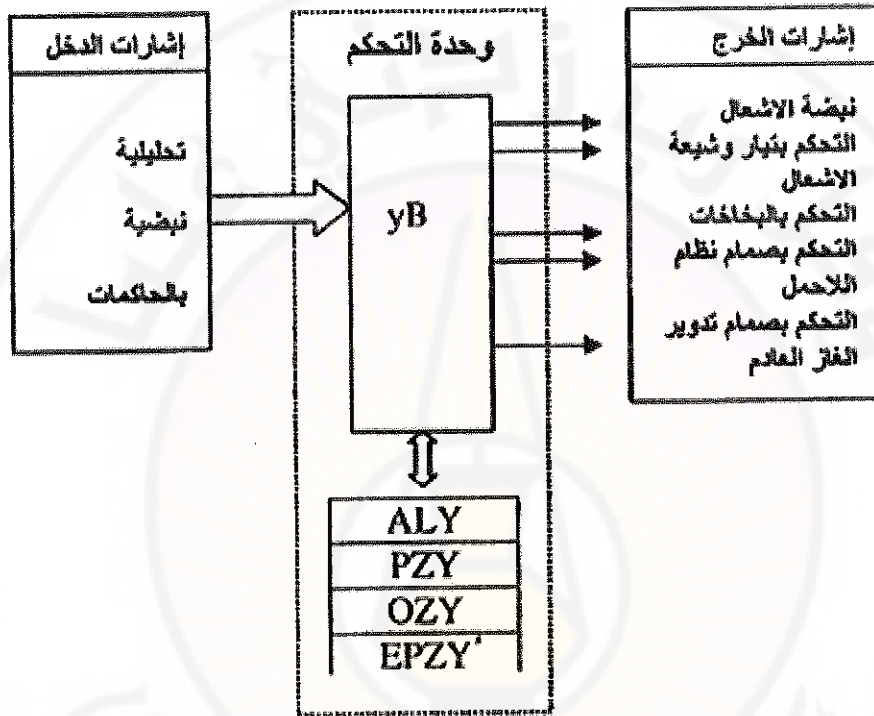
- بنية وتركيب نظام التحكم:

على الشكل -٨٠ يظهر مخطط مبسط لنظام التحكم الإلكتروني بالمحرك، ويضم نظام التحكم بالدلائل (الحساسات) المركبة على المحرك وعلى السيارة، وتؤمن المعلومات الضرورية لعملية التحكم، ووحدة التحكم الإلكترونية، تشكل على أساس المعلومات، العوامل المؤثرة، وتضم التجهيزات التنفيذية التي تؤمن العوامل المؤثرة (عوامل التحكم)، وفق الإشارات الواردة من وحدة التحكم، وموضوع التحكم (المحرك)، ومجموعة النواقل والروابط التي تربط بين عناصر النظام.

في نظم التحكم تستخدم حساسات من أنواع مختلفة: منطقية، نبضية، وبالحاكمات الإلكترونية وفي بعض الحالات يجب أن تخضع إشارات الدخل الواردة من الحساسات للمعالجة الأولية.

وتتم المعالجة في وحدة التحكم وبواسطة تجهيزات خاصة مبرمجة أيضاً، أو بواسطة تجهيزات أخرى. مثال المعلومات المنطقية التحليلية يجب أن تتحول إلى معلومات رقمية بواسطة المحولات (تحليلية - رقمية)، وقد تلزم عملية تقوية وعملية ترميز للإشارات.

في معلومات الدخل يمكن إدخال عملية تصحيح تبعاً لخصوصية مواصفات الحساسات.



شكل - ٨٠

في الآونة الأخيرة استخدمت بشكل واسع حساسات ذكية خاصة تحتوي على تجهيزات خاصة مهمتها المعالجة الأولية للمعلومات.

استخدام هذه الحساسات يخفف على وحدة التحكم، ويرفع مستوى الحماية والعزل لنظام التحكم، لأن المعلومات تنقل عبر الرموز المحددة.

وحدة التحكم الرقمية، تحتوي على أجهزة لإدخال وإخراج المعلومات، وتجهيزات رياضية منطقية تحليلية، وأجهزة الذاكرة الثابتة، وتجهيزات الذاكرة السريعة، وتجهيزات الذاكرة الكهربائية المبرمجة.

أما معالجة المعلومات الواردة وتشكيل عملية التحكم فنقوم بها بالتجهيزات الرياضية (الحسابية) بمساعدة التجهيزات الأخرى، للذاكرة الثابتة والسريعة والمبرمجة.

تعمل التجهيزات الحسابية التحليلية وفق البرنامج الموضوع في الذاكرة الثابتة. وفي هذه الذاكرة يتم إدخال برامج تؤمن عمل وحدة التحكم، إضافة لجداول تخص بعض القيم المعينة لكل عوامل التحكم، وفي جميع ظروف العمل وشروطه، وهذا يؤمن تبعاً للمعلومات الواردة إلى وحدة التحكم معرفة حالة المحرك، والظروف المحيطة، وتشكيل إشارات الخرج الواردة إلى التجهيزات التنفيذية.

أجهزة الذاكرة الثابتة هي عبارة عن أجهزة طاقة مستقلة، وهي تخرزن المعلومات عند فصل التغذية ولا تتغير خلال الاستمرار.

والذاكرة السريعة (الفعالة) تستخدم لاختزان المعلومات الجارية، الواردة من الحساسات، ونتائج الحسابات الجارية في التجهيزات الحسابية- التحليلية، والمعطيات الأخرى الضرورية لعمل النظام. هذا الذاكرة مستقلة بتغذيتها وتحتوي على معلومات تضيع عند فصل التغذية.

والذاكرة الكهربائية المبرمجة كالذاكرة الثابتة، مستقلة بتغذيتها، لكن المعلومات المخزنة في داخلها يمكن أن تتجدد خلال عملية الاستمرار.

في الذاكرة الكهربائية المبرمجة تدخل رموز (شيفرة) نظام حماية السيارة من السرقة، والمعطيات المتعلقة بتصحيح خواص الحساسات أو معايرتها خلال عملية الاستثمار، والمعلومات الضرورية لعمل نظم التحكم المتكيفة.

-الخوارزميات الوظيفية.(في نظام التحكم الالكتروني).

لتحقيق عملية التحكم بالمحرك، يجب وضع خوارزميات عمله، في نظام التحكم الالكتروني، ونقوم هذه الخوارزميات بالوظائف التالية:

- تتبع ورصد الزمن وزاوية دوران عمود المرفق.

لهذا الهدف يوجد في النظام جهاز لمراقبة الزمن، وبما أن كثير من وظائف التحكم مرتبط بطور معين في الدورة الحرارية ، وفي بعض الحالات إلى اسطوانة معينة، يجب دائماً تتبع وضعية عمود المرفق، في المحركات رباعية الأشواط وتتبع وضعية محور التوزيع لكي نتحقق من الشوط الفعال في كل اسطوانة. وربطها بالعمليات التي يقوم بها المعالج الرقمي والتجهيزات التنفيذية. وبما أن بعض العمليات الجارية داخل المحرك تتعلق فقط بالزمن فإن كثير من العمليات في نظام التحكم أيضاً يجب أن تكون مترامنة.

بشكل آخر يجب وجود مراقب(رصد) للزمن الفعلي وآخر للزمن.

- الاستقبال، المعالجة، وتوزيع المعلومات الواردة من الحساسات:

هنا يجب أخذ الخواص الفعلية للحساسات بعين الاعتبار، وفي بعض الحالات تجرى عملية تصحيح آلية لهذه الخواص، إذا كانت تتغير في ظروف الاستثمار. وبواسطة برنامج خاص تتم المعالجة الأولية للمعلومات الواردة.

- التعرف على نظام عمل المحرك:

للتعرف على نظام عمل المحرك في لحظة معينة، ولاختيار الفقرة المطابقة من الخوارزمية والبرنامج، لأجراء التحكم، يقوم بهذه المهمة مراقب الزمن.

للتعرف على نظام العمل، تتم الاستعانة بالحساسات وفق خوارزمية معينة، وعلى أساس المعلومة الواردة يتحدد نظام عمل المحرك.

وللتعرف على ذلك تستخدم عادة المعلومات الواردة من حساسات- مفاتيح خاصة، والمعطيات الدالة على الدوران، وبعض المعلومات الأخرى. مبدأ التعرف على نظام العمل يظهر على الشكل- ٨١. وعليه تظهر حالة واحدة من حالات التحليل الناتجة عن حزمة ممكنة من المعلومات الواردة التي تحدد نظام العمل.

عادة وكما يظهر على الشكل - ٨١ يمكن التعرف على النظم الرئيسية للعمل. إضافة لذلك ولتحسين عملية التحكم تظهر الحاجة للتعرف على بعض أنظمة العمل الهامة الأخرى وهي:

-الإقلاع البارد والساخن للمحرك.

-إقلاع المحرك من دون المقلع.

- الانتقال من نظام الإقلاع إلى نظام اللاحمل.

- تسخين المحرك.

- فصل الحمولة، وزيادتها.

- تسارع وتباطؤ تواتر الدوران.

-إيقاف المحرك وغيره:

وللتعرف على نظام عمل المحرك الانتقالية تستخدم المعلومات الدالة على تغير سرعة الدوران، مصروف الهواء، وضعية صمام المزيج، وحالة المحرك الحرارية.

- التحكم وإجراؤه:

في التحكم المبرمج المفتوح وبعد التعرف على نظام عمل المحرك واختيار خوارزمية التحكم وبرنامجهم تقوم وحدة التحكم الرقمي على أساس قيم معينة

لعوامل التحكم وفي ظروف مختلفة مخزنة في الذاكرة الثابتة بشكل جداول، تقوم بحساب الأوامر الضرورية للتجهيزات التنفيذية.

وفيما يخص دارات التحكم الأهم والأكثر تعقيداً: دارة التحكم بالتغذية، تسييق الاشتعال، أو بداية الحقن، فإن كل عملية المعالجة للمعطيات، تستغرق جزءاً يسيراً فقط من زمن الدورة الحرارية، مما يسمح بتغيير التحكم في كل دورة تسلسلية وفي اسطوانات معينة.

- التكيف:

في النظم المبرمجة- المتكيفة ووفق خوارزميات خاصة يتم تغيير بنية النظام واختيار البرامج تبعاً لنظام العمل وشروطه، ويتم إجراء التحكم المغلق للمحافظة على القيم المعطاة لعوامل التحكم.

وتستطيع هذه النظم الرقمية الحديثة الحصول على القيم المثالية لعوامل التحكم، وعلى تكيف البرامج، ومعايرة جداول التحكم خلال عملية الاستثمار عندما تتغير حالة المحرك،، والحساسات وظروف الاستثمار.

- إخراج أوامر التحكم:

وفق القيم المحسوبة لعوامل التحكم، تجري معالجة معلومات الخرج ونقل الأوامر المناسبة إلى التجهيزات التنفيذية.

- التشخيص:

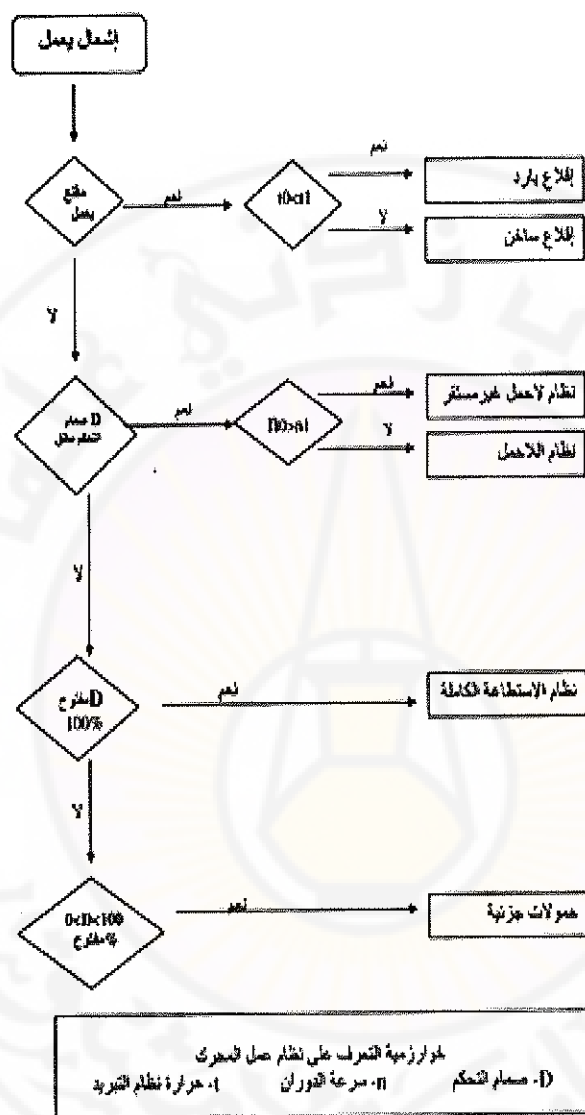
تقوم وحدة التحكم إضافة لعملية تشكيل التحكم، بتشخيص عمل الحساسات، ومراقبة صحة عمل نظام التحكم. وفي نظم التحكم الحديثة تزداد متطلبات الدقة والوثوقية.

وخاصة هذه الأنظمة يجب أن تؤمن الاستثمار الطويل للسيارة مع المحافظة على المؤشرات البيئية وفق المعدلات المطلوبة. ولهذا تلحظ عملية التشخيص

ليس فيما يخص عمل نظام التحكم، بل استخدام وحدة التحكم لتشخيص عمل بعض أنظمة المحرك الأخرى.

- تأمين عمل المحرك والسيارة عندما يتوقف أحد أو أكثر من عناصر نظام التحكم.

ولهذا الغرض تحضر خوارزميات إضافية عامة، تتضمن إمكانية عمل المحرك عند توقف هذه العناصر.



شكل - ٨١

٢,٣. تشكيل عملية التحكم بعمل المحرك:

- التحكم بالمحركات العاملة بالشرارة الكهربائية وذات الخلط الخارجي:

في محركات الشرارة الكهربائية ذات الخلط الخارجي، يتم التحكم بالاستطاعة أساساً بتغيير كمية المزيج الغازي الواردة إلى الأسطوانات، التي يحددها سائق المركبة بطريقة تغير وضعية صمام المزيج (صمام التحكم بالمزيج). عند تنظيم التحكم الرقمي بعمليات التشغيل في هذه المحركات، فإن التحكم المغلق يستخدم على نطاق ضيق نظراً لصعوبة قياس العوامل الخارجية: الاستطاعة، العوامل البيئية، والاقتصادية لهذه المحركات.

ويتم التحكم بعمليات التشغيل في هذه الحالة بعملية مبرمجة مفتوحة باستخدام عملية التصحيح بعوامل الإعاقة. وفي أساس التحكم المبرمج في كل من عوامل التحكم الأساسية لمحركات الشرارة الكهربائية والخلط الخارجي، يوجد برنامج تحكم أساسي (جدول أساسي) تحدد بمساعدته القيم الضرورية لعوامل التحكم تبعاً للعامل الأساسي أو تبعاً للعوامل الموافقة لنظام العمل، حيث أن التحكم بالتغذية وبتسبيق الاشتعال، وكمية الغازات المدورة وبعض عوامل التحكم الأخرى على الأنظمة الانتقالية تعطى بشكل جداول أساسية تبعاً لسرعة دوران وحمولة المحرك الساخن العامل على نظام مستقر.

وفيما يخص القيم الوسطية للعوامل المطابقة للأنظمة الانتقالية التي لا تدخل في صميم الجداول، فإن قيم عوامل التحكم تحدد بالقياس المباشر لعزم الدوران على السيارة وهذا ترافقه بعض الصعوبات، لذلك عند التحكم بالمحرك العامل بالحقن المركزي أو الموزع تستخدم عوامل غير مباشرة لتقدير الحمولة.

وتكون هذه العوامل مرتبطة مباشرة بالعزم. ومن هذه العوامل المتاحة للقياس: مصروف الهواء، وضعية صمام المزيج، الضغط المطلق أو التخلخل في مجرى السحب بعد صمام المزيج.

ويجب التذكير انه بين مصروف الهواء، ووضعية صمام المزيج أو الضغط في مجرى السحب من جهة وقيمة عزم الدوران عند دوران معين في الحالة العامة ليس هناك علاقة موحدة.

وتتعلق هذه العلاقة بقيم عوامل التحكم المؤثرة، جودة عمليات التشغيل بالمحرك، وحالته.

وتتعلق بالظروف الجوية المحيطة. لذلك فان دقة التحكم المستندة على النتائج المذكورة أعلاه، والقياسات غير المباشرة هي محدودة وتتغير تبعاً لنظام العمل. وبناء على هذا فإنه في نظم التحكم الالكترونية المتطورة بمحرك الشرارة الكهربائية، غالباً تقاس ثلاثة عوامل، ويبدل العامل الأساسي للتحكم تبعاً لنظام العمل، ويعتمد العامل الذي يعطي النتائج الأفضل.

عند التحكم المبرمج بالمحرك من الضروري اعتماد عدة عوامل إضافية أخرى، إضافة لنظام السرعة-الحمولة. وعند ظهور عوامل أعاققة معينة (تسخين محدود للمحرك، تغير الظروف الجوية، جودة الوقود) أو عند عمل المحرك على الأنظمة الانتقالية، تنظم عملية التحكم بطريقة التصحيح المحدد على أساس الجدول الأساسي وباستخدام المعلومات المصححة من جدولين أساسيين، أو باستخدام عوامل أخرى.

ففي بعض عوامل التحكم المؤثرة، يتم تصحيح التحكم بالاعتماد على خمسة أو ستة عوامل أو أكثر.

على بعض الأنظمة الخصوصية (اللاحمل، الإقلاع وغيرها)، يتم إجراء التحكم وفق خوارزميات خاصة وبرامج نوعية.

وعند استخدام جداول التصحيح تستخدم ثلاثة طرق لحساب قيم معامل التحكم: طريقة حسابية، وطريقة الجداء، والطريقة المختلطة.

ففي محركات الشرارة، لحساب زاوية تسبيق الاشتعال تستخدم الطريقة الأولى والقيمة الموافقة لزاوية التسبيق تحسب بالعلاقة التي تجمع القيمة الأساسية لزاوية التسبيق ϕ_o التابعة (w, p_k) مع قيم التصحيح الضرورية للزاوية، التي تأخذ بعين الاعتبار عدة عوامل.

القيم الأساسية لزاوية التسبيق عندئذ يتم اختيارها عملياً مسبقاً بشرط الحصول على الاقتصادية العليا نسبة للوقود (الاستطاعة)، واعتماد شرط آخر وهو ضرورة تخفيض زاوية تسبيق الاشتعال، وذلك للتخفيف من إصدارات NO و CH. عند إنشاء الجدول الأساسي تبعاً لسرعة الدوران (w) والضغط المطلق في مجرى الدخول P_k ، يجب إضافة مقدار التصحيح على الأقل تبعاً لحرارة ماء التبريد $\Delta\phi_o(t_a)$ وتبعاً لحرارة الهواء الجوي $\Delta\phi_o(t_o)$ إلى القيم الحاصلة للزاوية ϕ_o تبعاً للدوران والضغط المطلق P_k .

$$\phi_o = \phi_o(w, P_k) + \Delta\phi_o(t_a) + \Delta\phi_o(t_o) + \dots$$

عند إنشاء الجدول الأساسي نسبة لمصروف الهواء الدوري وسرعة الدوران لا تضاف عادة قيمة التصحيح التابعة لحرارة الهواء. ويمكن إجراء تصحيح زاوية تسبيق الاشتعال نسبة لعمل المحرك على الأنظمة الانتقالية وتبعاً للوقود المستخدم.

وتسمح نظم التحكم الالكترونية بحساب تغيرات الزمن الذي تتجمع فيه الطاقة على وشيعة الاشتعال تبعاً للجهد الكهربائي في شبكة السيارة. وهذا يعطي إمكانية اختيار زمن تحويل الكهرباء، للملفات الأولى للوشيعة بعد حساب زاوية التسبيق الضرورية، نسبة لسرعة الدوران وجهد الشبكة. ويقود الأخير إلى الطاقة المثلى لتوليد الشرارة، ويختصر الاستطاعة المصروفة في دائرة الإشعال.

عند التحكم بالتغذية الدورية في نظم حقن البنزين (الموزعة) تستخدم طريقة الجداء، والطريقة المختلطة لإجراء التحكم. وفي هذه الحالة تحسب القيمة النهائية للتحكم إما بطريقة جداء التحكم الأساسي بقيمة معامل التصحيح أو بجمع القيم الأساسية والتصحيحية لعوامل التحكم.

عند استخدام الطريقة المختلطة في التحكم يمكن حساب مقدار التصحيح نسبة لعوامل عديدة، لأنه عندما يكون ضرورياً لإجراء تصحيح الزاوية نسبة لدرجة الحرارة يمكن إجراء تصحيح حسابي مثال: $\Delta \phi_o(t) k_i$

حيث k_i : معاملات إضافية متعلقة بعدد من العوامل الإضافية. وهذا يسمح بإدخال تصحيح فردي على تغير الحرارة في كل نظام عمل للسرعة وللحمولة (إذا كانت $k_i = f(n, G_B)$) أو إجراء التصحيح على النظم الانتقالية المتغيرة مع كل دورة حرارية تالية (إذا كانت $k_i = f(i)$) حيث:

i : الرقم الدوري للدورة الحرارية.

الجدول الأساسي المعد لتقدير التغذية الدورية يعطى تبعاً لسرعة دوران المحور ومصروف الهواء G_{BC} من خلال القيم الضرورية للمعامل ∞ . عند عمل أنظمة التحكم الالكترونية، يمكن تحديد G_{BC} بمقياس مصروف الهواء الكتلوي أو من خلال حسابه استناداً إلى نتائج قياس الدوران، والضغط المطلق، وحرارة الهواء في مجرى سحب الهواء وباستخدام جداول إضافية معروفة ومحددة عند معايرة نظم التحكم.

وفي أساس هذه الحسابات يمكن أن يتواجد جدول يحتوي على قيم المعامل η_v المحسوبة عملياً، وذلك بشكل علاقة بسرعة الدوران، ونسبة الضغط المطلق p_k في مجرى السحب على الضغط المعاكس على المخرج p_r شكل-٨٢.

والضغط المعاكس لطرد الغازات لا يقاس عادة بل يحسب بالعلاقة $P_r = F(P_o, P_k, n)$.

والمصروف الدوري للهواء يمكن حسابه بالمعادلة:

$$G_{B,c} = Vh \cdot \eta_v \cdot \rho_B$$

ويحضر جدول القيم η_v أيضاً بإحداثيات زاوية انفتاح صمام المزيج- سرعة الدوران.

وبمساعدة مصروف الهواء الدوري G_{BC} تحسب فترة النبضة (τ) التي تتحكم بانفتاح وحدة حقن الوقود (البخاخ)، التي تؤمن التغذية الدورية، الضرورية للحصول على قيمة ∞ المعطاة.

$$\tau = \frac{G_B}{\ell_o \cdot m \cdot n \cdot q \cdot k_o \cdot \infty \cdot k_i} + \Delta\tau_\phi$$

حيث G_B - مصروف الهواء الكتلوي في الأسطوانة في الدقيقة.

ℓ_o - نسبة الهواء إلى الوقود (المتوازنة).

m - عدد مرات الحقن في الدورة الحرارية الواحدة.

n - تواتر الدوران للعمود المرفق.

q - خاصية التصريف الديناميكية للحاقن.

k_o - عامل يأخذ بعين الاعتبار أشواط المحرك، وقياس G_B, q, n

k_i - عامل متغير يؤمن تصحيح التغذية عند تغيير حرارة

المحرك، وعلى أنظمة التسارع وغيرها.

∞ - تحدد بالمعيار الأولي، ففي حالة التحكم المبرمج المفتوح، تثبت في

المستوى الموافق للجدول الأساسي. وعند العمل الموضعي لدارة مغلقة، تثبت

$$1 = \infty$$

$\Delta\tau_\phi$ - المضافة وتحسب من خلال تأخير عمل البخاخ، ويمكن استخدامها

لتصحيح التحكم عندما يتغير الجهد في المدخلة الكهربائية.

بعد حساب τ تبعاً لسرعة الدوران يمكن حساب زاوية تسبيق بداية التغذية نسبة للنقطة الميتة العليا $\varphi_{i,n}$ (شوط السحب). انطلاقاً من شرط انتهاء الحقن إلى لحظة بداية انفتاح صمام السحب:

$$\varphi_{i,n} = 6.n\tau + \varphi_{k,n}$$

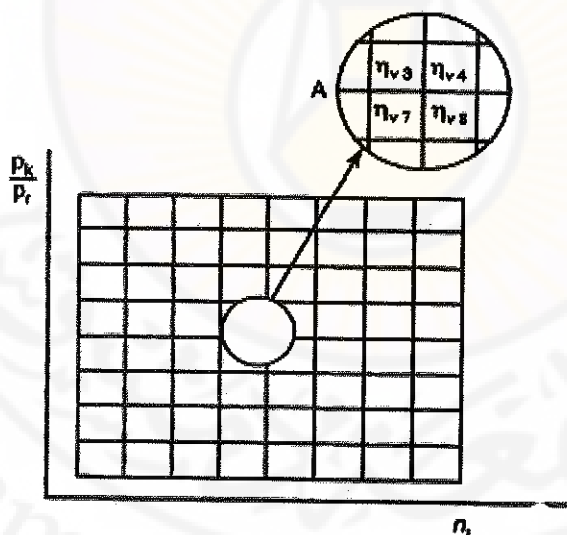
حيث n - تقاس في الدقيقة.

τ - تقاس في الثانية.

$\varphi_{k,n}$ - الزاوية الضرورية لانتهاؤ التغذية.

وبصورة مماثلة تنظم عملية التحكم، وبعوامل التحكم الأخرى.

عملياً في نظم التحكم الالكترونية، يتم التحكم بكل عامل من العوامل من خلال دارة منفصلة من البرنامج. وللحصول على مبدأ التحكم المشترك في هذه الحالة يكون بالاختيار المشترك لقيم العوامل المرتبطة فيما بينها خلال عملية المعايرة لنظام التحكم.



شكل - ٨٢

-التحكم بمحركات الديزل:

يتم التحكم باستطاعة محركات الديزل بتغير قيمة التغذية،فالتغذية الدورية تعطى من قبل السائق أو تتغير تحت تأثير المنظم الآلي لسرعة الدوران. وفي الحالة الأخيرة تواتر الدوران مباشرة بدعسة التسارع. ووحدة التحكم التي تتلقى إشارة التغذية والمعلومات الخاصة بالتواتر (سرعة السيارة) تقوم بتبديل التغذية الدورية وتؤمن المحافظة على نظام السرعة بدقة عالية. وبذلك فإنه في محركات الديزل يستخدم في الدارة الرئيسية للتحكم بالاستطاعة،مبدأ التحكم وفق الرابطة العكسية السلبية. عند تشكيل التحكم بالعمليات الجارية داخل الديزل كما في حالة المحرك العامل بالشرارة الكهربائية يستخدم التحكم المبرمج.

جداول التحكم بالعمليات، مثال تغيير تسبيق بداية ونهاية التغذية،ضغط الشحن،تدوير الغازات العادمة،توضع عادة تبعاً لسرعة الدوران وتبعاً لموضع آلية حقن الوقود(عند استخدام الحقن الميكانيكي للوقود)،أو تبعاً لسرعة الدوران، فترة انفتاح بخاخ الوقود، وضغط حقن الوقود(في نظام الحقن الإلكتروني للوقود).

وتصحيح القيم الأساسية لعوامل التحكم يجري اعتماداً على العوامل المختلفة كدرجة الحرارة في نظام التبريد،حرارة الوقود، حرارة الهواء،ضغط الشحن، وطبيعة العمليات الانتقالية وغيرها.

ولزيادة جودة التحكم أي رفع دقة تصحيح عملية التغذية،تستخدم المعطيات المتوفرة عن مصروف الهواء،ولذلك فإنه في بعض النظم تتواجد عدادات لمصروف الهواء الكتلوي ماثلة لما هي عليه في محركات الشرارة الكهربائية. وفق برامج خاصة يجري التحكم على أنظمة العمل عند الإقلاع وتوقف المحرك.

-التحكم بالمحركات ذات الشرارة التي تستخدم الحقن المباشر للبنزين:

في هذا النوع من المحركات عند إشعال الشحنات الطبقية، تتوسع مجالات إمكانية الإفقار لمزيج الوقود، وتبعاً لذلك إمكانية تغير استطاعة المحرك على حساب التحكم بالتغذية الدورية بالوقود، كما في حالة محركات الديزل.

ومع هذا فإن مجالات إفقار المزيج تبقى غير كافية للتحكم بالاستطاعة في كل الحقل الخاص بأنظمة الحمولة والسرعة.

إضافة لذلك، على بعض أنظمة العمل، مثلاً عند الحمولة الكاملة يجب الانتقال مبدئياً إلى إشعال الخلائط المتجانسة. وبذلك فإنه في المحركات ذات الحقن المباشر للبنزين تبعاً لنظام السرعة - الحمولة يتوجب الانتقال من طريقة التحكم بالاستطاعة الجاري عبر تغير كمية المزيج إلى طريقة تغير التغذية الدورية بالوقود، عند تحديد مستوى تحويل الشحنة إلى طبقات. في هذه الحالة فإن إجراء التحكم بجميع العوامل المؤثرة، ومنها وضعية صمام المزيج، مصروف الهواء أو بقيمة الضغط في مجرى السحب يصبح غير ممكناً.

ولذلك توضع الجداول الأساسية في إحداثيات (العزم-سرعة الدوران).

عند إجراء هذا التحكم، تتغير الرابطة الميكانيكية بين دعة السائق وصمام المزيج وتصبح كهربائية. ويوضع ناقل العزم على دعة السائق أما صمام المزيج فيتم التحكم به وفق برنامج خاص بوصلة كهربائية.

ويمكن حساب قيم عزم الدوران اللازم لتأمين التحكم بثلاث طرق:

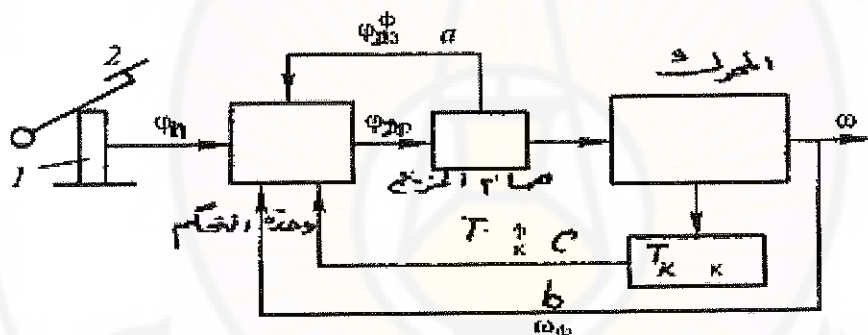
-القياس المباشر باستخدام ناقل العزم.

-على أساس القياسات غير المباشرة.

- بمساعدة النمذجة الرياضية، على أساس القيم الفعلية لشعاع عوامل التحكم المؤثرة والعوامل الفعلية.

و غالباً ما تستخدم الطريقة الثالثة. وفي هذه الحالة توضع النماذج الأولية بشكل مجموعة جداول، وتحسب أولاً على أساس تجريبي.

- تطوير طرق التحكم باستطاعة المحركات:



شکل - ۸۳

عندما تكون الدعسة مرتبطة بالناقل، والمنظم الإلكتروني (بمساعدة الناقل الكهربائي) يؤمن التحكم المغلق عبر فتح صمام المزيج، تتوفر ثلاثة طرق للحصول على الرابطة العكسية.

تسبب انفتاح الصمام، فإنه كما في حالة الوصلة الميكانيكية، يمكن للسائق أن يتحكم بالسرعة وبتسارع السيارة. والميزة الايجابية الأخرى لهذا الناقل هي إمكانية:

- المحافظة بدقة على وضعية صمام المزيج.
 - التصحيح المبرمج لدينامية انزياح الصمام.
 - معرفة وضعية الصمام عند إجراء التحكم بالمحرك.
- ٢- إذا كان الناقل هو الذي يحدد الدوران، والرابطة العكسية تحصل عبر سرعة الدوران تظهر عندئذ إمكانية التحكم الآلي بسرعة السيارة.
- ٣- إذا كان الناقل هو يحدد قيمة العزم، ولأجل الرابطة العكسية تستخدم عملية قياس العزم أو حسابه تظهر عندئذ إمكانية ليس فقط إجراء التحكم وفق عزم الدوران، بل استخدام خوارزميات مجهزة متكيفة. وهذا مرتبط بأنه عند معرفة العزم يكفي حساب زاوية تسييق الاشتعال المثلّي على سبيل المثال. أو تركيبة المزيج أو غيرها.
- وبذلك تتوفر إمكانية التحكم بنظم ذات تعرف ذاتي تستطيع حساب تغيرات حالة المحرك عند استثماره.
- هذه الخواص لعملية التحكم تسمح بما يلي: تحسين عمل المحرك على الأنظمة الانتقالية، تحسين جودة ورفاهية التحكم بالسيارة، وتأمين نظم تحكم آلية ترفع من درجة الأمان والسلامة.
- الاتجاه الثاني:
- تطوير عملية التحكم بالاستطاعة، وهو مرتبط بتطوير طرق جديدة للتأثير على عمل المحرك.

مثال تغير استطاعة المحرك يمكن بتغيير طور فتح صمامات السحب، الحجم الفعال للاسطوانة (مسار المكبس). وغيرها أو فصل الأسطوانات أو الدورات الحرارية.

- التحكم الموضوعي المغلق والتكيف:

من سليات التحكم المبرمج هي الحساب المعقد عند التحكم بالتغيرات الداخلية والخارجية للعوامل المختلفة وتأتي في المقدمة العوامل التي ليست واقعة تحت الرصد والمراقبة. مثال:

صعوبة تصحيح عملية التحكم المرتبطة بتآكل أجزاء المحرك، تراكم المواد، تغير خواص ومواصفات المحرك وغيرها.

وكما ورد سابقاً يستخدم في بعض الدارات الفرعية للنظم الالكترونية الحديثة، التحكم المغلق.

ففي محركات الشرارة تستخدم عملية إضافية إلى التحكم المبرمج المفتوح وتقوم ببعض وظائف الاستقرار الجزئية، وعمليات تحديد العوامل والتكيف. لذلك يمكن الكلام هنا عن استخدام تحكم مبرمج بدارات موضوعية مغلقة.

ومن هذه الدارات الموضوعية المغلقة وفي حالة المحرك الشرارة ما يلي:

- دائرة التحكم المغلق بزواوية تسبيق الاشتعال التي تؤمن تخفيض الزاوية عند حدوث ظاهرة الصفع.

- دائرة التحكم المغلق بالتغذية بالوقود وفق إشارة حساس المزيج (λ) التي تؤمن بدقة عالية المحافظة على التركيب المتجانس (المتوازن)، $\lambda = 1$.

- دائرة المحافظة على القيمة المعطاة للدوران n على نظام اللاحمل عند تغير الحمولة الخارجية على المحرك.

ويتم الحصول على ذلك برصد كمية الهواء الوارد إلى الاسطوانة عند تصحيح عملية التحكم بالتغذية وبالاشتعال.

- دارة التحكم بصمام تدوير غاز العادم بالرابطة العكسية وفق إشارة حساس انزياح الصمام،الذي يسمح بدقة بالمحافظة على طور انفتاح الصمام وفق البرنامج المحدد.

- في محركات الديزل إضافة لاستخدام التحكم المغلق بتواتر الدوران في الدارة الرئيسية تستخدم أيضاً دارات تحكم موضعية مغلقة ومنها:
- دارة تحكم مغلق بتسبيق الحقن بالرابطة العكسية،بإشارة الحساس الموضوع على البخاخ.

- دارة التحكم بضغط وحرارة الهواء المشحون.

- دارة التحكم بضغط حقن الوقود.

- دارة التحكم بحرارة نظام التبريد.

- دارة التحكم بتدوير غاز العادم وغيرها.

وتعالج مسألة حساب تغير حالة المحرك والظروف الخارجية خلال عملية الاستثمار بالكامل باستخدام نظام تحكم متكيف.

وبذلك يمكن أن تتسب نظم التحكم الالكترونية بمحركات السيارات إلى النظم المتكيفة، لأنه عند تغير نظام العمل، والحالة الحرارية للمحرك وبعض العوامل الأخرى، تحصل تغيرات في بنية خوارزميات وبرامج التحكم. لكن في أغلب دارات التحكم، هذه المتغيرات تحصل وفق برامج خاصة موضوعة مسبقاً ووفق قيم عوامل التحكم المؤثرة وذلك على أساس المعلومات الواردة عن الظروف المتغيرة.

لهذا فإن هذه النظم يمكن تصنيفها كنظم مبرمجة متكيفة.

وباستمرار تطوير النظم الإلكترونية للتحكم في بعض الدارات الخاصة تستخدم غالباً طريقة أخرى للتحكم المتكيف، حيث أن القيم الفعلية لعوامل التحكم عند تغيير الظروف لا تعطى مسبقاً،بل توضع الشروط المطلوبة من جودة

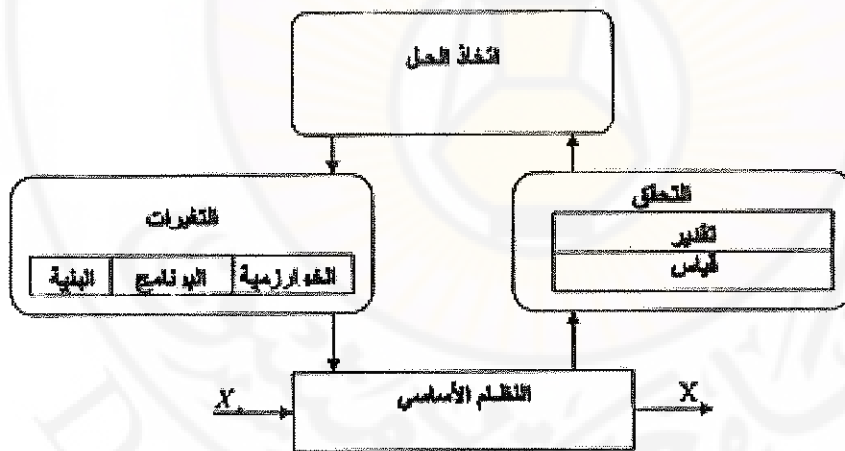
التحكم بالمحرك فقط، والتي ينبغي على نظام التحكم تأمينها. وتسمى حينها نظم التحكم متكيفة مجهزة.

وإذا كانت البنية أو الخوارزمية تتغير عند التكيف، فإن هذه الأنظمة تسمى "نظم ذاتية التنظيم"

وإذا كانت قيم عوامل التحكم تتغير، فإن هذه الأنظمة تسمى "ذاتية التجهيز والتحضير".

ويظهر مخطط عمل التحكم المتكيف على الشكل-٨٤ ، وتضم عملية التكيف ثلاثة مراحل:

- التعرف على القيم الطبيعية لعوامل معينة.
- اتخاذ الحل نتيجة عملية التعرف
- التعديل أو تغيير وظيفة الأجهزة أو البرامج (وظيفة النظام الأساسي).



شكل - ٨٤

مثال استخدام التحكم المتكيف المجهز في نظم التحكم بالمحركات:

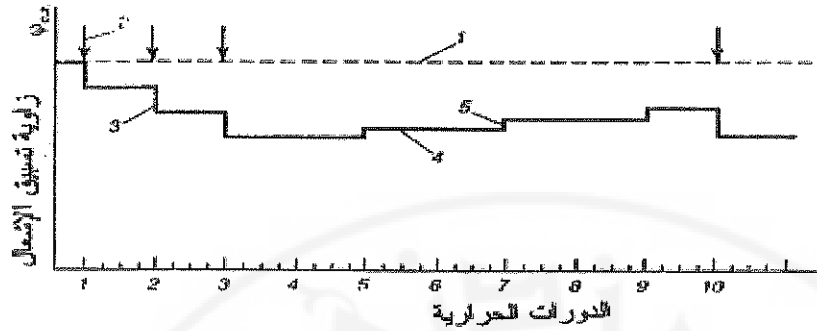
عمل دائرة التحكم بظاهرة الصفع من خلال التحكم بزاوية تسبيق الاشتعال، وتصحيح التحكم بالتغذية نسبة للتغيرات الحاصلة لخواص مقياس الهواء في أثناء عملية الاستثمار، أو في خواص بخاخ الوقود.

مثال: التحكم الأساسي بزاوية تسبيق الاشتعال يكون مفتوحاً وتحسب عوامل التحكم على أساس جداول أساسية ومصححة.

وعند تغير جودة الوقود، حالة المحرك والظروف المحيطة يمكن أن يظهر الصفع، ويستدل على الخلل الحاصل في عملية الاحتراق بمساعدة الحساس- مقياس التسارع الذي يتتبع زيادة الاهتزاز على سطح كتلة الأسطوانات أو رأس الأسطوانات عند ظهور الصفع.

وعند ظهور المعطيات عن ظهور الصفع إلى وحدة التحكم، فإنها تبدل خوارزمية العمل شكل-٨٥ حيث أن $\varphi_{0.3}$ - في البداية تنخفض بشكل حاد وبعدها تزداد بالتدرج إلى قيمة $\varphi_{0.max}$ الموجودة في البرنامج الأساسي، وإذا ظهر الصفع من جديد تتكرر العملية من جديد.

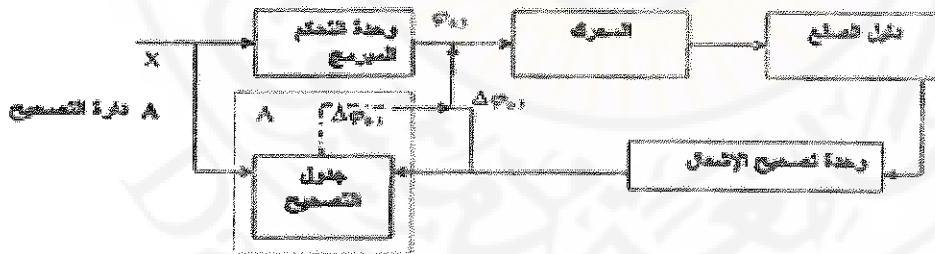
مقدار الانخفاض $\varphi_{0.3}$ يمكن أن يعطى تبعاً لكثافة ظهور الصفع. وفي بعض الحالات يمكن أن يحصل لأسطوانة واحدة فقط، حيث يكون قد ظهر الخلل في عملية الإحتراق.



شكل - ٨٥

- ١- الزاوية الموضوعية في البرنامج
- ٢- إشارة ظهور الصفع
- ٣- انخفاض الزاوية عند ظهور الصفع
- ٤- فترة استقرار
- ٥- خطوة العودة إلى القيمة الأولية للزاوية.

عند عمل هذه النظم لا يستثنى الظهور الدوري للصفع، لكن عدد الدورات الحرارية التي يرافقها الصفع ينخفض بشكل حاد. ولتخفيض عدد الدورات الحرارية التي يرافقها الصفع لاحقاً، ولتحسين عملية التحكم بزاوية تسبيق الاشتغال على النظم الانتقالية، يضاف إلى وحدة الحد من ظاهرة الصفع جداول التعرف والرصد شكل - ٨٦ .



مخطط التحكم المبرمج بزاوية تسبيق الاشتغال بواسطة دائرة موضوعة مغلقة للحد من الزاوية مع بداية الصفع

شكل - ٨٦

في هذه الجداول يتم التذكير بقيم التخفيض الأدنى الضروري لزاوية تسبيق الاشتعال لكي يحول دون ظاهرة الصفع وذلك تبعاً لعوامل المحرك المميزة للأنظمة المختلفة، والظروف المحيطة.

وتؤدي عملية تخفيض الفترة الزمنية التي يعمل خلالها المحرك بزاوية تسبيق مخفضة إلى زيادة اقتصادية عمل السيارة.

والمعطيات الواردة في الجدول يمكن أن تتكرر دورياً. وبذلك يمكن تأمين التحكم المتكيف عند تغير حالة المحرك وجودة الوقود المستخدم.

ومثال آخر لنظام التحكم المتكيف هو تصحيح التغذية بالوقود خلال الاستئثار، عندما تتغير خواص مقياس مصروف الهواء، وخواص تصريف بخاخات الوقود.

وتحسب قيم التصحيح عند حساب طور انفتاح البخاخ كما يلي:

انطلاقاً من مصروف الهواء المقاس، يحسب طور انفتاح البخاخ، اللازم للحصول على $\infty = 1$. بعدها يحسب التغير الضروري لطول النبضة المعطاة للبخاخ اللازم للحصول على إشارات الحاكمة - الحساس لنسبة الأكسجين في غاز العادم. والذي يدل على أن التركيب الفعلي للمزيج في الأسطوانة بلغ $\infty = 1$. وبذلك يمكن حساب قيمة معامل التصحيح، أو وضع جدول بمعاملات التصحيح. والصعوبات الأساسية المرافقة لوضع نظم التحكم المتكيفة المجهزة (بالمحركات) مرتبطة بعاملين اثنين:

- صعوبة استخدام وسائل القياس المباشر لعوامل الخرج في أثناء الاستئثار التي بواسطتها يجري البحث عن التحكم المثالي:

- عدم كفاية الزمن الضروري لعملية البحث هذه عند عمل المحرك على الأنظمة الانتقالية. ويمكن التغلب على الصعوبات بطريقتين: الأولى بمساعدة

طرق جديدة للقياسات، واستعمال عوامل غير مباشرة لتحديد التحكم المثالي.

والثانية باستخدام نظم التحكم التي تتعرف ذاتياً.

التحكم الديناميكي

هناك صعوبات عديدة ترافق عملية التحكم على النظم الانتقالية للمحرك. وهذا مرتبط بعدة عوامل:

- الدينامية المعقدة للعمليات الفيزيائية الجارية في المحرك.
- وجود أخطاء دينامية عند القياس.
- التأخير الذي قد يحصل في دارات نظام التحكم والتجهيزات التنفيذية فيه.
- عدم الدقة فيما يخص تصرفات السائق اللاحقة عند الضرورة التي تقتضيها عملية التصحيح الدينامية للتحكم وذلك على عدة دورات حرارية لاحقة.
- طرق تشكيل التحكم الديناميكي نستعرضها على مثال التحكم بالتغذية بعد الانفتاح الحاد لصمام المزيج.
- لكي يكون عمل محفز التلوث (محييد الغازات العادمة) فعالاً، من الضروري المحافظة على عمل المحرك على التركيب المتجانس للمزيج.
- لكن بعد الانفتاح الحاد لصمام المزيج يظهر عدم التوافق بين ورود كل من الهواء والوقود إلى الأسطوانات ويتغير تركيب المزيج. ومن أسباب تغير ϕ في أسطوانة المحرك الذي يتم فيه الحقن الموزع للوقود على نظم التسارع هي:
- إبطاء التغذية بالوقود المتراكم بشكل طبقات على سطوح مجرى السحب بالمقارنة مع الهواء الوارد والوقود المتبخر. وهذا يقود إلى إفقار مؤقت للمزيج في الأسطوانة.

- تجمع جزء من الهواء عبر مقياس الهواء في مجرى السحب بسبب ارتفاع الضغط في أنبوب المجرى وبما أن كمية الوقود المحقون تتعلق بمصروف الهواء المار عبر المقياس، فإن هذا يسبب إغناء المزيج.
- وقوع بعض الوقود الذي يحتوي على مركبات خفيفة في الأسطوانة في طور الأول بعد انفتاح صمام المزيج.

والنسبة بين الفحم والهيدروجين في بعض أطوار الوقود هي مختلفة، مما يسبب تغير القيمة الوسطية لـ نسبة للوقود الوارد إلى الاسطوانة. وهذه الظاهرة تولد عادة بعض الاغناء للمزيج داخل الاسطوانة. في هذه الظروف يمكن اعتماد مدخلين لوضع عملية التصحيح الديناميكي للتحكم:

- ١- وضع جداول التصحيح الديناميكي (على قاعدة تجريبية) للتحكم بالوقود تبعاً للزمن أو لعدد الدورات الحرارية بعد بداية انفتاح صمام المزيج.
 - ٢- إجراء عملية التحكم باستخدام النماذج الرياضية التي تعكس خصوصية العمليات الديناميكية الجارية في المحرك وفي دارات نظام التحكم . والطريقة الأخيرة تؤمن أكثر الحلول العامة المطلوبة .
- مثال لهذا النموذج الديناميكي، يبينه التوصيف التقريبي لتيار الوقود في مجرى السحب ودخوله إلى الاسطوانة بجملة من المعادلات:

$$\dot{M}_{n\ell} = X.G_{m(bx)} - \frac{Mn\ell}{\tau_m}$$

$$G_m(c) = (1 - X).G_{m(bx)} + \frac{Mn\ell}{\tau_m}$$

$M_{n\ell}$ - كتلة طبقة الوقود في مجرى السحب .

$\dot{M}_{nt}$ - تغير كتلة الطبقة بالزمن .

$G_{m(bx)}$ - السرعة الكتلية لتيار الوقود الذي يعطيه الحاقن .

$G_{m(c)}$ - السرعة الكتلية لتيار الوقود الداخل إلى الاسطوانة .

X - نسبة الوقود المحقون الذي يتراكم على جدران المجرى.

τ_m - زمن ورود الوقود من الطبقة إلى الاسطوانة .

والمعادلة الحاصلة من حلول هذه الجملة , لحالة التغذية المرحلية بالوقود من

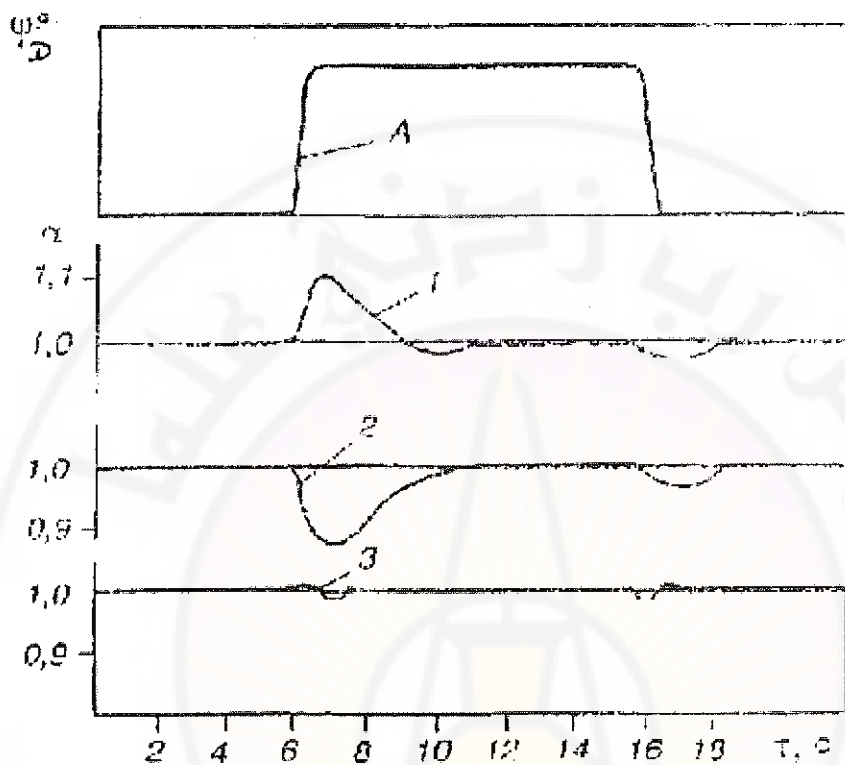
G_{nt} إلى G_{mx} هي

$$G_{m(c)} = G_{mx} - X (G_{mx} - G_{mH}) e^{-\frac{t}{\tau_m}}$$

وتسمح بمعرفة ورود الوقود على الاسطوانة بالزمن وتبعاً لذلك يمكن حل المسألة العكسية عند معرفة تصريف الهواء - تحديد تغير التغذية بالوقود تبعاً للزمن , وهو ضروري للمحافظة على التركيب المطلوب للمزيج في الاسطوانة. العوامل المجهولة في النموذج X, τ_m يجب حسابها أولاً على أساس تجريبي ويمكن وضع نظام تحكم متكيف حيث تدخل فيه عوامل النموذج X, τ_m آلياً في أثناء الاستثمار .

وبصورة مماثلة يمكن وضع نموذج لدخول الهواء إلى الاسطوانة .

على الشكل - ٨٧ يظهر تغير تركيب المزيج الوارد على الاسطوانة , بعد الفتح السريع لصمام المزيج، مع التصحيح الديناميكي للتغذية بالوقود أو بدونه. وبطرق مشابهة يمكن وضع تحكم ديناميكي بعمليات الإقلاع والتسخين الأولي للمحرك، وبعملية تشغيل الشحن القسري، والتحكم بعملية التبادل الغازي ونظام التبريد وغيره .



شكل-٨٧

عمل دائرة التصحيح الديناميكي لتكوين الخليطة عند الانفتاح والانغلاق الحادين لصمام التحكم.

A- انفتاح الصمام، تغيير تركيب الخليطة في الاسطوانة.

١- بدون تصحيح ٢- عند التصحيح واحتساب تأخير دخول الوقود إلى الاسطوانة

٣- عند التصحيح واحتساب تأخير دخول الوقود والهواء.

٣. التحكم متعدد العوامل بالمحرك:

- تطور طرق التحكم بالعمليات الحرارية في المحرك:

بعد الانتشار الواسع لنظم التحكم الالكتروني بالمحركات , وتزايد المتطلبات العائدة لاقتصادية الوقود, والمؤشرات البيئية للسيارة, ظهر العديد من الطرق الجديدة الموجهة للتحكم بعمليات المحرك: وضع نظام يؤثر مباشرة على التبادل الغازي, الانتقال الحراري, تذير الوقود, وعملية الخلط .

وتتوفر إمكانية التأثير على حركة الشحنة في الاسطوانة, وسير عملية الاحتراق وعملية تشكيل المواد السامة, وعلى عمل شاحن الهواء وفاعلية عملية تحييد الغازات العادمة .

ويتم وضع تصاميم لمحركات تتغير فيها نسبة الانضغاط خلال العمل, والحجم الفعال للاسطوانة وعدد الاسطوانات العاملة, وأشواط المحرك وبعض العمليات الأخرى مثال : الشحن القسري والتبريد المرافق للهواء, والحقن الموزع الطوري للوقود في محركات الشرارة الكهربائية, والتحكم بضغط حقن الوقود وقانون التغذية في محركات الديزل, وإعادة تدوير الغاز العادم وغيرها وجميعها لاقت انتشاراً واسعاً.

ومسائل أخرى أيضاً كالتحكم بسرعة الحركة المضطربة للشحنة w وتنظيم ديناميك الغاز في مجرى السحب, وتغيير مسار الصمامات, وأطوار التبادل الغازي , وتحويل الشحنة إلى طبقات , وفصل الاسطوانات والدورات الحرارية, تنظيم الحرارة في نظام التبريد في أثناء العمل وهي اجتازت مرحلة التدقيق في عملية الاستثمار وأصبحت تستخدم بشكل جزئي على بعض النماذج المصنعة .

هذا وإن عملية تصميم طرق جديدة للتحكم بعمليات المحرك وضعت متطلبات وشروطاً لتطور المحركات في المستقبل على حساب تحسين بارامترات المحرك على كل نظم العمل.

ومع ذلك فقد برزت عدة مشاكل مرتبطة بتصميم المنظم التي تؤمن التحكم متعدد العوامل بالمحرك , استناداً إلى خواص كثيرة متعلقة بجودة العمل .
والمسألة الأكثر تعقيداً هي مسألة توافق عمل المحرك مع نظام التحكم كجملية واحدة. وكل هذا أملى ضرورة تصميم تقنيات جديدة تعتمد على التجهيزات الالكترونية الرقمية وغيرها من التجهيزات الآلية البحثية الأخرى.

- نظم التحكم الالكترونية المركبة متعددة العوامل , للتحكم بعمليات المحرك:
النظم الالكترونية المتطورة تؤمن إجراء التحكم متعدد البارامترات بعمل المحرك , وإضافة للتحكم بالاستطاعة وجودة سير عمليات المحرك , تراقب نظم التحكم وتقوم بوصل بعض التجهيزات وبعض الأنظمة , وتشخيص عمل النظام نفسه وعمل المحرك أيضاً .

على الشكل - ٨٨ و ٨٩ تظهر عملية تأمين المعطيات والوظائف التي تقوم بها هذه النظم المركبة للتحكم بمحركات الديزل وبمحركات الشرارة الكهربائية .
وبغض النظر عن الفروق الأساسية في طرق تصميم عملية التحكم بالمحركات العاملة بالشرارة والديزل، فإن سبل تطوير النظم الالكترونية الخاصة بها هي متشابهة ولتحقيق الوظائف المبينة أعلاه، تدخل المعطيات ليس عن طريق الدلائل والحساسات الكثيرة المركبة على المحرك فحسب , بل وعن طريق قنوات الارتباط بالأنظمة الأخرى للسيارة وتتزايد بالتدرج عملية تكامل أنظمة التحكم الالكترونية بالمحرك مع أنظمة التحكم بالسيارة. هذا وإن تصميم طرق جديدة للتحكم بعمليات المحرك , وحساسات جديدة يعد أمراً ضرورياً للحصول على المعلومات وللقيام بوظائف التحكم والتشخيص التي تقوم بها هذه الأنظمة .

وبتطوير التقنيات الرقمية تزداد الإمكانيات الذكية للأنظمة وتتطور عمليات تصميم نظم تحكم جديدة يمكنها استخدام طرق أكثر تعقيداً وتطوراً واستخدام خوارزميات متنوعة في عملية التحكم.



شكل - ٨٨

٤. تكيف نظم التحكم الالكتروني والإجراءات المعيارية:

إن الاستخدام الواسع للتحكم الرقمي بالمحركات، توصل إلى إنه عند التوجه نحو تصميم المحرك من الضروري بلورة الحلول المتعلقة بماهية نظام التحكم فيه.

وفي هذه الحالة فقط يمكن الحصول فعلياً على استخدام فعال لنظام التحكم. لكن تجهيزات المراقبة في النظم الحديثة للتحكم الالكتروني لها إمكانيات إضافية كثيرة تسمح لها باستخدامات متنوعة عند التحكم بنماذج مختلفة من المحركات.

- **التكيف وتهيئة نظام التحكم وتحضيره :**

تكيف نظم التحكم الالكترونية هو عملية وضع وتنفيذ نظام التحكم لنموذج معين لمحرك ما وذلك باستخدام مفتاح تحكم جاهز (صمام تحكم ومراقبة)

والمراحل الأساسية لعملية التكيف تضم ما يلي :

- وضع المتطلبات الضرورية من نظام التحكم .

- اختيار وحدات ومجموعات المحرك .

- تصميم بنية نظام التحكم.

- اختيار الحساسات والتجهيزات التنفيذية .

- استكمال الخوارزميات الوظيفية .

- معايير نظام التحكم .

- اختبار وتجريب وتصنيف السيارة مع نظام التحكم .

ومن أهم مراحل هذا العمل هو معايرة نظام التحكم الالكتروني .

- **المعايرة :**

هي عملية اختيار قيم معينة لعوامل التحكم على المحرك تبعاً لبارامترات

العمل والعوامل الممانعة (الإعاقات) لوضعها في ذاكرة النظام .

ويجب إجراء عملية المعايرة ليس فقط عند تصميم المحرك الجديد أو نظام تحكم جديد، بل من الضروري إجراء معايرة خاصة لكل نموذج للمحرك أو للسيارة أحياناً .

المعايرة الجديدة من الضروري تحديدها عند وضع التغيرات في تصميم المحرك وخاصة المتعلقة بسير العمليات الحرارية المختلفة في المحرك وتبعاً للمتطلبات من السيارة لاسيما في بلد الاستثمار (مواصفات الوقود ، المتطلبات البيئية ، الظروف المناخية وغيرها).

ومن هنا تنفذ المعايرة النهائية لنظام التحكم بعد استكمال العمليات في المحرك، ومجموعات نظام التحكم .

وتتضمن عملية المعايرة تنفيذ جملة من الأعمال:

- معايرة قنوات القياس والتحكم في النظام وهذا الشيء الأساسي ، الضروري لتصميم نظام مناسب للمحركات المنتجة .

- تحديد الجداول الخاصة بعوامل التحكم التي تعد مجهولة ومنها مثلاً:

- اختيار لحظة فتح الصمامات التي تتحكم بطول مجاري السحب (الدخول) .

- اختيار الجداول الأساسية (في الظروف المخبرية) للتحكم بالعوامل المؤثرة المرتبطة مباشرة .

- تحديد جداول التصحيح وفق عوامل الإعاقة.

- اختيار التحكم بالنظم الخاصة (إقلاع ، تسخين ، نظام اللاحمل وغيرها) .

- تصحيح حالات التحكم المختارة على النظم الديناميكية ، التي تنفذ على منصات تجريبية أو على السيارات مباشرة .

وعندئذ تحدد جداول التصحيح الديناميكي أو تتم مطابقة النماذج الديناميكية .

- تصحيح وتحديد وتدقيق حالات التحكم على السيارة في ظروف الاستثمار المختلفة .

- تجريب السيارة على منصة الاختبار وفق المتطلبات والمواصفات المعتمدة .
هذا وإن عمليات التحضير والتكيف والمعايرة هي عمليات صعبة ومعقدة .
وعند تصميم نظم التحكم الالكترونية تستخدم وسائل وتجهيزات متطورة وفق نظريات التحكم المثالي.
وعند تصميم هذه النظم تستخدم بكثرة النماذج الديناميكية للمحرك كهدف للتحكم، النمذجة والمحاكاة بالطرق الرياضية المثالية، ومنصات تجريبية آلية، ومنصات خاصة أخرى للنمذجة .
على الشكل - ٩٠ يظهر مخطط وصل مجموعة إضافية معينة.
تأمين البرمجة للمجموعة يسمح بإخراج المعلومات المباشرة من القيم الفعلية للعوامل وإدخال التغيرات في برنامج التحكم بالرموز العادية وبالقيم الفعلية للمؤشرات المختلفة. وحدة التحكم تستقبل المعلومات عبر جهاز الربط والوصل، ويؤمن التحكم تغيرات الإشارات الكهربائية على المخرج .
وبوجود مجموعة ربط إضافية في الحاسوب بذاكرة مستقلة بتغذيتها تسمح عند الضرورة تحويل المجموعة على السيارة للتأكد من النتائج في ظروف الاستثمار أو على المنصات الاختبارية.

٤. تشخيص المحرك

- مفهوم تشخيص المحرك :

استثمار المحرك مرتبط دائماً بانخفاض جودة القيم الأولية الخاصة به :
العوامل الاقتصادية، عوامل القدرة ، والعوامل البيئية وغيرها ، طالما هناك
تغير مستمر للحالة الفنية ناجم عن تآكل السطوح الاحتكاكية ، والتمدد الحاصل،
وعوامل التعب والتلف للأجزاء المختلفة ، وحصول خلل ما في عيارات الأنظمة
المختلفة وغيرها .

الحالة الفنية للمحرك تميزها مجموعة من العوامل التصميمية الموضوعة في
الوثائق التقنية .

من هذه العوامل : العوامل البنيوية أو كما تسمى العوامل الأصلية التي تتأثر بها
العمليات الجارية في داخل المحرك وفي بعض أنظمتها وهي :

- الأبعاد الهندسية التي تتعرض للتغيرات بسبب تآكل الأجزاء المختلفة .

- شكل الأجزاء وحالة سطوحها .

- الخلوصات الكائنة بين السطوح .

- العوامل العيارية وغيرها .

وطبقاً للمواصفات توضع القيم الطبيعية والحدية للعوامل التصميمية التي تطابق
الحالة الفنية للمحرك الجديد .

- القيم الطبيعية التي تتطابق الحالة الفنية التي تصبح عندها عملية الاستثمار
للأسباب التقنية والاقتصادية غير ممكنة - القيم الحدية للعوامل التصميمية .

والقيم الآتية والاسمية تسمح بمعرفة الخلل الحاصل في جودة العمل لعنصر ما
عن الحالة الاسمية . والقيم الآتية والحدية - العمر الفني المتبقي .

حالة المحرك التي يحافظ فيها على قيم العوامل التصميمية في المجالات الموضوعية وفق الوثائق الفنية والمواصفات المعتمدة تسمى (فاعلية المحرك) أو قدرته على العمل.

والأسباب المولدة للخلل في فاعلية المحرك تسمى (إنعدام الفاعلية) أو توقف المحرك عن العمل .

ويرتبط عامل الوثوقية مع الفاعلية وهي تعكس كل التغيرات الحاصلة في الحالة الفنية للمحرك التي تظهر تباعاً في أثناء الاستثمار .

وتحسين فاعلية المحرك لجهة منع التوقف عن العمل وإطالة عمره الفني تستند على الدراسة المعمقة لعمليات التوقف التي تحصل في أثناء الاستثمار .

وعمليات التوقف عن العمل هي على نوعين :

مرحلية تسلسلية ، أو طارئة .

وتظهر العمليات المرحلية نتيجة الانخفاض المرحلي والمستمر لأحد أو أكثر من عوامل الخرج للمحرك و التي ترتبط أساساً بتآكل الأجزاء .

وهي تتشكل في أثناء العمل وتظهر بعد فترة زمنية طويلة أو قصيرة .

ومنها التوقف الناتج عن تآكل أجزاء مجموعة المكبس والاسطوانة، المرفق - الساعد ومجموعة التوزيع الغازي وغيرها .

التوقف الفجائي يظهر بشكل طارئ وغير منتظم ، ويظهر بشكل تغير جزئي

لأحد البارامترات أو أكثر وذلك بسبب حدوث كسر معين ، أو تلف أو شقوق أو

غيرها . ومن أسبابها وجود تشوه في مادة الصنع، أو إهمال صناعي أو تحميل

زائد أو غيره .

وفي حالة التوقف الفجائي، البارامترات الخارجية للمحرك قبل حدوث التوقف

لا يظهر عليها علائم الإنخفاض، رغم أن زيادة التلف المخفي يمكن أن يحدث

خلال وقت طويل مثال زيادة أو توسع الشقوق أو ضعف تثبيت بعض الأجزاء أو غيرها .

في أثناء الاستثمار لا يمكن الحصول على الوثوقية المطلوبة للمحرك بالوسائل التقنية - التصميمية لذلك تستخدم جملة من التأثيرات التقنية تسمى نظام الصيانة التقنية والإصلاحات .

وتستند نظم الصيانة والإصلاح للمحركات على الطبيعة الفيزيائية لحدوث الأعطال والتوقفات عن العمل . كالأعطال الفجائية التي لا يمكن توقعها مسبقاً والتي تعالج مجرد ظهورها .

وللمعالجة الأعطال المتدرجة التي يمكن توقع حدوثها , تستخدم مجموعة إجراءات فنية خارجية وهي موجهة في الأساس للتحذير من حدوث الأعطال وعدم الصلاحية في الأجزاء المختلفة، وإعادة الحالة التقنية الأولية أو القريبة منها للأجزاء والجمال وذلك قبل أن يصل المطاف بها إلى الحالة الحرجة .

وهناك توجهاً معروفاً لتنظيم الأعمال الإجرائية الفنية. وفق التوجه الأول يتم تنفيذ الصيانة الفنية والإصلاحات وفق المخطط المرسوم , بعد فترة معينة من عمل المحرك وإعادة عامل الحالة الفنية إلى الحد الطبيعي .

وعندئذ توضع المجالات الفاصلة بين عمليات الصيانة , وعمليات الإصلاح، وحجمها ومحتواها على أساس المعطيات الستاتيكية الوسطية والحاصلة، لتصميم معين أو لحالة فنية معينة حتى زمن إجراء الأعمال الفنية.

ويقود هذا عملياً إلى زيادة مصاريف الاستثمار بسبب حدوث الأعطال في غير أوقاتها أو عدم مطابقة حجومها ومحتوياتها للحالة الفعلية للمحرك.

والتوجه الثاني يسمى الاستثمار وفق الحالة وهو يعتمد على إجراء المراقبة الدورية لبارامترات الحالة الفنية للمحرك. وإذا حصل عند إجراء المراقبة إن

قيمة البارامتر الفعلية تخطت الحدود الموضوعة فإنه في هذه الحالة فقط يتم إجراء الأعمال الفنية لإعادة عوامل الحالة الفنية إلى القيم الاسمية. عند إجراء الصيانة الفنية وإصلاح المحرك على أساس الحالة الفنية الفعلية للمحرك تتخفض إمكانية التوقف المفترض للمحرك أو يزداد الضمان بعدم حصول التوقف عن العمل .

استثمار المحرك (وفق الحالة) يستند على طرائق ووسائل التشخيص التقني .
- التشخيص التقني يضم بحث ودراسة الحالة الفنية للأجسام أو الأهداف الخاضعة للتشخيص , ووضع طرق تقديرها وتحديد لها , ووضع أسس استخدام نظام التشخيص .

مفهوم تشخيص المحرك يعني عملية تحديد حالته الفنية بالمجمل وحالة أجزائه وأنظمتها المختلفة .

ويستخدم التشخيص للمحرك بالكامل وهو في حالة الاستثمار، وتجري العملية دون الحاجة إلى تفكيكه وكل الطرائق والوسائل المستخدمة يجب أن لا تكون لها نتائج ضارة بالمحرك أو أن تسبب تلف ما أو عطل ما فيه .
والتشخيص موجه أساساً إلى :

❖ تقدير وتحديد الحالة الفنية.

❖ البحث عن التلف والأعطال أو عن الأماكن التي تسببت بالتوقف عن العمل .

❖ توقع العمر الفني المتبقي .

والانتقال إلى الاستثمار وفق الحالة على أساس تشخيص المحرك. يعتبر وسيلة متقدمة واقتصادية لزيادة الوثوقية وتوقع ومعرفة العمر المتبقي .

- تحديد عوامل التشخيص في المحرك:

إن الهدف من تقدير الحالة الفنية للمحرك هو حساب العوامل التصميمية التي تدل على حالته الفنية مع أجزائه وأنظمتها. ولكن على المحرك الذي يعمل لا يمكن عملياً حساب القيم الفعلية لكثير من هذه العوامل، وتحديد هذه العوامل عند تفكيك المحرك يسبب خللاً في العمليات الحرارية داخله عندما يعاد تركيبه من جديد، وتتغير قواعد سير العمليات، وهذا ما يجعل طريقة الاستخدام المباشر لهذه الطريقة في الحصول على النتائج غير مقبولة.

وفي هذه الحالة تجرى عملية التشخيص بطرق غير مباشرة، يتم تقديرها كمياً وفق ما يسمى العوامل التشخيصية المرتبطة وظيفياً مع العوامل التصميمية. وتستند عملية تحديد الكمية الضرورية والكافية من عوامل التشخيص، التي تسمح بالتقدير الصحيح للحالة الفنية للمحرك بالكامل مع أنظمتها وآلاته والأجزاء الأخرى، على تحليل العمليات الفيزيائية الجارية في المحرك وقوانين تغيرها وتطورها.

وتبعاً لعمق عملية التشخيص يفرق ما بين التشخيص العام والموضعي للمحرك.

- التشخيص العام:

يتم إجراؤه بهدف مراقبة فاعلية المحرك بطريقة التقدير الكمي لعوامله الخارجية.

ومن عوامل التشخيص تستخدم هنا الاستطاعة الفعلية، مصروف الوقود، تركب الغاز العادم، مستوى الضجيج والاهتزاز، ضغط الزيت وغيرها. ولتحديد الاستطاعة الفعلية للمحرك توجد طرق مكبحة وبدون مكابح.

- الطرق المكبحة (الفرملة):

تستخدم أساساً لتشخيص محركات السيارات. ويتم تحميل المحرك من جهة عجلات السيارة على منصات الجر ذات الاسطوانات المتسارعة. وفي هذه

الحالة يتم توليد عزم الكبح من خلال تجهيزات هيدروليكية , كهربائية , أو تجهيزات تحميل تعمل على العطالة.

الاستطاعة الفعلية للمحرك Ne تحسب من الاستطاعة المتوفرة على عجلات السيارة Nk , والفقدان الميكانيكي في أجهزة نقل الحركة للسيارة وعلى منصة الاختبار بالعلاقة التالية :

$$N_e = \frac{N_k}{\eta_T \cdot \eta_c}$$

حيث $\eta_T \cdot \eta_c$ - مردود أجهزة النقل والمنصة .

- الطرق الالامكبجية :

هنا التشخيص أكثر بساطة ولا يحتاج إلى استخدام تجهيزات كبح خاصة ومن أكثر طرق التحميل الالامكبجي بساطة هي طريقة الفصل التسلسلي للاسطوانات. هذه الطريقة تعتمد على حساب انخفاض سرعة دوران العمود المرفقي للمحرك تحت الحمولة المتولدة على التوالي عند فصل الاسطوانات عن العمل . ولهذا الهدف وبعد تسخين المحرك حتى الحرارة الطبيعية , يقطع الوقود في محرك الديزل عن الاسطوانات بالتسلسل , وفي محركات الشرارة الكهربائية - تفصل دائرة الإشعال .

والاسطوانة المفصولة هنا تولد حمولة على المحرك نتيجة الضغط . وكلما كانت استطاعة الاسطوانة المفصولة أقل كلما كان الدوران أقل عند فصلها عن العمل . وبمقارنة انخفاض دوران العمود المرفق مع الحد النظامي تظهر اسطوانات المحرك التي لا تولد الاستطاعة المطلوبة .

وتستخدم الطريقة الالامكبجية لتحديد الاستطاعة وذلك وفق تغير التسارع الزاوي للعمود المرفقي للمحرك الذي يعمل في نظام التسارع من دون حمولة خارجية .

وتقاس الاستطاعة على المحرك الساخن . ويتم إجراء التسارع من الدوران المستقر الأدنى إلى الحد الأعلى بطريقة الانفتاح الحاد لصمام المزيج أو بواسطة الحركة الحادة للجريدة المسننة في مضخة الديزل .

هنا تحصل عملية تحميل المحرك على حساب عطالة الكتل المتحركة وهي ثابتة لمحرك معين .

عند هذه الطريقة , استطاعة المحرك N_e بكيلو وات تساوي :

$$N_e = \frac{I_n}{1000} w \frac{dw}{dt}$$

حيث I_n - عزم العطالة المحول لجميع الكتل المتحركة إلى محور عمود المرفق.

$$\left(\frac{N.M.C^2}{R} \right)$$

w - السرعة الزاوية لعمود المرفق R/c

$$- \frac{dw}{dt} \text{ - التسارع الزاوي لعمود المرفق } R/c^2$$

وبموازاة الاستطاعة يقاس مصروف الوقود عند التشخيص العام .

ولحساب مصروف الوقود تستخدم أوعية وعدادات (ريشية , مسننة , مكبسية) , أو عدادات للدوران.

وتنتشر حالياً عدادات عملية التشخيص وفق بارامترات المحرك التي تسبب تلوث الجو المحيط بالغازات السامة من غازات العادم .

ويتعلق تركيب غاز العادم بتآكل أجزاء مجموعة المكبس - الاسطوانة , آلية التوزيع الغازي والحالة الفنية لنظام التغذية ودارة الاشتعال .

والطرق الحديثة لتشخيص المحركات البنزينية المبينة على أساس التحليل

الغازي تقوم على معرفة إصدارات أربعة مركبات غازية : أول أكسيد الكربون ,

ثاني أكسيد الكربون , والهيدروكربون HC والأكسجين O_2 .

من المعلوم انه لكي تعمل محركات الشرارة الكهربائية بشكل طبيعي من دون محبيدات الغاز العادم يجب أن يكون معامل فائض الهواء في المجال المثالي ١,١-٠,٩ وعندئذ يكون تراكيز مركبات الغاز العادمة في المجالات التالية :

CO من ١,٥-٠,٥ % , CH من ٤٠٠-٥٠ PPM .

CO₂ من ١٤,٥-١٣ % O₂ من ٢,٥-٠,٢ % .

وللمحركات البنزينية التي يحقن فيها الوقود والمزودة بثلاث محبيدات للغاز العادم يكون معامل فائض الهواء في المجال ١,٠٣-٠,٩٧ وعندها تصبح تراكيز الغازات كما يلي :

CO من ٠,٢٥-٠,٠٥ % , CH من ٥٠-٥ PPM .

CO₂ من ١٥,٥-١٤,٥ % , O₂ من ١٠,٠-٢ % .

وإذا ظهرت في المحرك بعض الأعطال المؤدية إلى إنخفاض الاستطاعة وانخفاض اقتصادية العمل فإنه يحصل خلل في سير العمليات الحرارية في الاسطوانات وبالتالي تغيير في تركيب الغاز العادم. وتبعاً للمركبات التي تتغير وفي أي اتجاه , تتحدد الأسباب الممكنة لحدوث الأعطال .

مثال : زيادة إصدار CH وخاصة عند السرعات المنخفضة , عندما تكون إصدارات CO,CO₂ طبيعية يمكن أن يستدل منها على دخول كمية من الزيت إلى حجرة الاحتراق بسبب تآكل أجزاء مجموعة المكبس - الاسطوانة أو بسبب ضعف الإحكام بين محور الصمام والجلبة الموجهة .

ويمكن الحكم على الحالة الفنية للمحرك بطبيعة الإشعاع الصوتي حيث أن الضجيج في المحرك يمكن أن يستدل منه على حدوث ضربات المدارج الثابتة والمتحركة، وأصابع المكابس، والمكابس، واهتزاز الصمامات، واهتزاز العمود المرفقي للمحرك. وظاهرة الصفع في المحرك البنزيني وغيره.

والبارامتر الأساس لضجيج المحرك يمكن أن تمثله مستويات الضجيج المقاسة حول المحرك عند عمله بدون حمولة أو عند الحمولة .

والاستطاعة الفعلية , ومصرف الوقود , وتركيب غاز العادم ومستوى الضجيج هي جميعاً مؤشرات موضوعية هامة للحالة العامة للمحرك . لكن هذه المجموعة من العوامل تعكس الحالة الفنية للنظم والآلات ومعاييرها أيضاً . ونتيجة لذلك ينبغي قبل الحكم على الحالة الفنية للمحرك أن يتم فحص العيارات المختلفة لأجزاء المحرك ونظمه .

وفي ختام تشخيص المحرك عندما تثبت انحرافات عوامله الخارجية عن المعدلات الطبيعية تتابع إجراءات التشخيص الجزيئي (الموضعي) بهدف البحث عن ضعف فاعلية جزء ما (عنصر) أو مفصل.

يجري التشخيص الموضعي عادة لفحص عناصر مجموع المكبس - الاسطوانة, الساعد- المرفق وآلية التوزيع الغازي . وخلال التشخيص الموضعي تكون البداية بالأجزاء التي لها تأثير أكبر على المؤشرات الاستثمارية للمحرك ومن هذه الأجزاء عناصر مجموعة المكبس - الاسطوانة بالدرجة الأولى .

إضعاف الحالة الفنية لأجزاء مجموعة المكبس - الاسطوانة في أثناء الاستثمار يقود إلى ضياع جزء من جسم التشغيل عندما يحصل تسرب للغازات عبر حلقات الإحكام نحو حوض الزيت , وإلى إنخفاض العمل البياني , وإنخفاض معامل فائض الهواء (في الديزل) وتراكم نواتج التفكك ونواتج الاحتراق غير التام في زيت المحرك. وعندئذ يزداد مصرف الزيت وتزداد بشكل حاد إصدارات مركبات الغاز العادم مثل CO, CH .

ومن العوامل التصميمية التي تميز مجموعة المكبس - الاسطوانة :
الخلوصات بين المكبس والحلقة على طول الأخاديد حول المكبس , وفي أماكن
الحلقات , وبين الاسطوانة والمكبس في الأعلى .

ومن العوامل الأخرى غير المباشرة للتشخيص، مصروف الزيت، كمية
الغازات المتسربة إلى الحوض أو الضغط في الحوض , تدفق الهواء المضغوط
إلى الاسطوانات , الضغط في نهاية شوط الانضغاط في داخل الاسطوانات ,
طبيعة الاهتزازات , تركيب نواتج الاحتكاك الكمي والنوعي في الزيت , كثافة
الدخان في غاز العادم .

والعوامل التصميمية لمفاصل آلية المرفق - الساعد هي الخلوصات القطرية
في مدارج العمود المرفقي وفي جلبة رأس الساعد العليا , والخلوص المحوري
في المدارج الثابتة. هذه العوامل تحدد قدرة مفصل المدرجة وقيمة الضغط في
طبقة الزيت , وظروف الاحتكاك والانبعاث الحراري , ومصروف الزيت
وغيرها.

ومن عوامل التشخيص غير المباشرة لهذه المجموعة من أجزاء المحرك يمكن
اختيار مصروف الزيت , ضغط الزيت في المجرى الرئيسي لنظام الزيت ,
المسار الحر للمكبس نسبة لمحور عمود المرفق أو طبيعة الاهتزازات .

عند تشخيص آلية التوزيع الغازي يمكن إضافة الخلوصات بين محاور
الصمامات ودلائل التوجيه إلى جانب العوامل الأخرى، والخلوصات في مدارج
محور التوزيع، والخلوصات بين الصمام وأداة التحريك. والبارامترات غير
المباشرة للتشخيص هي الضغط في نهاية شوط الانضغاط في أسطوانات
المحرك، نسب Co في غاز العادم، مستوى الضجيج والاهتزازات في الآلة .

وطبقاً لما ورد سابقاً من العوامل غير المباشرة للتشخيص التي تسمح بتقدير الحالة الفنية للمحرك دون القيام بنفكيكه، وضعت الطرق التالية للتشخيص الموضوعي (العنصري):

- تحديد تفحم الزيت .
 - إحكام الفراغات الواقعة فوق المكبس .
 - الاهتزاز والارتجاج السمي .
 - التحليل الطيفي للزيت في حوض المحرك
 - تحليل الغاز العادم وغيرها ,
 - طريقة تحديد احتراق وتفحم الزيت:
- تتلخص بمقارنة كتلة الزيت بعد تفريغ المحرك منه بالحد النموذجي لها في المحركات من ذات الطراز نفسه وبعد فترة الاستثمار ذاته .
- نستخدم هذه الطريقة لتحديد الحالة الفنية لأجزاء مجموعة المكبس - الاسطوانة. وعندما يبلغ مستوى التآكل فيها الحد الأعلى يزداد مصروف الزيت من 3-5 % مرات أو أكثر. لكن قيمة هذا المعامل في عملية التشخيص تنخفض لأنه بالإضافة إلى تأثير تآكل أجزاء هذه المجموعة على مصروف الزيت يؤثر أيضاً نظام السرعة والحمولة والحالة الحرارية للمحرك , وضغط الغازات في حوض الزيت وتسرب الزيت عبر وسائل الإحكام المختلفة.
- وبسبب ذلك فإنه عند احتراق الزيت بشكل كبير يجب الاعتماد على طرق أخرى للوصول إلى الرأي النهائي عن حالة الاسطوانات والمكابس والحلقات .
- طريقة فحص الإحكام في حجرة الاحتراق:
- وهي تستخدم لتقدير تآكل مجموعة المكبس - الاسطوانة وجودة استناد الصمامات , وتعتمد على فحص تسرب الغاز إلى الحوض , وتسرب الهواء

المضغوط من الاسطوانات عندما تكون الصمامات مغلقة وفحص الضغط في الاسطوانات أثناء شوط الانضغاط.

قياس تسرب الغازات إلى الحوض يتم بواسطة عداد خاص يركب إلى عنق التعبئة بالزيت .

هذه الطريقة تحتاج إلى الإحكام الجيد للمخارج الممكنة الأخرى لغازات الحوض. وعند القياس يوضع نظام عمل المحرك مطابقاً للحمولة الكاملة والدوران المطلوب لهذا النوع أو ذلك من المحركات .

ومن المؤكد أنه خلال استثمار المحرك وحتى موعد إصلاحه يزداد تسرب الغازات إلى الحوض من ٧-١٢ مرة .

ومن عيوب هذه الطريقة، هي صعوبة تحديد السبب المباشر للتسرب الزائد للغازات إلى الحوض والعلاقة بين التسرب ونظام السرعة والحمولة في المحرك أيضاً والطريقة الأكثر دقة لتقدير درجة الإحكام في حجرة الاحتراق وتبعاً لها الحالة الفنية لمجموعة المكبس - الاسطوانة ، وإحكام الصمامات وإحكام رأس الاسطوانة هي بواسطة الهواء المضغوط المقدم للاسطوانة من خلال ثقوب بخاخ الوقود أو ثقب شمعة الاحتراق .

ويستدل عن تآكل حلقات المكبس بزيادة تسرب الهواء عند وضع المكبس في الوضعية المطابقة لبداية عملية الانضغاط (الصمامات مغلقة) .

ويدل التسرب البالغ ١٥% عندما يكون المكبس في ن.م.ع على شوط الانضغاط، على التآكل الحاد للاسطوانة .

ويحدد التسرب عبر الصمامات بواسطة السمع وحالة طبقات الإحكام لرأس الاسطوانة - بظهور الفقاعات الهوائية في عنق المشع .

وفحص إحكام حجرة الاحتراق أيضاً عبر الضغط في الاسطوانة في نهاية عملية الانضغاط والذي يقاس بالعداد الخاص عند تدوير عمود المرفق بالمقلع .

ومن المؤثرات على دقة النتائج لهذا النوع من التشخيص هي: عدم استقرار سرعة الدوران وهي لا تعطي علامات الخلل الموضوعي وغيرها .
ومن التأثيرات الناجمة عن القوى المتولدة عن العمليات الحرارية في المحرك هي ظهور وانتشار الاهتزازات الميكانيكية في بنية المحرك والضجيج السمي في الوسط المحيط.

وتسمى عملية تقدير الحالة الفنية للمحرك وفق عوامل الاهتزازات والضجيج بالتشخيص الاهتزازي الصوتي.

ومن أسباب الاهتزازات : التصادم والضربات في الأزواج الحركية لآلات (مكبس - الاسطوانة)، (الصمام - المسند)، (محور المكبس - رأس الساعد) وغيرها .

وبشكل غير مباشر يستدل منها على أبعاد الفراغات بين العناصر المختلفة للمحرك .

ويؤدي المجال الترددي والديناميكي الواسع للعمليات الاهتزازية، والعطالة المنخفضة والسرعة الزائدة لانتشارها في البنية المعدنية إلى انعكاس سريع يؤدي إلى تغير الحالة الفنية .

لكن تأثير عدد كبير من مولدات الاهتزاز في المحرك ، وطبيعة العلاقة بين العمليات الاهتزازية ونظام العمل وشروطه في المحرك تجعل مسألة التشخيص الاهتزازي في المحرك عملية معقدة .

ولزيادة وثوقية نتائج التشخيص يؤخذ بعين الاعتبار الخصائص التالية للإشارات الاهتزازية والسمعية للضربات التحريضية وهي:

- الإشارات الاهتزازية - السمعية عبارة عن نبضات تسلسلية دورية متكررة بتردد يساوي سرعة دوران عمود المرفق أو مضاعفاتها.

- والنبض المأخوذ على حده من السلسلة الاهتزازية ، عبارة عن انعكاس التصميم على تأثير الضربات وله شكل اهتزازيذبذبى متخامد بتردد اهتزازات الأجزاء الاحتكاكية فيما بينها .
- سعة النبضة الاهتزازية – السمعية تتغير بقوة عند زيادة الخلوصات ، بسبب تغير طاقة الضربات.
- الاهتزازات الناجمة عن الضربة يمكن أن تكون متشابهة بدقة كبيرة وفق زاوية دوران عمود المرفق (أطوار الدورة الحرارية) .
- وانزياح النبضات الاهتزازية بهذا الاتجاه أو ذاك بالطور ، يدل على انحراف في عمل الجزء الخاضع للتشخيص (عن زيادة الخلوصات ، انحراف العيارات الموضوعة).
- طاقة الاهتزازات عند انتشارها في تصميم المحرك يرافقها انخفاض مستوى الإشارة المفيدة الحاملة للمعلومات المميزة للحالة الفنية للمفصل ، لذلك فإن تسجيل الإشارات الاهتزازية يجب أن يتم بالقرب من مولد تحريض الاهتزازات في المفصل المذكور.

- طريقة تحليل عينات الزيت من الحوض:

تستخدم لتقدير تآكل أجزاء المحرك (المكبس ، حلقات المكبس ، الاسطوانات، مدارج العمود المرفقي) ولفحص مصافي الهواء والزيت .
عند عمل المحرك تتسرب إلى الزيت بشكل مستمر نواتج التآكل في الأجزاء الاحتكاكية .

وبما أن أجزاء المحرك مصنوعة من خلأط معدنية مختلفة فإنه عندما تتجمع بعض العناصر الكيميائية في حوض الزيت يمكن أن نقدر التآكل الحدي لبعض الأجزاء. مثال عندما تتغير تراكيز الحديد في الزيت المستهلك يمكن الحكم على

سرعة تآكل أجزاء كالاسطوانات , ومساند العمود المرفقي، والحلقات المختلفة للضغط وللزيت وغيرها.

وبتغير تركيز الألمنيوم - عن سرعة تآكل المكبس , وتركيز الكروم - عن حلقات الضغط , والرصاص - مدارج العمود المرفقي .
ويدل وجود الرمل على حالة مجرى الهواء والمصافي وحالة عمل المصافي الزيتية .

وبتغيير العناصر التي تدخل في المجموعة الأولية للإضافات المستعملة في زيت المحرك (الباريوم، الفوسفور، الكبريت، الموليبيدوم) يمكن الحكم على فاعليته.

ويتعزز استخدام تراكيز نواتج الاحتكاك في الزيت في عملية تشخيص المحرك بالأمور التالية:

- خواص جزيئات المعدن التي تتوزع بشكل متوازن وتبقى طويلاً في حوض الزيت .

- العلاقة التناسبية الطردية بين التراكيز وشدة التآكل في الأجزاء المختلفة .
ويفسر الأخير باستقرار التوازن بين تسرب الجزيئات المحتجزة في المصافي وحركتها مع الزيت المحترق، مع العلم أن إضافة الزيت أو تبديله يغير العملية ظرفياً فقط. وللحصول على نتائج أكثر دقة للتشخيص، يتم أخذ عينات الزيت من المحرك الساخن في مراحل استثمارية محددة .

ولإظهار الجزيئات في عينات الزيت تستخدم طريقتان للتحليل الطيفي :
- الأولى:

تتلخص في حرق العينة بعد تحليلها بمساعدة القوس الكهربائي وتحليل الإشعاع المتولد بين القطبين الكهربائيين. ووفق أطوال الموجات في الخطوط الطيفية وكثافتها النسبية تعرف ماهية وجود نواتج التآكل في الزيت وكميتها .

- الثانية:

طريقة التحليل الامتصاص - الذري الطيفي :

حيث يمرر خلال لهب الحراق الكهربائي , الذي تنتشر فيه عينة الزيت، تيار الإشعاع الضوئي، وبمساعده تتوضح الخواص الضوئية للعنصر الجاري البحث عنه.

عند تواجد العنصر في الزيت يقوم اللهب بامتصاص الإشعاع , وذلك في المجال الطيفي لمصدر الطاقة الضوئية .
وتتميز الطريقة الأولى بالسرعة الكافية في معالجة العينات , لكن الطريقة الثانية أكثر دقة ووثوقية , ولا سيما عند التراكيز المنخفضة للجزيئات في الزيت.

التشخيص بواسطة نظام التحكم الالكتروني بالمحرك:

المسائل الأساسية في عملية تقدير الحالة الفنية بواسطة نظام التحكم الالكتروني بالمحرك يقوم بها نظام التشخيص المحمول.

وهو يقوم بالمراقبة الدائمة لفاعلية نظام التحكم الالكتروني بالمحرك الذي يضم وحدة التحكم ، الحساسات والدلائل ، آلات وتجهيزات التنفيذ والدارات الكهربائية ، وغيرها شكل - ٩١ .

دائرة التشخيص المحمول هي إحدى الدارات الفرعية لوحدة التحكم ، تقوم بمهمة التشخيص المباشر بمساعدة برنامج معين وتجهيزات معينة لتحذير سائق المركبة وتزويده بالمعلومات عن الخلل الحاصل في عمل نظام التحكم .

وظيفة التشخيص الذاتي الجاري من قبل وحدة التحكم تضم ما يلي :

- فحص مصداقية وصحة أشارات الدخل والخرج في وحدة التحكم بطريقة مقارنة قيمها مع الحدود المسموحة للتغيرات نسبة لنظام عمل المحرك .
- كتابة شيفرة الخلل (رمزه) في تجهيزات الذاكرة عند خروج العامل المراقب عن الحدود الموضوعية .

(كل خلل في نظام التحكم له شيفرة خاصة وهي عادة عدد ثنائي أو ثلاثي الأرقام).

- حفظ شيفرة الخلل في الذاكرة لفترة قصيرة نسبياً عند حدوث خلل طارئ ، وحفظ طويل عند الظهور الدائم للخلل (مثل فصل التغذية أو استخدام تجهيزات خارجية متصلة بوحدة التحكم قادرة على إخفاء شيفرات الخلل من الذاكرة) .

- الانتقال بحسب الإمكانية إلى نظام تحكم احتياطي بالمحرك (نظام التحكم الاحتياطي بالمحرك يسمح للسيارة بمتابعة السير إلى المكان الذي تجرى فيه الإصلاحات الفنية الدقيقة لكنه لا يحقق المتطلبات النموذجية الموضوعية في وحدة التحكم ولا يسمح بذلك طويلاً) .

- تحذير سائق المركبة بوجود خلل في نظام التحكم بالمحرك , بمساعدة الدليل الضوئي (إشارة ضوئية). على لوحة العدادات وتجهيزات القياس في السيارة . ولكي نحصل على المعلومات التي تبين الخلل , يجب حذف الشيفرات من ذاكرة وحدة التحكم . وإعطائها إلى الدليل الضوئي .

ولتحويل وحدة التحكم إلى نظام العمل الذي تعطي خلاله شيفرات التشخيص يجب إغلاق تماسات معينة على لوحة التشخيص .

ويمكن تحديد بعض أنواع الخلل بفضل إجراء التأثيرات الإضافية .

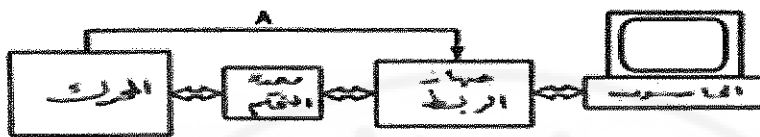
إذ يبدأ الدليل الضوئي بالإضاءة وفق تسلسل معين تابعاً لشيفرة الخلل والشيفرات المطابقة لطبيعة الإضاءة تنتقل إلى جدول البحث عند الخلل (الأعطال). وإذا أظهر نظام التشخيص بعض الأعطال فإن الشيفرات المطابقة سوف تتوضع الواحدة تلو الأخرى بحيث تظهر الشيفرة ذات الإضاءات الأقل أولاً والشيفرة ذات الإضاءة الأكثر تظهر أخيراً . وبعد إظهار جميع الشيفرات المحفوظة في الذاكرة يتكرر تسلسلها , ودلائل الشيفرات سوف تتكرر حتى تخرج من قنوات التشخيص . بعد إصلاح الأعطال ينطفئ ضوء المراقبة. وإذا انعدمت الأعطال فإنه عند وصل الإشعال تحترق لمبة الإشارة وبعد إقلاع المحرك تنطفئ .

في الأنظمة العصرية لاتستخدم عملية إخراج الشيفرات الضوئية عملياً ولتكشف الأعطال والبارامترات المطابقة لها المعطاة إلى الذاكرة في وحدة التحكم يتم تحليلها بواسطة جهاز الاختبار التشخيصي - الشكل ٩٢ .

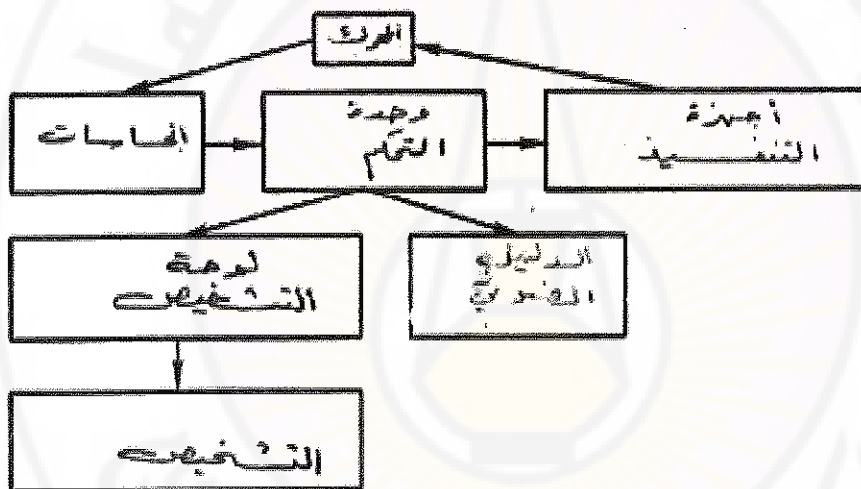
- هذا الجهاز هو عبارة عن حاسوب محمول مخصص لأعمال معينة مهمته الصيانة التشخيصية للسيارات وهو مزود بنظم الكترونية للتحكم بالمحرك وذلك بقرأة المعطيات الرقمية على لوحة التشخيص الأصلية لوحدة التحكم .

- أجهزة التشخيص في السنوات الأخيرة تتمتع بإمكانيات وظيفية واسعة
- لتشخيص محركات السيارات ذات النظم الالكترونية للتحكم وتقوم بما يلي :
- قراءة ذاكرة وحدة التحكم وإخراج وترميز شيفرات التوقف لدى نظام التشخيص , مسح شيفرات التوقف , تنظيف ذاكرة الحاسوب المحمول .
- إخراج وترميز البارامترات الرقمية من الدلائل المختلفة لنظام التحكم الرقمي (حرارة ماء التبريد , الهواء المسحوب , زاوية فتح صمام المزيج , مصروف الهواء , فترة التحكم بنبضات البخاخ , بارامترات نظام التحكم (2).
- التحكم وفق برنامج خاص بالحاكمات الالكترونية المختلفة والبخاخات , منظم اللاحمل. وإجراء اختبارات أخرى موضوعة في البرنامج الخاص لوحدة التحكم الاختبارية من قبل الصانع .
- بعد إصلاح الأعطال يجب مسح الشيفرة المخزنة في الذاكرة .
- تنظيف الذاكرة وحفظ شيفرات الأعطال يتم إما بطريقة فصل التغذية عن وحدة التحكم أو بمساعدة جهاز الاختبار التشخيصي .
- ويجب الانتباه أن بعض الخلل في الحالة الفنية في المحرك أو في عياراته المختلفة يولد أعطال يمكن أن تنسب خطأً إلى أعطال الجزء الالكتروني لنظام التحكم ومنها: الضغط المنخفض، تغير أطوار التوزيع الغازي الناجم عن التجميع الخاطئ لأجزاء المحرك , تسرب الهواء إلى مجرى الدخول من خلال وصلات ضعيفة الإحكام أو النوعية السيئة للوقود، وعدم التقيد بمدة الصيانة الفنية.
- إنطلاقاً من هذا يكون التسلسل العام لتشخيص المحرك المزود بنظام تحكم الكتروني مؤلفاً من مراقبة أولية للحالة الفنية للنظم الميكانيكية , ثم بعدها يتم فحص فاعلية دارات التشخيص للنظام المحمول بعد هذا يتم نقل شيفرات الأعطال من ذاكرة وحدة التحكم . وعند وجود الأعطال توضع خوارزمية

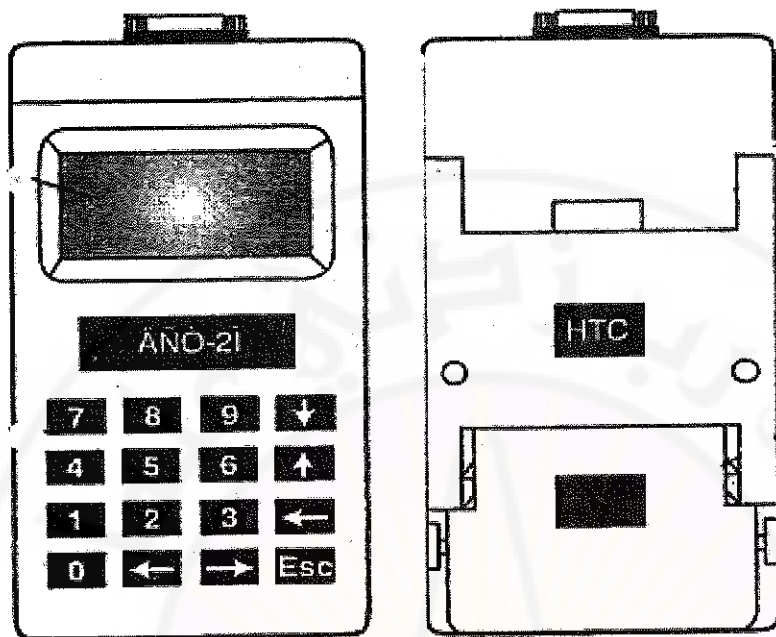
للبحث عنها. والتي توضع على جداول تشخيص خاصة أو على شاشة الاختبار التشخيصي .



شكل - ٩٠



شكل - ٩١



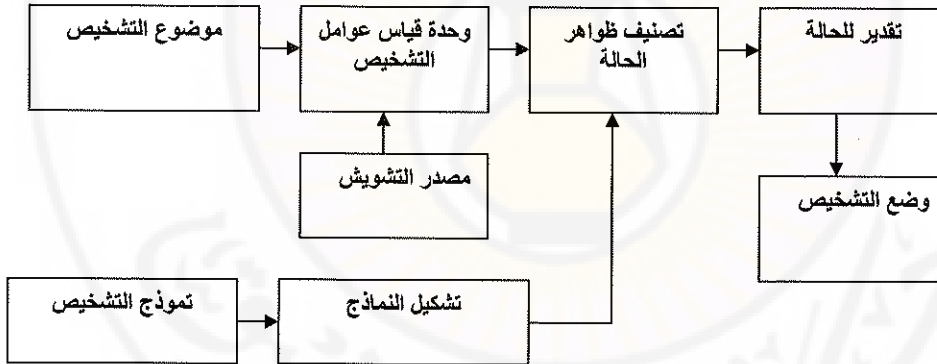
شكل - ٩٢

وثوقية عمل المحرك مع نظام التحكم الالكتروني:

إن المستوى العالي لتطور نظم التحكم الالكترونية بالمحرك يؤمن الانتقال من وظائف التشخيص الذاتي إلى وضع نظام متكامل لتشخيص المحرك، وبأنفس الوقت الوصول إلى مرحلة استثمار المحرك (وفق الحالة) .

وتصميم هذا النظام يسبقه التحليل الستاتيكي لأكثر حالات التوقف والأعطال انتشاراً في المحرك ومفاصله ونظمه، ودراسة العمليات الفيزيائية المؤدية إلى ظهور الأخطاء والخلل والظواهر المرافقة، وتحضير هدف التشخيص ، تصميم طريقة التشخيص وخوارزميته، دون إغفال الروابط الوظيفية أو الستاتيكية بين العوامل والبارامترات التصميمية ، والعملية لتشخيص المحرك، وأخذ الإمكانيات الفنية والاقتصادية بعين الاعتبار .

المخطط التصميمي لنظام تشخيص المحرك يظهر على الشكل - ٩٣ .



شكل - ٩٣

وفيه مولد الإشارات التي تميز الحالة الفنية (مقدم المعلومات عن الحالة) في نظام التشخيص هو هدف التشخيص (موضوع التشخيص) .

وحدة القياس تقدم المعلومات الأولية عن الحالة، وتتضمنها الإشارات المقاسة. وتضم الوحدة : المحولات الأولية لتحويل إشارات التشخيص من هدف التشخيص إلى الإشارات الكهربائية المطابقة، والمقويات (المضخمات) وتجهيزات تحويل الإشارات الأولية إلى إشارات موحدة للمعالجة اللاحقة . وعلى الإشارة الحاملة لمعلومة التشخيص تؤثر بكثير أو بقليل بعض الإعاقات والتي تؤخذ بعين الاعتبار عند وضع خوارزمية التشخيص .

وبما أن المحرك له عدة حالات فنية ، فإنه يجب فصل هذه الحالات عملياً إلى عدد محدود منها وفق مراتب معينة للحالة الفنية، وجمع الحالات المتشابهة بطبيعتها الفيزيائية في مرتبة معينة.

مثال في مرتبة واحدة يمكن ضم حالات المحرك المميزة لأعطال مفاصل مجموعة الصمامات ، مجموعة مدارج العمود المرفقي وهكذا إذا تم اعتماد مؤشر الحالة وهو ظهور نواتج التآكل المعدنية في الزيت .

هذه المرتبة للحالة يميزها مؤشر واحد وطريقة موحدة للتشخيص . وعلى أساس التحليل الستاتيكي للأعطال في هدف معين ، توضع جداول معيارية لكل مرتبة من مراتب الحالة الفنية وتضم هذه الجداول القيم الوسطية لبارامترات التشخيص لكل مرتبة .

ولتحضير مجموعة العوامل التشخيصية مع الجداول يمكن استخدام نموذج التشخيص للهدف في بعض الحالات التي تسهل فيها عملية البحث عن مكونات المعطيات في الإشارة المدروسة.

والعنصر الختامي في نظام تشخيص المحرك هو الدارة الفرعية (اتخاذ الحل) التي تقدر الحالة الفنية للمحرك وعناصره (وضع التشخيص) ومن العوامل

التشخيصية. والمسائل الرئيسية في عملية تصميم نظام التشخيص التقني هي اختيار طريقة التشخيص ، ووضع خوارزمية تقدير الحالة التقنية.

- طريقة تشخيص المحركات:

وهي تضم مجموعة من المسائل التسلسلية:

- توصيف هدف التحكم بأقل مجموعة من بارامترات الحالة وبارامترات التشخيص.

- إظهار البارامترات التشخيصية الأكثر حساسية تجاه الأعطال الأكثر انتشاراً .

- توزيع الحالات الفنية على مراتب أو أصناف . وفي ذات الوقت إيجاد الحلول لمسألة قياس بارامترات التشخيص وتأمين المراقبة الفعالة لهدف التشخيص .

عند وضع الخوارزميات واستخدامها لتشخيص المحركات يمكن اعتماد التوجهات التالية :

- التوجه الأول : يعتمد على مقارنة قيم البارامترات المقاسة للمحرك مباشرة مع القيم المقاسة سابقاً على المحرك ذاته وفي نظام العمل ذاته .

وبنتيجة المقارنة تحسب الانحرافات في البارامترات المقاسة ، وتجري العمليات التالية للتشخيص بمساعدة النماذج الرياضية المطابقة مع احتساب الانحرافات المذكورة .

ويمكن تقدير الحالة الفنية للمحرك على أساس مقارنة طبيعة تغير مظاهر الحالة مع بعض العلاقات المعيارية الموافقة للمحرك العامل من دون أعطال .

- التوجه الثاني : وهو كما يلي : وفق القيم المقاسة للبارامترات ، تحسب قيم البارامترات الأخرى بواسطة النموذج الرياضي ، وهي لا تقاس مباشرة ، وتقارن مع القيم الحاصلة سابقاً بالنموذج ذاته للمحرك ذاته وعلى نفس نظام العمل . وعلى أساس تحليلها توضع المقترحات والحلول التشخيصية . ويوجد

في العالم الآن مواصفات عالمية معيارية لإجراء عمليات التشخيص المتطورة وهي :

١- المواصفات المعيارية OBD-II وهي تستعرض كيفية إجراء التشخيص الدقيق وإجراء المراقبة لجميع عناصر المحرك , وسمية الغاز العادم , وظروف الكشف السريع عن الأعطال وتلافيها . ووفق هذا المعيار يجب إجراء ما يلي :

- يجب على شركات السيارات وضع تعليمات التشخيص الموحدة على جميع السيارات والنتائج المرجوة .

- وحدات التحكم بالمحرك يجب أن تؤمن المراقبة الدقيقة والدائمة ورصد عمل المحرك .

- توصيف الأعطال والانحرافات التي يجب على وحدة التحكم الكشف عنها ولو كانت خوارزميات إظهارها مختلفة ما بين سيارة وأخرى تابعة لشركة أو لأخرى

- في نظام إعطاء معطيات التشخيص جميع وحدات التحكم يجب أن تعمل وفق قاعدة (التبادلية الموحدة).

وطبقاً للمعيار المعتمد في نظم التشخيص المحمولة تجري عمليات تطوير دائمة لخوارزميات البحث عن الأعطال في نظم التحكم بالمحرك .

مثال:

كيف يمكن إجراء مراقبة لفاعلية الدلائل والحساسات الخاصة بتدفق الهواء , وزاوية انفتاح صمام المزيج وفق الزمن الحسابي لحقن الوقود (بواسطة البخاخ) ووفق خوارزميتان مختلفتان .

وتتألف عملية المراقبة مما يلي :

بالتزامن مع حساب زمن الحقن ووفقاً لكتلة الهواء الوارد تجري عملية مقارنة حسابية لهذا البارامتر نسبة لوضعية صمام المزيج , وسرعة الدوران، وإذا لم تنطبق هاتان القيمتان فإن مراقبة الأعطال لهذين الدليلين تستمر . وبعد إظهار الخلل في الدليل . تدخل في ذاكرة وحدة التحكم الشيفرة الموافقة للعطل .

ومن التجهيزات التي تراقب دائماً ونظم المحرك المؤثرة على سمومية الغاز العادم مايلي :

دليل الأكسجين، المحفز الحبيبي , نظام تدوير الغازات , دائرة تجميع وفصل بخار البنزين في الخزان وغيرها.

جداول ملحقة
(الفصل الثاني)

القيم التقريبية لثقل γ_c للحكاست المختلفة

جدول 1.0	الحد الأدنى	الحد الأوسط	الحد الأعلى	الحد الأقصى	الحد الأدنى	الحد الأوسط	الحد الأعلى	الحد الأقصى
المادة	الحد الأدنى	الحد الأوسط	الحد الأعلى	الحد الأقصى	الحد الأدنى	الحد الأوسط	الحد الأعلى	الحد الأقصى
خفيفة	80-120	90-200	100-200	100-200	نظري -	نظري -	نظري -	نظري -
خفيفة	120-280	—	200-350	200-350	خفيفة	خفيفة	خفيفة	خفيفة
متوسطة	220-400	300-500	300-500	300-500	خفيفة	خفيفة	خفيفة	خفيفة
متوسطة	200-250	300-400	300-400	300-400	خفيفة	خفيفة	خفيفة	خفيفة
خفيفة	250-350	350-550	350-550	350-550	خفيفة	خفيفة	خفيفة	خفيفة
متوسطة	600-1100	450-900	750-1400	750-1400	خفيفة	خفيفة	خفيفة	خفيفة
خفيفة	600-850	—	650-1150	650-1150	خفيفة	خفيفة	خفيفة	خفيفة
خفيفة	1200-1700	850-1100	1500-2000	1500-2000	خفيفة	خفيفة	خفيفة	خفيفة
خفيفة	1500-3000	1300-3000	2000-4000	2000-4000	خفيفة	خفيفة	خفيفة	خفيفة

2. جداول (A) لارتفاع الشمس

ارتفاع الشمس	الوقت											ارتفاع الشمس
	10.2	10.4	10.6	10.8	11.0	11.2	11.4	11.6	11.8	12.0	12.2	
0	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'
10	3°07'	2°56'	2°46'	2°37'	2°29'	2°22'	2°16'	2°10'	2°04'	1°59'	1°55'	360
20	6°08'	5°46'	5°27'	5°10'	4°54'	4°40'	4°27'	4°16'	4°05'	3°55'	3°44'	350
30	8°59'	8°27'	7°59'	7°34'	7°11'	6°50'	6°31'	6°14'	5°59'	5°44'	5°24'	340
40	11°35'	10°54'	10°17'	9°44'	9°15'	8°48'	8°24'	8°02'	7°42'	7°24'	7°04'	330
50	13°51'	13°01'	12°17'	11°38'	11°02'	10°31'	10°02'	9°35'	9°11'	8°49'	8°28'	320
60	15°42'	14°45'	13°55'	13°10'	12°30'	11°54'	11°21'	10°51'	10°24'	9°58'	9°35'	310
70	17°05'	16°03'	15°08'	14°19'	13°35'	12°56'	12°20'	11°47'	11°17'	10°50'	10°24'	300
80	17°55'	16°50'	15°53'	15°01'	14°15'	13°34'	12°56'	12°22'	11°50'	11°22'	10°50'	290
90	18°13'	17°06'	16°08'	15°15'	14°29'	13°47'	13°08'	12°33'	12°01'	11°32'	11°01'	280
100	17°55'	16°50'	15°53'	15°01'	14°15'	13°34'	12°56'	12°22'	11°50'	11°22'	10°50'	270
110	17°05'	16°03'	15°08'	14°19'	13°35'	12°56'	12°20'	11°47'	11°17'	10°50'	10°24'	260
120	15°42'	14°45'	13°55'	13°10'	12°30'	11°54'	11°21'	10°51'	10°24'	9°58'	9°35'	250
130	13°51'	13°01'	12°17'	11°38'	11°02'	10°31'	10°02'	9°35'	9°11'	8°49'	8°28'	240
140	11°35'	10°54'	10°17'	9°44'	9°15'	8°48'	8°24'	8°02'	7°42'	7°24'	7°04'	230
150	8°59'	8°27'	7°59'	7°34'	7°11'	6°50'	6°31'	6°14'	5°59'	5°44'	5°24'	220
160	6°08'	5°46'	5°27'	5°10'	4°54'	4°40'	4°27'	4°16'	4°05'	3°55'	3°44'	210
170	3°07'	2°56'	2°46'	2°37'	2°29'	2°22'	2°16'	2°10'	2°04'	1°59'	1°55'	200
180	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'	190

3. جداول ارتفاع الشمس

3. جيب تمام $\cos \beta$ جيب تمام α α β

α	β										α
	1/2	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1	1/2	3/4	
0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	360
10	0.9985	0.9987	0.9988	0.9990	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9994	350
20	0.9943	0.9949	0.9955	0.9959	0.9964	0.9967	0.9970	0.9972	0.9975	0.9977	340
30	0.9877	0.9891	0.9903	0.9913	0.9922	0.9929	0.9935	0.9941	0.9946	0.9950	330
40	0.9796	0.9820	0.9839	0.9856	0.9870	0.9882	0.9893	0.9902	0.9910	0.9917	320
50	0.9709	0.9743	0.9771	0.9795	0.9815	0.9832	0.9847	0.9858	0.9868	0.9877	310
60	0.9627	0.9670	0.9706	0.9737	0.9763	0.9785	0.9804	0.9821	0.9836	0.9849	300
70	0.9559	0.9611	0.9653	0.9689	0.9720	0.9746	0.9769	0.9789	0.9806	0.9822	290
80	0.9515	0.9571	0.9619	0.9658	0.9692	0.9721	0.9746	0.9772	0.9786	0.9804	280
90	0.9499	0.9538	0.9606	0.9648	0.9683	0.9712	0.9738	0.9761	0.9780	0.9798	270
100	0.9515	0.9571	0.9619	0.9658	0.9692	0.9721	0.9746	0.9772	0.9786	0.9804	260
110	0.9559	0.9611	0.9653	0.9689	0.9720	0.9746	0.9769	0.9789	0.9806	0.9822	250
120	0.9627	0.9670	0.9706	0.9737	0.9763	0.9785	0.9804	0.9821	0.9836	0.9849	240
130	0.9709	0.9743	0.9771	0.9795	0.9815	0.9832	0.9847	0.9858	0.9868	0.9877	230
140	0.9796	0.9820	0.9839	0.9856	0.9870	0.9882	0.9893	0.9902	0.9910	0.9917	220
150	0.9877	0.9891	0.9903	0.9913	0.9922	0.9929	0.9935	0.9941	0.9946	0.9950	210
160	0.9943	0.9949	0.9955	0.9959	0.9964	0.9967	0.9970	0.9972	0.9975	0.9977	200
170	0.9985	0.9987	0.9988	0.9990	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9994	190
180	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	180

٤٠٨

٤٠٨

٤٠٨

٤٠٨

	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32	1/64	1/128	1/256	1/512	1/1024	1/2048	1/4096	1/8192	1/16384	1/32768	1/65536	1/131072	1/262144	1/524288	1/1048576	1/2097152	1/4194304	1/8388608	1/16777216	1/33554432	1/67108864	1/134217728	1/268435456	1/536870912	1/1073741824	1/2147483648	1/4294967296	1/8589934592	1/17179869184	1/34359738368	1/68719476736	1/137438953472	1/274877906944	1/549755813888	1/1099511627776	1/2199023255552	1/4398046511104	1/8796093022208	1/17592186444416	1/35184372888832	1/70368745777664	1/140737491555328	1/281474983110656	1/562949966221312	1/1125899932442624	1/2251799864885248	1/4503599729770496	1/9007199459540992	1/18014398919081984	1/36028797838163968	1/72057595676327936	1/144115191352655872	1/288230382705311744	1/576460765410623488	1/1152921530821246976	1/2305843061642493952	1/4611686123284987904	1/9223372246569975808	1/18446744493139951616	1/36893488986279903232	1/73786977972559806464	1/147573955945119612928	1/295147911890239225856	1/590295823780478451712	1/1180591647560956903424	1/2361183295121913806848	1/4722366590243827613696	1/9444733180487655227392	1/18889466360975310454784	1/37778932721950620909568	1/75557865443901241819136	1/151115730887802483638272	1/302231461775604967276544	1/604462923551209934553088	1/1208925847102419869106176	1/2417851694204839738212352	1/4835703388409679476424704	1/9671406776819358952849408	1/19342813553638717905698816	1/38685627107277435811397632	1/77371254214554871622795264	1/154742508429109743745590528	1/309485016858219487491181056	1/618970033716438974982362112	1/1237940067432877949964724224	1/2475880134865755899929448448	1/4951760269731511799858896896	1/9903520539463023599717793792	1/19807041078926047199435587584	1/39614082157852094398871175168	1/79228164315704188797742350336	1/158456328631408377595484700672	1/316912657262816755190969401344	1/633825314525633510381938802688	1/1267650629051267020763877605376	1/2535301258102534041527755210752	1/5070602516205068083055510421504	1/10141205032410136166111020843008	1/20282410064820272332222041686016	1/40564820129640544664444083372032	1/81129640259281089328888166744064	1/162259280518562178657776333488128	1/324518561037124357315552666976256	1/649037122074248714623105333952512	1/1298074244148497432446210667905024	1/2596148488296994864892421335810048	1/5192296976593989729784842671620096	1/10384593953187979459569685343240192	1/20769187906375958919139370686480384	1/41538375812751917838278741372960768	1/83076751625503835676557482745921536	1/166153503251007671353114965491843072	1/332307006502015342706229930983686144	1/664614013004030685412459861967372288	1/1329228026008061370824919723934744576	1/2658456052016122741649839447869489152	1/5316912104032245483299678895738978304	1/10633824208064490966599357791477956608	1/21267648416128981933198715582955913216	1/42535296832257963866397431165911826432	1/85070593664515927732794862331823652864	1/170141187329031855465589724663647305728	1/340282374658063710931179449327294611456	1/680564749316127421862358898654589222912	1/1361129498632254843724717797309178445824	1/2722258997264509687449435594618356891648	1/5444517994529019374898871189236713783296	1/10889035989058038749797742378473427566592	1/21778071978116077499595484756946855133184	1/43556143956232154999190969513893710266368	1/87112287912464309998381939027787420532736	1/174224575824928619996763878055574841065536	1/348449151649857239993527756111149682131072	1/696898303299714479987055512222299362262144	1/1393796606599428959974111024444584724524288	1/2787593213198857919948222048889169449048576	1/557518642639771583989644409777833889809152	1/1115037285279543167979288819555667779618304	1/2230074570559086335958577639111335559236608	1/4460149141118172719117155278222671118473216	1/892029828223634543823431155444534223694632	1/1784059656447269087646862308889068447389264	1/3568119312894538175293724617778136894778528	1/7136238625789076350587449235556273789557056	1/14272477251578152701174898471112547579114112	1/28544954503156305402349796942225095158228224	1/570899090063126108046995938844501902564544	1/1141798180126252216093991877690033805128888	1/2283596360252504432187983755380067610257776	1/4567192720505008864375967510760135220515552	1/91343854410100177287519350215202704410311008	1/18268770882020035477503870043040540822062016	1/36537541764040070955007740086081081644124032	1/73075083528080141910015480172162163288248064	1/146150167056160283820030960344324326576516128	1/292300334112320567640061920688648653153032256	1/584600668224641135280123841377297306306064512	1/1169201336449282270560247682754594612612128	1/2338402672898564541120495365509189225224256	1/4676805345797129082240990731018378450448512	1/9353610691594258164481981462036756900897024	1/18707221383185116328963962924073513801794048	1/37414442766370232657927925848147027603588096	1/74828885532740465315855851696294055207176192	1/149657771065480930631711713392588104114352384	1/299315542130961861263423426785176208228704768	1/59863108426192372252686685357035241645740736	1/119726216852384744505373370714070483291481504	1/239452433704769489010746741428140966582962008	1/478904867409538978021493482856281931765924016	1/95780973481907795604298696571256386353184032	1/191561946963815591208597393142512772706368064	1/383123893927631182417194786285025545412736128	1/766247787855262364834389572570051090825472256	1/1532495575710524729668779145140010218150944512	1/3064991151421049459337558290280020436301888	1/6129982302842098918675116580560040872603776	1/12259964605684197837350233161120081745207552	1/2451992921136839567470046632224016300441504	1/4903985842273679134940093264448032600883008	1/9807971684547358269880186528896065201766016	1/1961594336909471653976037305779213033532032	1/3923188673818943307952074611558426066664064	1/7846377347637886615904149223116852133328128	1/1569275469527577323180829844623370666645248	1/3138550939055154646361659689246741333288496	1/6277101878110309292723319378493482666576992	1/12554203756220618585446638756986953333153936	1/25108407512441237170893277513973906666307872	1/50216815024882474341786555027947813332615744	1/100433630049764948683573110055895626665231488	1/20086726009952989736714622011179125333046976	1/40173452019905979473429244022358250666093952	1/80346904039811958946858488044716501332187904	1/160693808079623917893716976089433002664375808	1/321387616159247835787433952178866005328751616	1/642775232318495671574867904357732010657503232	1/1285550464636991343149735808715464021315006464	1/2571100929273982686299471617430828042630012928	1/5142201858547965372598943234861656085260025856	1/10284403717139326745197886469723112170520051712	1/20568807434278653490395772939446224341040103424	1/41137614868557306980791545878892448682080206848	1/82275229337114613961583091757784893764160413696	1/164550458674229227923176183515569787528320827392	1/329100917348458455846352367031139575056641654784	1/65820183469691691169292673406227150113328330944	1/131640366939383382338585346812454230226656661888	1/263280733878766764677170693624908460453313323776	1/526561467757533529354341387249816920906626647552	1/105312293551506705870868274449963384181325295104	1/210624587103013411741737648899926768362650590208	1/421249174206026823483475297799853536725301180416	1/842498348412053646966950595599707073450602360832	1/1684996688224107293933901191199414146901204721664	1/33699933764482145878678023823988282938024094432	1/67399867528964291757356047647976565876048188864	1/134799735057928583514712095295953131752096377728	1/269599470115857167029424190591906263504192755456	1/539198940231714334058848381183812527008385510912	1/1078397880463428668117766762367625054016771021824	1/2156795760926857336235533444735250108033542043648	1/4313591521853714672471066889470500216067084087296	1/8627183043707429344942133778941000432134168174592	1/17254366087414858689884267557882000864268336349184	1/34508732174829717379768535115764001728536672698368	1/69017464349659434759537070231528003457073345396736	1/138034928699318869519074140463056006914146690793472	1/27606985739863773903814828092611201382829338158688	1/55213971479727547807629656185222402765658676317376	1/110427942959455095615259312370444805531317352634752	1/220855885918910191230518624740889611062634705269504	1/441711771837820382461037249481779222125269410539008	1/883423543675640764922074498963558444250538821078016	1/1766847087351281529844148997927116888501077642156032	1/3533694174702563059688297995854233777002155284312064	1/7067388349405126119376595991708467554004305568624128	1/14134776698810252238753191983416935108008611373248256	1/28269553397620504477506383966833870216017222746496	1/56539106795241008955012767933667740432034445492992	1/113078213590482017910025535867335480864068890985984	1/226156427180964035820051071734670961728137781971968	1/452312854361928071640102143469341923456275563943936	1/904625708723856143280204286938683847112551127887872	1/1809251417447712286560408573877367694225102255775744	1/361850283489542457312081714775473538845020451155088	1/723700566979084914624163429550947077690040902310176	1/1447401133958169829248326859101894155380081804620352	1/2894802267916339658496653718203788310760163609240704	1/5789604535832679316993307436407576621520327218480608	1/11579209071665358633986614872815153243040644436961216	1/23158418143330717267973229745630306486081288873922432	1/46316836286661434535946459491260612972162577747844864	1/926336725733228690718929189825212259443251555196896	1/1852673451466457381437858379650424518886503111393792	1/3705346902932914762875716759300849037773006222787584	1/741069380586582952575143351860169807554601244557504	1/1482138761173165905150286713203397615109202489115008	1/2964277522346331810300573426406795230218404978230016	1/5928555044692663620601146852813590460436809956460032	1/1185711008938532724120229370562718092087361991292064	1/2371422017877065448240458741125436184174723982584128	1/4742844035754130896480917482250872368349447965168256	1/9485688071508261792961834964501744736698895930336512	1/18971376143016523585923669929003489473397791860673024	1/37942752286033047171847339858006978946795583721346048	1/75885504572066094343694679716013957893591167442692096	1/151771009144132188687389359432027915787182344885384192	1/303542018288264377374778718864055831574364689770768384	1/60708403657652875474955743772811166314872937954153776	1/121416807315305750949911487446222326629745859908307552	1/24283361463061150199982297489244465325949171981661504	1/48566722926122300399964594978488930651898343963323008	1/97133445852244600799929189956977861303796887926646016	1/19426689164489120159985837991395572260759377585329232	1/38853378328978240319971675982791145211518755170656448	1/77706756657956480639943351965582290423037510341312	1/155413513315912961279886703931164580846075020682624	1/310827026631825922559773407862329161692150041365248	1/621654053263651845119546815724658323384300082730496	1/1243308106527303690239093635449316646768600165460992	1/2486616213054607380478187270898633293537200330921984	1/4973232426109214760956374541797266587074400661843968	1/9946464852218429521912749083594533174148801323687936
--	------	-----	-----	------	------	------	-------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	---------	---------	---------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------	------------	------------	-------------	-------------	-------------	--------------	--------------	--------------	--------------	---------------	---------------	---------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	------------------	------------------	------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	----------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	--	--	--	---	---	---	--	--	--	--	---	---	---	--	--	--	---	---	---	---	--	--	--	---	---	--	---	---	---	--	---	---	---	--	--	--	---	---	---	--	--	--	--	---	---	---	---	---	---	---	--	--	--	---	---	--	---	---	---	--	---	---	---	--	---	---	--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--	--	--	---	--	--	--	---	---	---	--	--	--	---	---	---	---	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--	---	---	---	--	--	--	---	---	---	---	--	--	--	---	--	--	---	---	---	---	--	--	--	---	--	--	---	---	---	---	--	---	---	--	--	--	---	---	---	---	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--	---	---	---	--	--	---	--	---	---	---	---	---	--	---	---	---	--	--	--	--

جيب

$$\sin(\alpha + \beta) \cos \beta$$

5.

α, λ

α	β										
	1.02	1.04	1.06	1.08	1.10	1.12	1.14	1.16	1.18	1.20	1.22
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.2273	0.2240	0.2212	0.2187	0.2164	0.2144	0.2126	0.2109	0.2092	0.2077	0.2077
20	0.4430	0.4370	0.4317	0.4269	0.4227	0.4187	0.4151	0.4121	0.4091	0.4064	0.4064
30	0.6369	0.6288	0.6215	0.6150	0.6091	0.6038	0.5992	0.5946	0.5908	0.5870	0.5870
40	0.7998	0.7903	0.7818	0.7743	0.7675	0.7614	0.7559	0.7512	0.7464	0.7427	0.7427
50	0.9245	0.9147	0.9040	0.8933	0.8835	0.8754	0.8798	0.8745	0.8700	0.8657	0.8657
60	1.0066	0.9977	0.9899	0.9831	0.9769	0.9714	0.9664	0.9619	0.9578	0.9539	0.9539
70	1.0448	1.0381	1.0322	1.0270	1.0224	1.0182	1.0145	1.0110	1.0079	1.0051	1.0051
80	1.0809	1.0744	1.0682	1.0624	1.0571	1.0527	1.0247	1.0229	1.0214	1.0197	1.0197
90	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
100	0.9287	0.9323	0.9354	0.9382	0.9407	0.9429	0.9449	0.9467	0.9486	0.9510	0.9510
110	0.8346	0.8413	0.8472	0.8524	0.8570	0.8611	0.8647	0.8683	0.8715	0.8742	0.8742
120	0.7255	0.7343	0.7421	0.7490	0.7551	0.7604	0.7651	0.7700	0.7742	0.7782	0.7782
130	0.6076	0.6174	0.6261	0.6337	0.6406	0.6467	0.6523	0.6575	0.6621	0.6664	0.6664
140	0.4858	0.4953	0.5038	0.5113	0.5181	0.5242	0.5297	0.5347	0.5392	0.5434	0.5434
150	0.3631	0.3713	0.3785	0.3851	0.3909	0.3962	0.4008	0.4054	0.4095	0.4130	0.4130
160	0.2410	0.2470	0.2523	0.2571	0.2614	0.2653	0.2689	0.2719	0.2749	0.2777	0.2777
170	0.1200	0.1233	0.1261	0.1286	0.1309	0.1329	0.1347	0.1364	0.1381	0.1395	0.1395
180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

6.

 $\cos(\alpha + \pi) \cos \pi$ $\alpha = \pi$ α

	132	134	136	138	140	142	144	146	148	150		
0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	+	360
10	0.9754	0.9759	0.9764	0.9769	0.9773	0.9776	0.9779	0.9782	0.9785	0.9788	+	350
20	0.9029	0.9051	0.9070	0.9086	0.9103	0.9118	0.9131	0.9142	0.9153	0.9163	+	340
30	0.7870	0.7917	0.7958	0.7997	0.8030	0.8061	0.8088	0.8114	0.8136	0.8158	+	330
40	0.6343	0.6427	0.6494	0.6557	0.6614	0.6665	0.6711	0.6753	0.6791	0.6827	+	320
50	0.4539	0.4656	0.4760	0.4851	0.4933	0.5006	0.5072	0.5134	0.5189	0.5240	+	310
60	0.2566	0.2719	0.2854	0.2973	0.3079	0.3175	0.3262	0.3340	0.3411	0.3478	+	300
70	0.0532	0.0718	0.0879	0.1022	0.1149	0.1261	0.1366	0.1460	0.1545	0.1622	+	290
80	0.1447	0.1244	0.1064	0.0906	0.0785	0.0640	0.0525	0.0423	0.0328	0.0243	+	280
90	0.5291	0.5077	0.2891	0.2728	0.2582	0.2453	0.2333	0.2226	0.2129	0.2040	-	270
100	0.4920	0.4717	0.4537	0.4379	0.4238	0.4113	0.3998	0.3896	0.3800	0.3689	-	260
110	0.6307	0.6123	0.5961	0.5819	0.5691	0.5578	0.5475	0.5380	0.5295	0.5218	-	250
120	0.7434	0.7281	0.7146	0.7027	0.6921	0.6825	0.6738	0.6660	0.6589	0.6522	-	240
130	0.8317	0.8199	0.8096	0.8004	0.7923	0.7850	0.7783	0.7721	0.7666	0.7616	-	230
140	0.7978	0.8898	0.8827	0.8764	0.8707	0.8655	0.8610	0.8568	0.8529	0.8502	-	220
150	0.9451	0.9404	0.9362	0.9324	0.9290	0.9259	0.9233	0.9206	0.9184	0.9162	-	210
160	0.9764	0.9743	0.9723	0.9706	0.9690	0.9676	0.9663	0.9652	0.9641	0.9631	-	200
170	0.9945	0.9937	0.9932	0.9928	0.9924	0.9920	0.9917	0.9914	0.9911	0.9908	-	190
180	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	-	180

7.

 $A = 1 - \cos \pi + (1/2)(1 - \cos \pi)$ $\pi = \pi$ $\pi = \pi$

2

2

2

	1/3,2	1/3,4	1/3,6	1/3,8	1/4,0	1/4,2	1/4,4	1/4,6	1/4,8	1/5,0	
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	360
10	0,0199	0,0196	0,0194	0,0192	0,0190	0,0188	0,0187	0,0186	0,0185	0,0183	350
20	0,0787	0,0775	0,0766	0,0758	0,0750	0,0743	0,0736	0,0730	0,0725	0,0720	340
30	0,1733	0,1709	0,1689	0,1671	0,1653	0,1639	0,1626	0,1615	0,1605	0,1590	330
40	0,2993	0,2953	0,2919	0,2888	0,2859	0,2835	0,2812	0,2791	0,2773	0,2756	320
50	0,4504	0,4447	0,4398	0,4353	0,4313	0,4277	0,4246	0,4216	0,4189	0,4163	310
60	0,6197	0,6121	0,6059	0,6001	0,5949	0,5904	0,5861	0,5822	0,5788	0,5755	300
70	0,7993	0,7904	0,7830	0,7762	0,7699	0,7646	0,7596	0,7550	0,7508	0,7473	290
80	0,9820	0,9721	0,9639	0,9564	0,9495	0,9436	0,9381	0,9332	0,9286	0,9244	280
90	1,1606	1,1504	1,1419	1,1341	1,1270	1,1209	1,1151	1,1100	1,1052	1,1010	270
100	1,3293	1,3194	1,3112	1,3037	1,2968	1,2909	1,2853	1,2804	1,2758	1,2716	260
110	1,4834	1,4745	1,4670	1,4602	1,4539	1,4486	1,4435	1,4386	1,4348	1,4313	250
120	1,6197	1,6121	1,6059	1,6000	1,5949	1,5904	1,5861	1,5822	1,5788	1,5755	240
130	1,7360	1,7302	1,7254	1,7209	1,7168	1,7133	1,7100	1,7069	1,7042	1,7017	230
140	1,8314	1,8274	1,8240	1,8209	1,8180	1,8156	1,8132	1,8111	1,8094	1,8078	220
150	1,9054	1,9030	1,8910	1,8991	1,8974	1,8959	1,8946	1,8934	1,8923	1,8912	210
160	1,9581	1,9569	1,9560	1,9552	1,9544	1,9537	1,9531	1,9526	1,9521	1,9516	200
170	1,9895	1,9892	1,9890	1,9888	1,9886	1,9884	1,9883	1,9882	1,9881	1,9880	190
180	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	180

$$E = \sqrt{\cos^2 \alpha + B / \cos \beta} + \lambda (\cos^2 \alpha / \cos \beta)$$

جدول ١

α λ

α	λ										E
	132	134	136	138	140	142	144	146	148	150	
0	1.3131	1.2941	1.2782	1.2635	1.2500	1.2384	1.2273	1.2173	1.2083	1.2000	+
10	1.2804	1.2623	1.2472	1.2333	1.2204	1.2094	1.1989	1.1895	1.1809	1.1731	+
20	1.1842	1.1688	1.1561	1.1443	1.1335	1.1243	1.1156	1.1076	1.1005	1.0942	+
30	1.0305	1.0196	1.0107	1.0024	0.9949	0.9886	0.9826	0.9774	0.9724	0.9681	+
40	0.8245	0.8246	0.8303	0.8168	0.8139	0.8113	0.8089	0.8072	0.8047	0.8028	+
50	0.5950	0.5970	0.5989	0.6008	0.6026	0.6041	0.6056	0.6071	0.6084	0.6096	+
60	0.3438	0.3532	0.3611	0.3634	0.3750	0.3809	0.3865	0.3914	0.3958	0.4000	+
70	0.0946	0.1105	0.1236	0.1357	0.1468	0.1562	0.1651	0.1731	0.1803	0.1869	+
80	0.1347	0.1143	0.0976	0.0822	0.0682	0.0563	0.0451	0.0353	0.0260	0.0182	-
90	0.3298	0.3077	0.2897	0.2732	0.2582	0.2455	0.2333	0.2226	0.2129	0.2040	-
100	0.4820	0.4616	0.4449	0.4297	0.4155	0.4036	0.3924	0.3826	0.3733	0.3654	-
110	0.5895	0.5736	0.5605	0.5494	0.5373	0.5279	0.5190	0.5109	0.5037	0.4971	-
120	0.6563	0.6449	0.6389	0.6317	0.6250	0.6191	0.6135	0.6086	0.6042	0.5999	-
130	0.6905	0.6885	0.6867	0.6848	0.6830	0.6814	0.6799	0.6784	0.6771	0.6760	-
140	0.7026	0.7075	0.7118	0.7153	0.7182	0.7208	0.7242	0.7254	0.7273	0.7309	-
150	0.7058	0.7125	0.7213	0.7296	0.7371	0.7433	0.7495	0.7546	0.7596	0.7639	-
160	0.6952	0.7106	0.7233	0.7350	0.7458	0.7551	0.7638	0.7716	0.7790	0.7852	-
170	0.6892	0.7073	0.7225	0.7364	0.7493	0.7602	0.7708	0.7801	0.7887	0.7965	-
180	0.6869	0.7059	0.7218	0.7366	0.7500	0.7616	0.7727	0.7826	0.7917	0.8000	-

ملاحظات توضيح المرحله ، ترتيب ملحة الدبر بطرقات ، وألقم الخطط للفرقة والعزم غير المتوازنة 9. جدول									
المرور غير المتوازنة	المرور غير المتوازنة		الفرقة غير المتوازنة		الفرقة غير المتوازنة		الفرقة غير المتوازنة		المرور غير المتوازنة
	$2M_x$	$2M_y$	$2M_x$	$2M_y$	$2M_x$	$2M_y$	$2M_x$	$2M_y$	
ملاحظات ربطية الأوتار									
2		360	360	1-2	$2K, 2K, 2K, 2K$	0	0	0	0
2		180	$180 + 540$	1-2	0	0	$2K, 2K$	K, K	0
3		120	240	1-2-3	0	0	0	$\sqrt{3}K, K$	$\sqrt{3}K, K$
4		180	180	1-2-4-2 1-2-4-3	0	0	$4K, 2K$	0	0

5		72	144	1 2 4 5 3	0 0 0	$0.409 \times K L_0$	$0.409 \times K L_0$	$4.00 K L_0$
6		120	120	1 3 3 6 2 4 1 4 2 6 3 5 1 1 3 6 4 2	0 0 0 0	0	0	0
7		51 57	102 67	1 2 4 6 7 5 3	0 0 0	$0.387 K L_0$	$0.387 K L_0$	$1.00 K L_0$
8		90	90	1 6 2 5 8 3 7 4 1 6 2 4 8 3 7 5 1 3 7 5 8 6 2 4 1 3 7 4 8 6 2 5	0 0 0 0	0	0	0
8		90	90	1 2 4 6 8 7 5 3	0 0 0 0	0	0	0
9		40	80	1 8 5 3 9 6 2 7 4	0 0 0	$0.97 K L_0$	$0.97 K L_0$	$1.25 K L_0$
9		$\alpha = 37.44^\circ$ $\beta = 41.08^\circ$	78 52 82 16	1 3 4 6 8 9 7 5 3	0 0 0 0	0	0	$0.19 K L_0$
10		72	72	1 6 2 5 8 4 10 5 9 3 7 1 6 9 7 7 10 5 2 8 4	0 0 0 0	0	0	0

6		60	60	1-6-2-4-3-5 1-5-3-4-2-6	0	0	0	0	0	3,404KJL ₀
7		51 3/7	51 3/7	1-7-2-5-4-3-6	0	0	0	0,267KJL ₀	0,267KJL ₀	1,006KJL ₀
7		51 3/7	51 3/7	1-7-4-2-6-3-5	0	0	0	0,835KJL ₀	0,835KJL ₀	5,515KJL ₀
8		45	45	1-8-2-6-4-5-3-7	0	0	0	0,648KJL ₀	0,648KJL ₀	0
8		45	45	1-6-4-5-3-3-2-7	0	0	0	2,16KJL ₀	2,16KJL ₀	2,827KJL ₀
		$\alpha = 53^{\circ} 10'$ $\beta = 36^{\circ} 50'$	$53^{\circ} 10'$ $36^{\circ} 50'$	1-8-2-4-6-5-3-7	0	0	0	0	0	0

9		40	1-9-2-7-4-5-6-3-8	0	0	0	0.194 K/L ₉	0.194 K/L ₉	0.548 K/L ₉
9		40	1-9-4-3-7-5-2-6-8	0	0	0	0.92 K/L ₉	0.92 K/L ₉	1.23 K/L ₉
10		36	1-10-2-8-4-6-5-7-3-9	0	0	0	0	0	0.898 K/L ₉
11		32	1-11-2-9-4-7-6-5-8-3-10	0	0	0	0.153 K/L ₉	0.153 K/L ₉	0.382 K/L ₉
12		30	1-12-2-10-4-8-6-7-5-9-3-11	0	0	0	0.277 K/L ₉	0.277 K/L ₉	0
12		30	1-6-8-10-3-5-7-12-2-4-9-11	0	0	0	0	0	0

جدول وحدات القياس

العامل (المؤشر)	النظام الدولي SI	النظام المتري
الطول	M م	M م
الحجم	M ³ م ³	M ³ م ³
الكتلة	Kg كغ	Kg f.S ² /M ³ كغ ثا ² /م ³
الوزن النوعي	N/M ³ ن/م ³	Kg f/M ³ كغ ق/م ³
الكثافة	Kg/M ³ كغ/م ³	Kg .f.S ² /M ⁴ كغ ق. ثا ² /م ⁴
الضغط	N/M ² (Pa) ن/م ² (باسكال)	Kg f/M ² كغ ق/م ²
القوة	N نيوتن (ن)	Kg f كغ ق
العزم	N.M ن.م	Kg f . M كغ ق.م
العمل	J(N.M) جول (ن.م)	Kg f . M كغ ق.م
الاستطاعة	W (J/ثا) واط (جول/ثا)	HP حصان
درجة الحرارة	K ^o درجة	K ^o درجة
الحرارة	J(N.M) جول (ن.م)	Cal كالوري



الرموز المستعملة : الرموز اللاتينية

A	مساحة الرسم البياني لدورة المحرك
B	عرض نافورة الوقود، معامل ثابت
C	النسبة الوزنية للكربون في ١ كغ من الوقود السائل
C_m	السرعة الوسطية لمكبس المحرك
C	التركيز الآني للعناصر الكيميائية المتفاعلة
c.a	زاوية دوران العمود المرفقي
C_p	السعة الحرارية للهواء تحت ضغط ثابت
μC_p	السعة الحرارية المولية للهواء تحت ضغط ثابت
μC_{p^*}	السعة الحرارية المولية لنواتج الاحتراق تحت ضغط ثابت
C_v	السعة الحرارية للهواء تحت حجم ثابت
μC_v	السعة الحرارية المولية للهواء تحت حجم ثابت
μC_{v^*}	السعة الحرارية المولية لنواتج الاحتراق تحت حجم ثابت
D	قطر الاسطوانة
d	قطر غرفة الاحتراق، قطر مكبس مضخة الوقود
E	طاقة التنشيط
F	مساحة، مقطع
f	مساحة، مقطع

G	الكمية الوزنية للشحنة أو لنواتج الاحتراق
G_f	معدل استهلاك الوقود
g	تسارع الجاذبية الأرضية، الاستهلاك النوعي للوقود
H	النسبة الوزنية للهيدروجين في ١ كغ من الوقود، القيمة الحرارية للوقود
h	الارتفاع، طول شوط مكبس مضخة الوقود
i	عدد اسطوانات المحرك
J	جول
K	نسبة الهيدروجين إلى أول أكسيد الكربون في نواتج الاحتراق، معامل ثابت
k	الأس الأديباتي
L	طول ذراع جهاز الفرملة، اختراقية نافورة الوقود
L_{th}	كمية الهواء الحجمية (المولية) اللازمة نظرياً لاحتراق ١ كغ من الوقود بشكل تام
l	كمية الهواء الوزنية الفعلية المشتركة في احتراق ١ كغ من الوقود
l_m	كمية الهواء اللازمة نظرياً لاحتراق ١ كغ من الوقود بشكل تام
M	متر، كمية الشحنة أو نواتج الاحتراق
m	عدد ذرات الهيدروجين في الوقود الغازي، أس تجريبي ثابت
N	نيوتن، الاستطاعة، عدد حبيبات الوقود
n	الأس البوليتروبي، عدد ذرات الكربون في

	الوقود الغازي، سرعة الدوران
O_f	النسبة الوزنية للأوكسجين في ١ كغ من الوقود
ON	رقم الأوكتان
P	الضغط، القوة المؤثرة في ذراع جهاز الفرملة
Q	الحرارة، الغزارة
q	الحرارة منسوبة إلى ١ كغ من الشحنة
Kg	كيلو غرام (كغ)
R	ثابت لغازات، نصف قطر المرفق
$R(=\mu R)$	ثابت الغازات العام
r	نصف القطر، النسبة الحجمية لغاز ما في نواتج الاحتراق
S	الانتروبي، طول شوط المكبس
s	سطح جبهة اللهب
T	درجة الحرارة المطلقة، عزم الدوران
t	درجة الحرارة المثوية، الزمن
U	الطاقة الداخلية للهواء
U''	الطاقة الداخلية لنواتج الاحتراق
u	سرعة انتقال اللهب، الطاقة الحرارية الداخلية النوعية
v	الحجم، السرعة
W	العمل، كمية الماء (بخار الماء) الموجود في الوقود، واط
w	السرعة

الرموز اليونانية

a	معامل فائض الهواء
γ_r	معامل الغازات المتبقية
δ	نسبة التمدد
ε	نسبة الانضغاط، معامل النقل
η	الجودة (المردود)
θ	الزاوية (دوران العمود المرفقي)
λ	نسبة ازدياد الضغط تحت حجم ثابت
μ	الوزن الجزيئي، معامل التغيرات المولي، معامل التصريف
ν	اللزوجة الكينماتيكية
ξ_z	معامل مقاومة الجريان، معامل الاستفادة من حرارة الاحتراق
ρ	نسبة التمدد تحت ضغط ثابت، الكثافة
σ	التوتر السطحي، كمية الوقود المحقونة لكل دورة في محرك الديزل
τ	فترة (زمن) تأخر الاشتعال، عدد أشواط المحرك الترددي
χ	معامل انطلاق الحرارة
$\phi (\phi)$	زاوية دوران العمود المرفقي، معاملات ثابتة
ϕ_i	فترة تأخر الاشتعال مقيسة بدراجات دوران العمود المرفقي

الرموز الدليلية (السفلية)

<i>a</i>	للواء، لبداية شوط الضغط
<i>b</i>	لنهاية شوط التمدد
<i>c</i>	لنهاية شوط الضغط
<i>cyc</i>	للدورة
<i>cyl</i>	للأسطوانة
<i>e</i>	فعلي، فعال
<i>f</i>	للقود
<i>h</i>	عليا
<i>i</i>	بياني
<i>id</i>	لحالة اللاحمل
<i>l</i>	دنيا
<i>M</i>	ميكانيكي
<i>m</i>	وسطي، متوسط
<i>max</i>	أعظمي
<i>min</i>	أصغري
<i>O</i>	للظروف الجوية الطبيعية
<i>r</i>	للغازات المتبقية
<i>.</i>	
<i>t</i>	حراري
<i>th</i>	نظري
<i>z</i>	لنهاية عملية الاحتراق
<i>I, II, III, IV</i>	لمراحل الاحتراق في المحركات الترددية



المصطلحات العلمية

- A -

ACCELERATION	التسارع
ANGULAR -	التسارع الزاوي
LINEAR -	التسارع الخطي
ACCELERATOR	معجل - تعجيل
- PEDAL	دراسة التعجيل
PUMP	نظام التعجيل (في المغذى)
- SYSTEM	مضخة التعجيل (في المغذى)
ACTIVATED (CARBON)	(كربون) منشط
ACTIVATION	تنشيط
- ENERGY	طاقة التنشيط
ADDITIVE	مادة مضافة
ANTISMOKE	مادة مضافة لمنع ظهور الدخان
ADIABATIC	ادياباتي (اجراء بدون تبادل حراري)
COMPRESSION -	ضغط ادياباتي
- EXPANSION	تمدد ادياباتي
-PROCESS	إجراء ادياباتي
AD-SYSTEM	نظام لتحضير الشحنة في محركات دريتز متعددة الوقود
ADVANCE	تسبيق - تقديم
CENTRIFUGAL-DEVICE	آلية تسبيق طاردة مركزية
INITIATION	(زاوية) تسبيق الاشتعال (محرك بنزين)
IGNITION - DEVIDE	آلية تسبيق الاشتعال
INJECTION	(زاوية) تسبيق الحقن (محرك ديزل)
INJECTION -DEVICE	آلية تسبيق الحقن
VACUM - DEVICE	آلية تسبيق فراغية (تخلطية)
AFTERBURNING	مرحلة الاحتراق النهائية في محرك الديزل
AIR	الهواء
- BLEED	فتحة معبرة لدخول الهواء (المغذي)
DILUTION	هواء التمديد للغازات في التوربين الغازي
- INLET	مدخل الهواء (المغذي)
- FILTER	مصفاة (فلتر) الهواء
PRIMARY	الهواء الأولي في غرفة الاحتراق للتوربين الغازي
SECONDARY	الهواء الإضافي (الثانوي) في غرفة الاحتراق للتوربين الغازي

AER RESISTANCE	مقاومة الهواء
- COEFFICIENT	معامل مقاومة الهواء
ALDEHYDES	الالديهيدات
ALPHA(a)- METHYLNAPHTHALENE	مركب الفا مثيل النفثالين
ALUMINIUM	الألمنيوم
SINTERED	الألمنيوم الملبد
ANGLE	زاوية
CRANK – (c.a)	زاوية دوران العمود المرفقي
- OF INCIDENCE	زاوية الورود (السقوط)
ANNULUS	مجرى طوقي (حلقي)
TOOTHED	طوق مسنن (حلقة مسننة)
ANTIKNOCK VALUE	خاصية مقاومة الصفع
ARMATURE	المتحرض، عضو الإنتاج الكهربائي (ارماتو)
AROMATICS	المركبات العطرية في النفط الخام
ARTICULATED	مفصلي، متمفصل
ASSEMBLY	مجموعة
ATOMIZATION	تذيرير – تفتيت الى حبيبات دقيقة
- CHARACTERISTICS	خواص التذيرير
ATOMIZER	فوهة تذيرير - مذرر
AUTOIGNITION	الاشتعال الذاتي للوقود
AUTOMOTIVE	آلي-متحرك-سيار
- ENGINE	محرك آلية (سيارة)

- B -

BALANCE	توازن-موازنة
ENGINE-	موازنة المحرك
HEAT-	الموازنة الحرارية
BARIUM	الباريوم
- COMPOUNDS	مركبات الباريوم
BARREL	اسطوانة مضخة الضغط العالي في محرك الديزل
BATTERY	مدخرة-بطارية
BEARING	محمل-رولمان
BIG END	محمل القسم الكبير (السفلي) لذراع التوصيل
NEEDLE	محمل ابري
SLIDE -	محمل منزلق
SMALL END -	محمل القسم الصغير (العلوي) لذراع التوصيل
BLADE (VANE)	ريشة-شفرة
- ANGLE	زاوية الريشة
CONSTANT - ANGLE	زاوية ثابتة للريشة
GUIDE - S	ريش توجيه

INLET GUIDE - S	ريش دخول موجهة
MOVING - S	ريش متحركة
- ROOT	جذر الريشة
STATIONARY - S	ريش ثابتة
- TOP	قمة (رأس) الريشة
BLOW – BY (GASES)	الغازات المتسربة إلى علبة المرفق (من الأسطوانة)
BRAKE	فرملي-فعال
- FACTORS	العوامل الفعالة
- (HORSE) POWER (BHP)	الاستطاعة الفعالة
- MEAN EFFECTIVE PRESSURE (BMEP)	متوسط الضغط الفعال
-SPECIFIC FUEL CONSUMPTION (BSFC)	الاستهلاك النوعي الفعال
- THERMAL EFFICENCY	الجودة (الحرارية) الفعالة للوقود
- TORQUE	العزم الفعال

- C -

CALORIFIC VALUE	القيمة الحرارية (للوود)
HIGHER -	القيمة الحرارية العليا (للوود)
LOWER -	القيمة الحرارية الدنيا (للوود)
CAM	حدبة - كامة
CONTACT – BREAKER -	كاما فاصل التيار
- RING	حلقة كامية (في مضخات الوقود)
- SHAFT	محور للكامات
CANISTER	علبة - حاوية
CAP	غطاء - قلنسوة
- NUT	غطاء صامولي
PROTECTING -	غطاء واقى
CAPACITY	سعة
- WELL	الكاس الإضافية في المعوض (المغذي)
CARBIDE	الكربيد
CARBON	الكربون - الفحم
- DIXIDE	ثاني أكسيد الكربون
- MONOXIDE	أول أكسيد الكربون
- PARTICLES	جسيمات الكربون
CARBURETION	عملية مزج الوقود والهواء داخل المغذي
CARBURETOR	جهاز المغذي (الكاربوريتر)
DUAL THROAT -	مغذي ثنائي العنق
ELEMENTARY -	مغذي بسيط
FIXED CHOKE -	مغذي باختناق ثابت المقطع
- ICING	تجلد المغذي
- IDEAL -	مغذي مثالي

TWO – STAGE -
 CARNOUT
 - CYCLE
 CASING
 SPIRAL (VOLUTE)
 EPITROCHOIDAL -
 CATALYST
 NEGATIVE -
 POSITIVE -
 CATAYTIC CONVERTOR
 CERAMICS
 CETANE
 - NUMBER
 - RATING
 CHARACTERISTIC
 CHAMBER
 COMBUSTION -
 FLOAT -
 MIXING -
 PRECOMBUSTION -
 SWIRL -
 CHARGE
 CHOKE (THROAT)
 CLEARANCE
 - VOLUME
 CLUTCH
 FREEWHEELING -
 COBALT
 COEFFICIENT
 COMBUSTION
 - CHAMBER
 CONTINUOUS
 - INTENSITY
 INTERMITTENT -
 - KNOCK (DETONATION
 NORMAL -
 - PROCESS
 RAPID -
 SLOW -

مغذي بمرحلتين
 المهندس الفرنسي كارنو
 دورة كارنو الحرارية
 غطاء-هيكل حاوي
 غطاء حلزوني
 غطاء ابيترو كويدي (محرك وانكل)
 معجل-وسيط (كيميائي)
 وسيط سلبي
 وسيط ايجابي
 مانع وسيطي (معجل)
 السيراميك
 وقود السيتان
 رقم السيتان
 درجة السيتان
 مميز-خاص-خاصة
 حجرة-غرفة
 غرفة الاحتراق
 كاس العوامة (المغذي)
 غرفة المزج (المغذي)
 غرفة الاحتراق المسبقة
 غرفة الاحتراق الدوامية
 شحنة
 اختناق-عنق
 خلوص
 حجم الخلوص للاسطوانة
 قابض-الواصل الفاصل
 قابض عائم
 الكوبالت
 معامل
 احتراق
 غرفة الاحتراق
 احتراق مستمر
 شدة (سرعة) الاحتراق
 احتراق متقطع (دوري)
 ظاهرة الصفع
 احتراق طبيعي
 عملية الاحتراق
 الاحتراق السريع
 الاحتراق السريع

COMBUSTOR	حراق-غرفة الاحتراق
COMPACT	ململم-صغير الحجم والوزن
COMPENSATE	يعوض
COMPENSATING	تعويض
- DEVICE (SYSTEM)	جهاز (نظام) المعوض (المغذي)
COMPRESSION	ضغط-انضغاط
- RATIO	نسبة الانضغاط
- STROKE	شوط الضغط
COMPRESSOR	ضاغط
AIR -	ضاغط هوائي
AXIAL -	ضاغط محوري
CENTRIFUGAL -	ضاغط طارد مركزي
ENGINE - DRIVEN -	ضاغط يدار من قبل المحرك
EXHAUST GAS-DRIVEN-	ضاغط يدار من قبل غازات العادم
CONCENTRIC	كونسنترك (المراكز أو المحاور متطابقة)
CONDUCTION	انتقال
HEAT -	انتقال الحرارة
CONNECTING - ROD	ذراع التوصيل
CONSTANT	ثابت-غير متغير
GAS-	ثابت الغاز
- PRESSURE	ضغط ثابت
- PRESSURE CHARGING	الشحن تحت ضغط ثابت
- VOLUME	حجم ثابت
CONSUMPTION	استهلاك
CONTROL	تحكم-سيطرة-قيادة
- RACK	الجريدة المسننة (في مضخة الوقود)
- SLEEVE	اسطوانة التحكم (في مضخة الوقود)
- UNIT	وحدة التحكم
SORVO - UNIT	وحدة تحكم هيدروليكية مضخة
COOLING	تبريد
- SURFACE	سطح التبريد
- WATER	مادة التبريد
COUNTER	معاكس
BALANCE	الموازنة بآثقال معاكسة
- FLOW	جريان متعاكس (معاكس)
WEIGHT	ثقل موازن
CRACKING	تقطير النفط بالتهشيم (التكسير)
CRANK	المرفق
- ANGLE (c.a)	زاوية دوران العمود المرفقي

- CASE	علبة المرفق
- MECHANISM	الآلية المرفقية
- PIN	المرفق الثانوي
- RADIUS	نصف قطر المرفق (طول ساعد لمرفق)
- SHAFT	العمود المرفقي
CRITICAL	حرج
- PRESSURE	الضغط الحرج
- VELOCITY	السرعة الحرجة
CURVE	منحني (بيان)
CYCLE	دورة حرارية
BRAYTON	دورة براتون
CARNOT -	دورة كارنو
COMPOSITE	الدورة المشتركة (المخلطة)
GENERALIZED -	الدورة العامة
IDEAL AIR-STANDARD -	الدورة الهوائية المثالية
JOULE -	دورة جول
- MEAN PRESSURE	متوسط الضغط للدورة
OTTO -	دورة اوتو
SIMPLE -	الدورة البسيطة
CYLINDER	اسطوانة
- BORE (DIAMETER)	قطر الأسطوانة
- CUT OUT	فصل الاسطوانات
- HEAD	رأس (غطاء) الأسطوانة

- D -

DASHBOARD	لوحة القيادة في السيارة
DENSITY	الكثافة
DETONATION	ظاهرة الصفع (في محركات البنزين)
DIAGRAM	رسم-شكل
INDICATOR -	الرسم البياني لدورة المحرك
POLAR -	الرسم القطبي الشعاعي
DIAMETER	قطر
DIAPHRAGM	غشاء رقيق-رق
DIESEL	ديزل
- CYCLE	دورة ديزل الحرارية
- ENGINE	محرك ديزل (محرك الاشتعال بالضغط)
DIFFUSION	انتشار
DIFFUSOR	ناشر
DIRECT	مباشر
- INJECTION (DI)	حقن مباشر

- INJECTION DIESEL
DISCHARGE

محرك ديزل ذات حقن مباشر
تصريف

- COEFFICIENT
DISPLACEMENT

معامل التصريف
انتقال-مسار

PISYON -
DISSOCIATION
DISTRIBUTOR

انتقال المكبس
التفكك الحراري لجزيئات نواتج الاحتراق
الموزع-موزع

IGNITION
- TYPE FUEL PUMP
DRAFT

موزع الحرارة في محرك البنزين
مضخة وقود موزعة
تيار- جريان

DROPLET
D- SYSTEM

حبيبة
نظام D لتحضير الشحنة في محركات دوينز
ديناميكي

DYNAMIC
- ADAPTABILITY
DYNAMOMETER

التكيف الديناميكي (للمحرك)
جهاز الفرملة (الكابج)-ديناموميتر
جهاز فرملة امتصاصي

ABSORPTION -
EDDY CURRENT -
ELECTRIC SWINGING FIELD-
FRICTION-
HYDRAULIC-
MAGNETIC-

جهاز فرملة دوامي (تيارات فو كو)
جهاز فرملة كهربائي بمجال متأرجح
جهاز فرملة احتكاكي
جهاز فرملة هيدروليكي
جهاز فرملة مغناطيسي

- E -

ECCENTRIC
ECCENTRICITY
ECONOMY SYSTEM
EFFECTIVE

لامركزي-اكسنترك
انزياح التمرکز (مقدار الاكسنترك)
نظام الاغناء (المغذي)
فعال

EFFICIENCY
BRAKE (THERMAL)-
COMPRESSOR -

جودة-مردود
الجودة الحرارية الفرملية
جودة الضاغط

INDICATED (THERMAL)-
MECHANICAL -
RELATIVE -

الجودة (الحرارية) البيانية
الجودة الميكانيكية
الجودة النسبية

STAGE -
THERMAL-
VOLUMETRIC-

الجودة المرحلية (لكل مرحلة)
الجودة الحرارية
الجودة الحجمية

EMULSION
ENDOTHERMIC REACTION
ENERGY
ACTIVAYION-

مستحلب (مزيج من الهواء والوقود غير المتبخر)
تفاعل اندوثيري (مع امتصاص حرارة)
طاقة-قدرة
طاقة للتنشيط

CHEMICAL-	الطاقة الكيميائية
EXCESS-	الطاقة الفائضة
HEAT-	الطاقة الحرارية
INTERNAL-	الطاقة الداخلية
KINETIC-	الطاقة الحركية
MECHANICAL-	الطاقة الميكانيكية
ENGINE	محرك
AIR COOLED-	محرك تبريد الهواء
AUTOMOTIVE-	محرك واسطة نقل (آلية-سيارة)
COMPRESSION IGNITION-	محرك اشتعال بالضغط
DIRECT INJECTION-	محرك ذات حقن مباشر
DUAL FUEL-	محرك ثنائي الوقود
EXTERNAL COMBUSTION-	محرك احتراق خارجي
FOUR-STROKE-	محرك رباعي الأشواط
HEAT-	محرك حراري
HYBRID-	محرك هجين (يجمع بين صفات محرك لبنزيان و الديزل)
INDIRECT INJECTION-	محرك ذات حقن غير مباشر
INDUSTRIAL-	محرك صناعي
INLINE-	محرك اسطواناته مرتبة على خط واحد
INTERNAL COMBUSTION-	محرك احتراق داخلي
- LOAD	حمل المحرك
MARINE-	محرك بحري
MULTIFUEL-	محرك متعدد لوقود
- PERFORMANCE	أداء المحرك
PECIPROCATING PISTON-	محرك مكبسي ترددي
ROCKET-	محرك صاروخي
ROTARY PISTON-	محرك مكبسي دوار (محرك وانكل)
SHORT-STROKE-	محرك قصير لشوط
SPARK-IGNITION	محرك اشتعال بالشرارة
- SPEED	سرعة المحرك
STEAM-	محرك بخاري
STIRLING-	محرك ستيرلنغ
-TORQUE	عزم المحرك
TURBO-JET-	محرك توربيني نفث
TURBO-PROPELLER-	محرك توربيني مروحي
TWO-STROKE-	محرك ثنائي الأشواط
VEE-	محرك اسطواناته مرتبة بشكل حرف V
WANKEL-	محرك وانكل
WATER-COOLED-	محرك تبريد مائي

ENTROPY	الانتروبي
EPITROCHOID	منحني لابيترودي
EQUATION	معادلة-قانون
PERNOULLI-	معادلة برنولي
CONTINUITY-	معادلة استمرارية الجريان
-OF STATE	معادلة الحالة (في الترموديناميك)
EQUILIBRIUM	توازن
EVAPORATION	تبخر
EXCESS	فائض
- AIR	فائض الهواء
- AER COEFFICIENT	معامل فائض الهواء
- ENERGY	طاقة فائضة
- WORK	عمل فائض
EXHAUST	العادم
- GASES	غازات العادم
- MUFFLER	كاتم صوت العادم
- PORT	فتحة العادم
- STROKE	شوط العادم (الطرد)
- TURBO-CHARGER	شاحن توربيني يدار من قبل غازات العادم
- VALVE	صمام العادم
EXOTHERMIC REACTION	تفاعل اكزوترمي (مع انطلاق حرارة)
EXPANSION	تمدد
ADIABATIC-	تمدد ادياباتي
POLYTROPIC-	تمدد بوليتروبي
-RATIO	نسبة التمدد
- STROKE	شوط التمدد
- F -	
FACTOR	عامل-مؤشر
BRAKE- S	العوامل الفعالة (الفرملية) للمحرك
CHARACTERISTIC - S	العوامل المميزة للمحرك
INDICATED -S	العوامل البيانية للمحرك
FERROTIC	الفيروتيكي (مادة مؤلفة من كربيد التيتانيوم والحديد)
FILTER	مصفاة-مرشح-فلتر
AIR -	مصفاة الهواء
FUEL -	مصفاة الوقود
OIL -	مصفاة الزيت
FIRING ORDER	ترتيب الاشتعال في المحرك
FLAME	لهب-شعلة
COLD -	اللهب البارد

- FRONT	جبهة اللهب
HOT -	اللهب الحار
-PROPAGATION	انتشار (جبهة اللهب)
FLAMMABILITY	قابلية الاشتعال
FLOAT	العوامة (في كأس العوامة المغذي)
- CHAMBER	كأس العوامة
FLOW	جريان- تدفق
FORCED-VORTEX-	تدفق دوامي قسري
FREE-VORTEX-	تدفق دوامي حرا
STEADY-	تدفق مستقر
FLUCTUATION	تغير-تبدل-تذبذب
SPEED-	تغير السرعة
FLYWHEEL	الحدافة
FM-SYSTEM	نظام FM حضير الشحنة في محركات مان
FORCE	قوة
CENTRIFUGAL-	قوة طاردة مركزية
GAZ-	قوة ضغط الغاز
INERTIA-S	قوى العطالة
RADIAL-	قوى قطرية (باتجاه ساعد لمرافق)
REACTIVE-	قوة رد لفعل
TANGENTIAL-	قوة مملاسية
THRUST (PROPULSION)-	قوة دافعة
FUEL	وقود
- ACCUMULATOR SYSTEM	نظام المجتمع لحقن الوقود في محرك ديزل
- ATOMIZATION	تذير للوقود
- CONSUMPTION	استهلاك الوقود
DIESEL-	وقود الديزل (المازوت)
- INJECTION SYSTEM	نظام حقن الوقود
- PUMP	مخضنة الوقود
- TANK	خزان الوقود
FULL THROTTLE POSITION	وضعية صمام التحكم مفتوح كليا
FURNACE	فرن_ انون

-G -

GAS	غاز
BLOW-BY-ES	الغازات المتسربة من الأسطوانة الى علبة المرفق
- CONSTANT	ثابت الغاز
CRANKCASE-ES	غازات علبة المرفق
- EXCHANGE	التبادل الغازي (السحب والطررد)
EXHAUST-ES	الغازات العادم

- GENERATOR UNIT
INDUSTRIAL-
NATURAL-
RESIDUAL-ES
-SEAL
- TURBINF
GEAR
GEARBOX
GLOWING SURFACES
GOVERNOR
ALL-SPEED-
HYDRAULIC-
MECHANICAL-
PNEUMATIC-
SINGLE-SPEED-
TOW-SPEED-
GRAPHITE
GROOVE
HELICAL-
GUDGEON PIN

وحدة توليد الغاز في التوربين الغازي
الغاز الصناعي
الغاز الطبيعي
الغازات المتبقية
مانع تسرب الغازات
توربين غازي
مسنن ترس
علبة المسننات (السرعة)
السطوح المتوهجة (في غرفة الاحتراق)
منظم السرعات
منظم متعدد السرعات
منظم هيدروليكي
منظم ميكانيكي
منظم هوائي
منظم وحيد السرعة
منظم ثنائي السرعة
الغرافيت
خدود مجرى فرضة
خدود حلزوني
محور (اصبع) المكبس، البنز

- H -

HARMONIC MOTION
HARTTRIDGE SCALE
HEAT
- BALANCE
- CAPACITY
- ENGINE
- RECEIVED
- REJECTED
- SINK
- SOURCE
-UTILIZATION
HEAT EXCHANGER (HE)
COUNTER FLOW--
ROTARY--
TUBULAR--
HEAT RELEASE
CUMULATIVE--
RATE OF --

حركة دورية
مقياس هارتريدج لمستوى الدخان
حرارة
الموازنة الحرارية
السعة الحرارية
محرك حراري
الحرارة المعطاة للدورة الحرارية
الحرارة المطروقة من الدورة الحرارية
مغطس حراري خارجي
مصدر حراري خارجي
الاستفادة من حرارة الاحتراق
مبادل حراري
مبادل حراري يجري معاكس
مبادل حراري دوار
مبادل حراري أنبوبي
انطلاق (تحرر) الحرارة نتيجة لعملية الاحتراق
معامل انطلاق الحرارة
معدل (سرعة) انطلاق الحرارة

HEATING VALUE	القيمة الحرارية للوقود
HIGHER--	القيمة الحرارية العليا للوقود
LOWER--	القيمة الحرارية الدنيا للوقود
HELIX	حلزون-الخدود الحلزوني على مكبس مضخة الوقود
METERING-	المجرى الحلزوني لمعايرة كمية الوقود
HEPTANE	وقود الهيتان
(HORSE) POWER (HP)	الحصان الميكانيكي (وحدة الاستطاعة)
BRAKE—(BHP)	الاستطاعة الفعلية
FRICTIONAL—(FHP)	الاستطاعة المفقودة نتيجة للاحتكاك
INDICATED—(IHP)	الاستطاعة البيانية
HYBRID	هجيني
HYDROCARBONS	الهيدروكربونات
HYPTROCHOID CURVE	منحني الهيبتروكيد

- I -

ICE (INTERNAL COMBUSTION ENGINE)	محرك الاحتراق الداخلي
IDLING	عمل المحرك بدون حمل (حالة اللاحمل)
- POSITION	وضعية اللاحمل لصمام التحكم
- SPEED	سرعة اللاحمل
- SYSTEM	نظام اللاحمل (في المغذي)
IGNITION	اشتعال
- ADVANCE	زاوية تسبيق الاشتعال
- DELAY (LAG)	فترة تأخر الاشتعال
IMPELLER (RUNNER)	الدفاع (العجلة الدوارة)
INDICATOR	جهاز المبيّن
- CARD	بطاقة جهاز المبيّن
- DIAGRAM	الرسم البياني لدورة المحرك
ELECTRONIC-	جهاز مبيّن إلكتروني
ELECTRO-PNEUMATIC-	جهاز مبيّن كهربائي-هوائي
INERTIA	عطالة
- FORCES	قوى العطالة
MOMENT OF	عزم العطالة
INLET	مدخل
INLINE ENGINE	محرك اسطواناته مرتبة على خط واحد
INJECTION	حقن
- ADVANCE	زاوية تسبيق الحقن
AIR-BLAST-	نظام الحقن الهوائي للوقود
- CHARACTERISTICS	خواص (قانون) الحقن

DIRECT	حقن مباشر
- DURATION	فترة (استمرار) الحقن
FUEL-	حقن الوقود
INDIRECT-	حقن غير مباشر
- NOZZLE	فوهة الحقن
PILOT-	الحقن الدليلي للوقود
STEP-	الحقن المدرج
WATER-	حقن الماء
INJECTOR	حاقن (بخاخ)
- BODY	جسم الحاقن
CLOSED-TYPE-	حاقن من النوع المغلق
OPEN TYPE-	حاقن من النوع المفتوح
INTERCOOLING	عملية التبريد المرحلي- التبريد المتوسط
ISENTROPIC PROCESS	إجراء ايزنتروبي (الانتروبي ثابت)
ISO-OCTANE	وقود الايزو أوكتان
ISOTHERMAL PROCESS	إجراء ايزوثيرمي (درجة الحرارة ثابتة)
-J-	
JERK PUMP	مضخة وقود نابضة (محرك الديزل)
JET	نافورة
FUEL-	نافورة الوقود
MAIN-	النافورة الرئيسية
- K -	
KNOCK (ING)	الصفع-الطرق
ENGINE-	ظاهرة الصفع في محرك البنزين
DIESEL-	ظاهرة الطرق في محرك الديزل (خشونة العمل)
-L -	
LEAD	الرصاص
- COMPOUNDS,	مركبات الرصاص
LEVER	ذراع - ساعد
CONTROL-	ذراع التحكم (السيطرة)
LINKAGE	ارتباط - وصلة
LOSSES	ضياعات - مفاقد
- M -	
MAIN	رئيسي - أساسي
MANGANESE	المنغنيز
MANIFOLD	مجمع - وصلة عامة
EXHAUST-	مجمع أنابيب الطرد
INLET-	مجمع أنابيب السحب
MASK	حاجز - قناع

MASS	كتلة
MEAN	وسطي- متوسط
MIXTURE	خليط – مزيج (من الهواء والوقود)- شحنة
- FORMATION	تشكيل الشحنة
HOMOGENOUS-	شحنة متجانسة
LEAN-	شحنة فقيرة بالوقود
RICH-	شحنة غنية بالوقود
-STRENGTH	تركيب (تركيز) الشحنة
MOLE (GRAM MOLECULE)	جزيء غرامي
MOLAR CHANGE	التغير المولي (تغير حجم الغازات نتيجة للاحتراق)
MOLYBDENUM	الموليبدوم
MOMENT	عزم – مزدوجة القوى
- OF INERTIA	عزم العطالة
TILTING-	عزم القلب في المحرك
MOMENTUM	كمية الحركة (التحرك)
ANGULAR-	كمية الحركة الزاوية
RATE OF CHANGE OF	معدل تغير كمية الحركة
MOTION	حركة
M-SYSTEM	نظام M لتحضير الشحنة (التحضير السطحي للشحنة)
MUFFLER	كاتم الصوت

- N -

NAPHTHENES	مركبات النفثانات في الوقود الخام
NATURALLY ASPIRATED ENGINE	محرك بتغذية طبيعية
N-HEPTANE	الهبتان العادي
NICKEL	النيكل
NITROGEN	الآزوت
- DIOXIDE	ثاني أكسيد الآزوت
- OXIDES	أكاسيد الآزوت
NITRIC OXIDE	أول أكسيد الآزوت
NITROUS ACID	حامض النيتروز (أزوتوز)
NOISE	ضجيج - ضجة
ENGINE-	ضجيج المحرك
- LEVEL	مستوى الضجيج
NOZZLE	فوهة
-CAP NUT	صامولة تثبيت الفوهة
INJEYION-	فوهة الحقن
- OPENING PRESSURE	الضغط الذي تفتح عنده فوهة الحقن
PILOT-INJECTION	فوهة الحقن الدليلي
PINTAUX-	فوهة بينتوكس (فوهة بينتل معدلة)

PINTLE-	فوهة بينتل (بمحور ارتكاز رأسي)
NUT	صامولة
CAP-	غطاء صامولي
LOCK-	صامولة زلق (تثبيت)

- O -

OCTANE	اوكتان
ISO-	الايزو اوكتان (وقود بمقاومة جيدة للصفع)
-NUMBER	رقم الاوكتان
- RATING	درجة الاوكتان
ORIFICE	فتحة - ثقب
CALIBRATED-	فتحة معبرة
OUTLET	مخرج - منفذ
PROGRESSION-	فتحة الانتقال من اللاحمل الى الحمل
SLOW-RUNING-	فتحة السرعة البطيئة عند اللاحمل في المغذي
OXIDATION	أكسدة
OXYGEN	الاوكسجين
OZONE	الاوزون (جزء مشكل من ثلاث ذرات من الاوكسجين)

- P -

PARAFINS	المركبات البارافينية في النفط الخام
PARALLELOGRAM	متوازي الأضلاع
- OF FORCES	متوازي أضلاع القوى
PART	جزء - جزئي
- LOAD	حمل جزئي
- THROTTLE POSITION	وضعية صمام التحكم (مفتوح جزئياً)
PARTICULATES	جسيمات قاسية
PASSAGE	ممر - معبر
LONGIUDINAL-	ممر طولي
PEDAL	دواسة
ACCELERATOR-	دواسة التعجيل (في السيارة)
PENETRATION	اختراق - تغلغل
FUEL SPRAY-	اختراقية نافورة الوقود
PERFORMANCE	أداء
- CURVES	منحنيات الأداء
ENGINE-	أداء المحرك
PEROXIDE	البيروكسيد (مركب غني بالاوكسجين) - فوق أوكسيد
PETROL	وقود البنزين
- ENGINE	محرك بنزين
- INJECTION SYSTEM	نظام حقن الوقود في محرك البنزين
PIN	محور صغير - مسمار - دسار

COTTER-	مسمار مشقوق (للتثبيت)
CRANK	المرفق الثانوي_ دسار المرفق
GUDGEON-	أصبع (بنز) المكبس (بين المكبس وذراع التوصيل)
KNUCHLE-	محور ذراع التوصيل الثانوي في المحرك
PINKING	الصوت الناتج عن ظاهرة الصفع
PIPE	أنبوب - قسطل
FEED-	أنبوب تغذية
LAMINATED-S	أنابيب صفائحية(أقطار مختلفة ومحور واحد)
SPILL-	أنبوب رجوع الفائض
TAIL-	الأنبوب الخلفي (للسيارة أو لمحرك الطائرة النفاثة)
PISTON	مكبس
- ACCELERATION	تسارع المكبس
- DISPLACEMENT	انتقال المكبس
MEN- SPEED	سرعة المكبس الوسطية
ROTARY	مكبس دوار
- VELOCITY (SPEED)	سرعة المكبس
PLANIMETER	مقياس المسطحات (بلانيميتير)
PLUNGER	مكبس مضخة الوقود ذات الضغط العالي
POLLUTANT	منصر ملوث - ملوث
POLLUTION	تلوث
AIR-	تلوث الهواء
POLYTROPIC	بوليتروبي
- COMPRESSION	ضغط بوليتروبي
- EXPANSION	تمدد بوليتروبي
- PROCESS	اجراء بوليتروبي
PORCELAINE	بورسلان
PORT	مجرى - فوهة
DIRECTIONAL-	مجرى سحب فوهة
INDUCTION (INLET)	مجرى الدخول(السحب)
OUTLET(EXHAUST)-	مجرى الخروج (العام)
SPILL-	فتحة لتصريف (الفائض)
SPIRAL-	مجرى سحب حلزوني
VORTEX-TYPE-	مجرى سحب دوراني
PPM (PART PER MILLION)	جزء من المليون حجماً
PREIGNITION	الإشعال المبكر
PRESSURE	ضغط
BACK-	ضغط معاكس
BOOST-	ضغط الشحن (القسري)
BRAKE MEAN EFFECTIVE-(BMEP)	متوسط الضغط الفعال

CYCLE MEAN

- GALLERY

INDICATED MEAN EFFECTIVE-

- RAYIO

RESIDUAL-

PRESSURE RISE

RATE OF--

PUMP

DISTRIBUTOR-

FEED-

FUEL-

HIGH-PRESSURE-

- INJECTOR UNIT

JERK-

LIFT-

PLUNGER-TYPE-

POSITIVE DISPLACEMENT-

PRIMING-

- ROTOR

TRANSFER-

-Q-

QUARTZ

FUSED

QUENCH

- AREA

- R -

RADIAL

RADIATOR

RACK

RADICAL

RADIUS

RAM EFFECT

RATE

RATING

CETANE-

NOMINAL

OCTANE-

REACTION

BIOMOLECULAR-

متوسط الضغط للدورة

غرفة الضغط (في مضخة الوقود)

متوسط الضغط البياني

نسبة الضغط (في الضاغط)

الضغط المتبقي

ارتفاع الضغط

معدل (سرعة) ارتفاع الضغط

مضخة

مضخة موزعة

مضخة تغذية

مضخة وقود

مضخة ضغط عالي

وحدة مضخة/حاقن

مضخة نابضة (مضخة الضغط العالي)

مضخة رافعة

مضخة وقود بصمام (مكبس) منزلق

مضخة وقود بصمام منزلق

مضخة تجهيز (تحضير)

محور المضخة (الموزعة)

مضخة تحويل

كوارتز

كوارتز مصهور

يخمد - يكبح

المنطقة المخددة (الكابحة) للصفح

قطري - باتجاه القطر

مبرد - رادياتور

الجريدة المسننة (في مضخة الوقود)

أساس كيميائي

نصف قطر دائرة

ظاهرة الهواء المتضاغط (رام)

معدل - سرعة

درجة - تقدير

درجة السيتان للوقود

الشروط الاسمية (من سرعة واستطاعة) للمحرك

درجة الاوكتان للوقود

تفاعل - رد فعل

تفاعل ثنائي الجزيئات

CHAIN-	تفاعل تسلسلي
CHEMICAL-	تفاعل كيميائي
DEGREE OF-	درجة رد الفعل (في التوربين)
- TURBINE	توربين رد فعلي (ارتكاسي)
REACTOR	مفاعل – مانع تلوث
CATALYTIC-	مفاعل وسيطي
THERMAL-	مفاعل حراري لمنع التلوث
RECIPROCATING MOTION	حركة ترددية
RECIRCULATION	اعادة تدوير
EXHAUST- GAS-(EGR)	اعادة تدوير غازات العادم الى اسطوانة المحرك
REGENERATION	الاسترجاع الحراري في التوربينات
REHEATER	وحدة اعادة التسخين
REHEATING	إعادة التسخين
RECIPROCATING	ترددى
RETARD	تأخير - تعويق
IGNITION-	(زاوية) تأخير الاشتعال
INJECTION-	(زاوية) تأخير الحقن
REVERSIBLE	انعكاسي
REVERSIBILITY	خاصية الانعكاس
RIM	إطار – حافة خارجية
HEAVY-	أطار ثقيل
HEAVY-FLYWHEEL	حدافة باطار ثقيل
ROD	ذراع
CONNECTING-(CONROD)	ذراع التوصيل في المحرك الترددي V
LINK-	ذراع التوصيل الثانوي في محرك V
MASTER-	ذراع التوصيل الرئيسي في محرك
ROLLING	تدحرج – دروج (الآلية)
- COEFFICIENT	معامل التدحرج للسيارة
ROOTS BLOWER	ضاغط روتس
ROTOR	محور – عمود دوار
ROUND OFF	يكور - يقرب
RUNNER (IMPELLER)	الدفاعة – العجلة الدوارة للمضخة

- S -

SCAVENGER	مضخة كاسحة
SCAVENGING	عملية كسح الأسطوانة من بقايا الاحتراق
SCREW	لولب - بزال
SEAL	مانعة تسرب
GAS-	مانعة تسرب الغازات

SEPARATION	انفصال
SERVO CONTROL UNIT	وحدة تضخيم هيدروليكية
SERVO MECHANISM	آلية تضخيم (مضاعفة) الحركة هيدروليكية
SHAFT	محور - عمود
CAM-	محور (عمود) الكامات
OUTPUT-	محور القدرة (المعطة للمستهلك)
SILICON	سيليكون
SLUDGE	كدارة - حماة (مادة سوداء لزجة ناتجة عن خفق الزيت والماء في علبة المرفق)
SMOG	سموغ (ضباب صناعي ناتج عن تلوث الهواء)
SOOT	هاباب الفحم
SPRAY	نافورة
FUEL-	نافورة الوقود
- HOLES	فتحات التذير
SPARK	شرارة
- ADVANCE	تقديم الشرارة
- PLUG	شمعة الاحتراق
- RETARD	تأخير الشرارة
SPEED	سرعة
SPEED CURVES	منحنيات السرعة
ABSOLUTE--	منحنيات السرعة الحدية المطلقة
CONTINUOUS RATING--	منحنيات السرعة الحدية الاستثمارية
PART LOAD--	منحنيات السرعة الجزئية
SMOKE-LIMITED--	منحنيات السرعة الحدية لظهور الدخان
SPINDLE	مسمار - محور طويل
SPRING	نابض
SQUISH	حركة الهواء المحورية الى داخل غرفة الاحتراق عندما يتحرك الكبس إلى TDC
- AREA	منطقة المزيج في غرفة الاحتراق
BACK	حركة الهواء المعاكسة من غرفة الاحتراق عندما يبتعد الكبس عن TDC
STAGE	مرحلة
MULTI-	متعدد المراحل
SINGLE-	وحيد المرحلة
START	اقلاع
COLD-	الاقلاع البارد
STATOR	الجزء الثابت من الآلة الدوارة
STOICHIOMETRIC MIXTURE	شحنة من الهواء والوقود بنسبة
STORE	يحفظ - يخزن

STROKE
 SUPERCHARGER
 SUPERCHARGING
 COMPOUND-
 EXHAUST-(TURBOCHARGING)
 MECHANICAL
 SUPPORTS
 SURFACE
 COOLING - S
 - TENSION
 SWEEPED VOLUME
 SWIRL
 AIR-
 - COMBUSTION
 SYNCHROMESH

شوط المكبس
 وحدة الشحن القسري
 الشحن القسري
 الشحن المختلط
 الشحن التوربيني
 الشحن الميكانيكي
 مساند - دعامات
 سطح
 سطوح التبريد
 التوتر السطحي
 الحجم المزاح - (الفعال) للمحرك
 دوامة - دوران
 دوامة هوائية
 غرفة احتراق دوامية
 تعشيق تزامني للمسننات

- T -

TACHOMETER
 TANTALUM
 TEMPERATURE
 TETRAETHYLLLED (TEL)
 TETRAMETHYLLEAD (TML)
 THERMAL
 - CALCULATION
 - EFFICIENCY
 THERMODYNAMICS
 FIRST LAW OF-
 SECOND LAW OF-
 THROAT
 PRIMARY-
 SECONDARY-
 THROTTLE
 THROTTLING
 TITANIUM
 TOP DEAD CENTER (TDC)
 TORQUE
 TOTAL VOLUME
 TRIHEDRAL
 TUBE
 TUNGSTEN

جهاز قياس سرعة الدوران
 التانتوم
 درجة الحرارة
 رابع اتيل الرصاص
 رابع ميثيل الرصاص
 حراري
 الحساب الحراري
 الجودة الحرارية
 التيرموديناميك
 القانون الأول للتيرموديناميك
 القانون الثاني للتيرموديناميك
 عنق - اختناق
 عنق أساسي
 عنق ثانوي
 صمام التحكم (القرصي) في محرك البنزين
 ظاهرة الخنق
 التيتانيوم
 النقطة الميتة العليا للمكبس
 عزم الدوران - عزم القتل
 الحجم الكلي لاسطوانة المحرك
 ثلاثي السطوح
 أنبوب
 التنغستن

TURBINE
AUTOMOTIVE GAS-
AXIAL FLOW
COMPRESSOR-(CT)
GAS-(GT)
IMPULSE-
INDUSTRIAL GAS-
JET PROPULSION GAS-
MIXED FLOW-
POWER – (PT)
RADIAL FLOW-
REACTION-
SINGLE-SHAFT GAS-
THREE-SHAFT GAS-
TWO-SHAFT GAS-
TURBOCHARGER
TURBOCHARGING
CONSTANT-PRESSURE-
IMPULSE-
TURBULENCE
TIRBULEMT
- FLOW

توربين - عنفة
محرك توربيني للسيارات
توربين محوري (جريان محوري)
توربين للمضاغط
توربين غازي (محرك)
توربين دفعي
توربين غازي صناعي
توربين غازي نفاث
توربين ذات الجريان المختلط
توربين القدرة
توربين قطري (جريان قطري)
توربين رد فعلي (راتكاسي)
توربين غازي بمحور واحد
توربين غازي بثلاثة محاور
توربين غازي بمحورين
الشاحن القسري التوربيني
الشحن القسري التوربيني
الشحن التوربيني تحت ضغط ثابت
الشحن التوربيني الدفعي
اضطراب - هيجان
مضطرب - هائج
جريان مضطرب

- V -

VALVE
BY-PASS-
CORRECTOR-
DELIVERY-
EXHAUST-
- GUIDE
- HOLDER
INLET-
MASKED-

صمام
صمام مساعد (فرعي)
صمام (تصريف) مصحح
صمام تصريف
صمام طرد (عادم)
دليل (مرشد) الصمام
ماسك الصمام
صمام الدخول
صمام (سحب) مع حاجز

METERING-	صمام معايرة
NEEDLE-	صمام ابري
OUTLET-	صمام خروج
OVERHEAD-	صمام علوي
- OVERLAP	تداخل (توافق فتح) صمامات السحب والطررد
PURGE-	صمام كسح
RETURN-	صمام رجوع
- SEAT	مقعد الصمام
SIDE-	صمام جانبي
SOLENOID-	صمام بملف لولبي
- SPINDLE	مسمار لدفع في صمام الحاقن
- SPRING	نابض الصمام
THROTTLE-	صمام التحكم (القرص) في محرك البنزين
- TIMING	توقيت (فتح وإغلاق) صمامات السحب والطررد
VANE	شعرة - ريشة
VAPOUR	بخار (الوقود)
- RECOVERY SYSTEM	نظام استرداد بخار الوقود في السيارة
VEE ENGINE	محرك اسطوانات مرتبة بشكل حرف V
VELOCITY	سرعة
ANGULAR-	سرعة زاوية
CRITICAL-	سرعة حرجة
- ENERGY	الطاقة الحركية
- HEAD LOSS	الضياح الناتج عن سرعة الحركة
- TRIANGLE	مثلث السرعات
WHIRL	المركب المماسي لسرعة الجريان المطلقة
VISCOSITY	اللزوجة
VENTILATION	تهوية
DYNAMIC-	اللزوجة الديناميكية
POSITIVE CRANKCASE-(PCV)	التهوية الايجابية لعلبة المرفق
KINEMATIC-	اللزوجة الكينماتيكية
- SYSTEM	نظام التهوية
VOLATILS	قابل للتطاير (التبخر)
VENTURI	فنتوري
VOLATILITY	قابلية التطاير (التبخر)
POWER-	صمام القدرة (وحدة الانماء)
VOLUME	حجم
STRANGLER (CHOKE) DICK-	صمام اختناق قرصي (وحدة الإقلاع)
CLEARANCE-	حجم الخلوص في اسطوانة المحرك

SWEPT-
TOTAL-
UNLOADING-
VOLUMETRIC
- EFFICIENCY

الحجم المزاح (الفعال) من قبل المكبس
الحجم الكلي للاسطوانة
الحجم المرغ (في صمام التصريف)
حجمي
الجودة الحجمية

- W -

WAVE
PRESSURE-S
SHOCK-S
WEAR
CRANK PIN-
WEIGHT
WORK
CYCLE-
ENGINE-

موجه
موجات الضغط
موجات صدمية
تآكل - إهتراء
تآكل المرفق الثانوي
وزن - ثقل
عمل
عمل الدورة
عمل المحرك

- Z -

ZIRCONIUM

الزيركونيوم



- المراجع -

١. د. لوكانين ب.ن وآخرون
الداخلي - المدرسة العليا موسكو ٢٠٠٧
٢. د. أورلين. آ. وآخرون
المكبسية-تضييع الآليات- موسكو ١٩٨٤
٣. د. هوفاخ. م.
- موسكو ١٩٧٧
٤. د. كروتون. ب
محركات الاحتراق الداخلي موسكو ١٩٨٩
٥. د. لوتكو. ب. لوكانين ب
الوقود المختلفة في محركات الاحتراق الداخلي
موسكو ٢٠٠٠ .
٦. د. ماروزوف. ك.
السيارات موسكو - ٢٠٠١
٧. د. باكروفسكي. ج.
محركات السيارات موسكو - ١٩٩٤

اللجنة العلمية :

- أ. د أحمد فايز الزبيق .
- أ. د مسلم طعمة .
- أ. د محمد سعيد السابق .

المدقق الخوي :

- أ. د محمد موعد .

حقوق الطبع والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات



