Ausgewählte Kapitel aus der theoret. Masch. lehre (Luftmotoren)

Albrecht, Otto

[S.l.], [ca. 1890]

[Text]

Die Gesamtarbeit (ℭ) (indizierte) ergab sich bei der Riedermasch. gross (doppel) Stufe zu:

$$\mathfrak{E} = \frac{k-1}{k(1+q)}\,\mathfrak{E}\;;\quad q = \frac{C_3 \cdot T_2}{vT'}\;;\quad v \text{ die } \Sigma v \quad v_x, v_y, v_z.$$

T' mittlere absol. Temp. im Regenerator.

Für die Arb. im heißen Cyl. bei 1 Spiel:

$$\mathfrak{E}_1 = \frac{\pi b C_1}{\varepsilon}\left(\frac{1}{\sqrt{1-\varepsilon^2}} - 1\right)\sin\beta .$$

C_1 der Hubvol. des heißen Cyl.; b war hier ein zusätzlicher gegebener Ausdr., der früher vorkam.

$$\varepsilon\cos\beta = \frac{a+\cos\alpha}{a+1}\;;\quad \varepsilon\sin\beta = \frac{\sin\alpha}{a+1}$$

$$a = \frac{1+kq}{k(1+q)}\,\frac{C_1}{C_2}\;;$$

der kleinste in der Masch. vorkommende Druck ist der atmosph. Druck; kleiner kann er nicht sein, da durch die Liderungen atmos. Luft einströmt. Das Verh. der $\frac{p_1}{p_2}$ ist höchstens $= 5$; wenn p_1 = der größte Druck; ist meistens gegeben.

In dem Augenblick, wo $v_x = 0$, soll der Spiel begonnen werden; In diesem Augenblick ergab sich der Druck:

$$p = \frac{b}{1 - \varepsilon \cos(\omega - \beta)}$$

Hiernach ist der größte Wert von p; wenn $\omega - \beta = 0$

$$p_1 = \frac{b}{1 - \varepsilon}$$

der kleinste Wert, wenn $\omega - \beta = 180°$

$$p_2 = \frac{b}{1 + \varepsilon}.$$

Vermittelst dieser beiden Gl. sind b u. ε ausgedrückt als Funktionen von p_1 u. p_2. wenn man ferner $\sin\beta = \dfrac{\sin\alpha}{\varepsilon(a+1)}$ und Einsetzung der betreff. für ε u. a, u. setzt

$\mu = \dfrac{p_1}{p_2}$ d. u. wenn man dann den so erhaltenen Ausdruck in der Gl. für 𝔈 einsetzt, so ergiebt sich schließlich:

indizierte resultl. Arbeit pro Doppelhub:

$$\mathfrak{E} = \frac{\pi(k-1)\, b_1 b_2\, p_2}{(1+kq)\, C_1 + k(1+q)\, C_2} \cdot \frac{(\mu+1)\sqrt{\mu}}{(\sqrt{\mu}+1)^2} \sin\alpha$$

Man darf danach nicht schließen, daß 𝔈 am größten, wenn $\alpha = 90$, d.h. $\sin\alpha = 1$ ist, da folg. Beziehung stattfindet:

$$\alpha;\ k;\ \mu;\ q;\ \frac{C_1}{C_2};\quad \mu = \frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon} = \frac{a+1+\sqrt{a(a+2\cos\alpha)+1}}{a+1-\sqrt{a(a+2\cos\alpha)+1}}$$

entsteht, wenn man die Ausdr. für ε cos β u. ε sin β quadr., addiert u. die Wurzel zieht.

diese Beziehung zwischen α a u. μ.

Es sei z. B., wie gewöhnl. bei Rädermotoren, das Zus.-verh. $C_1 = C_2$; es sei ferner $\alpha = 2$ (aus practischen Gründen nicht größer als 2); $q = 0{,}2$ (angenommener Durchschn. wert von q).

Dadurch ist a bestimmt, es kommt nur auf die Best. der Größe μ an. Es sei ferner angenommen: $\alpha = 90°$; $100°$; $110°$

Gemäß dieser Daten findet man für

$\alpha = 90°$; $100°$; $= 110°$

$\mu = 0{,}44$; $= 0{,}17$; $= 4{,}16$

Das Product, welches in E vorkommt:

$$\frac{(\mu+1)\sqrt{\mu}}{(\sqrt{\mu}+1)^2} \text{ sind } = \quad \begin{array}{ccc} \alpha = 90° & 100° & 110° \\ 1{,}51 & 1{,}29 & 1{,}07. \end{array}$$

Thatsächlich wäre für $\alpha = 90°$ der weitere günstigste Fall.

Wegen der Verluste an heißer Luft ist aber aus practischen Gründen ist es ratsam $\mu = \frac{p_1}{p}$ kleiner als 5 zu machen. Für $\alpha = 90$ ist aber hier schon $\mu = 6{,}44$.

Auf eine genaue Annahme von q kann es auch nicht ankommen, da schon vorher schon die stark angenäherte Voraussetzung gemacht worden, daß in dem Ausdruck für $q = \frac{C_0 T_2}{v T_1}$ $v T_1$ const. gesetzt wurde.

Nach früherem wurde die mittlere Temp. eines Gemisches von Gasen in 2 versch. Gefäßen definiert:

$$\frac{v}{T} = \frac{v_x}{T_x} + \frac{v_y}{T_y}$$; T die ausgeübte Mitteltemp. in v_x u. v_y zusammen, d.h. v bedeutet.

$$= \frac{v_x}{T_1} + \frac{v_y}{T_2}$$; v_x bezeichnet gleich v_1 u. v

$$= \frac{1}{2}\left(\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2}\right)$$ als Mittelwert.

wo $T T'$ null:

$$v T' = \frac{1}{2}\left(\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2}\right) T T'$$

T die wärmste absol. Temp. im V.
T' " " " " im Regenerator.

Für $T T' = T_1 T_2$ als Mittelwerth gesetzt; T schwankt zwischen T_1 u. T_2, ebenso T'

Dann ergiebt sich:

$$v T' = \frac{1}{2}(C_1 T_2 + C_2 T_1)$$

u. ebenso dann:

$$q = \frac{2 (C_3 T_2)}{C_1 T_2 + C_2 T_1} = \frac{2 C_3}{C_1 + \lambda C_2}$$

Nach der Annahme $\lambda = 2$; ~~$q = 0,2$~~ ist: $C_1 = C_2$; $C_3 = 0,3 C_1$ wird. q trifft zu: $0,2$; Annahme also richtig.

Übertragung der Rech. für die Rider-Masch. auf die Lehmann'sche Masch.

Bei der Rider-Masch. die ges. indiz. Arb. pro Spiel:

$$\mathfrak{E} = \mathfrak{E}_1 - \mathfrak{E}_2$$

$\mathfrak{E}_1$ im heißen Cyl. geleistet, $\mathfrak{E}_2$ die Arb., welche aufgewendet werden muß, um den Kolben im kalten Cyl. zu bewegen.

$$\mathfrak{E} = \mathfrak{E}_1 - \mathfrak{E}_2 = \int p\,(dV_x + dV_y) = \int p\,dV$$

denn es war vorausgesetzt $V_x + V_y = V$

Die ges. gewonnene Arb. $\mathfrak{E}$ ebenso groß, als ob der ganze Vorgang in einem einzigen Cyl. dessen Luftraum V stattfände.

$V_x = \frac{C_1}{2}(1-\cos\omega)$; $V_y = \frac{C_2}{2}(1-\cos(\omega-\alpha))$

Dann ist $V = \frac{C_1 + C_2}{2} - \frac{1}{2}\left[(C_1 + C_2\cos\alpha)\cos\omega + C_2\sin\alpha\sin\omega\right]$

Einführung der Hülfsgrößen:

$$C_0 \cos\alpha_0 = C_1 + C_2 \cos\alpha \qquad C_0 = \sqrt{C_1^2 + C_2^2 + 2C_1C_2\cos\alpha}$$

$$C_0 \sin\alpha_0 = C_2 \sin\alpha \qquad \operatorname{tg}\alpha_0 = \frac{C_2 \sin\alpha}{C_1 + C_2\cos\alpha}$$

Hiernach drückt sich dann v aus, durch:

$$v = \frac{C_1 + C_2}{2} - \frac{C_0}{2}\cos(\omega - \alpha_0)$$

α_0 hätte hier die Bedeutung des Versetzungswinkels in dem einzigen gedachten Cylinder. C_0 das Hubvolum. desselben.

Auf diese Weise läßt sich also die Berechnung der 2 der Lehmann'schen Masch. auf diej. der Ridermasch. zurückführen.

Ridermaschine ohne Regenerator

Die folg. Behandlung wird Verwendung finden hauptsächlich auf die Lehmann'sche Masch., welche stets ohne Regenerator gebaut wird.

In den bisherigen Formeln ist zu setzen: $C_3 = 0$; $q = 0$; Dann wird:

$$\mathfrak{E}_1 = \frac{\lambda}{\lambda - 1}\,\mathfrak{E} \qquad \mathfrak{E}_2 = \frac{1}{\lambda - 1}\,\mathfrak{E} \qquad \Bigg| \qquad \mathfrak{E} = \frac{\pi(\lambda - 1)\,C_1 C_2\, p_2}{C_1 + \lambda C_2} \cdot \frac{(\mu+1)\sqrt{\mu}}{(\sqrt{\mu}+1)^2} \cdot \sin\alpha$$

$$\mu = \frac{a+1+\sqrt{a(a+2\cos\alpha)+1}}{a+1-\sqrt{a(a+2\cos\alpha)+1}};$$

Setzt man in den Ausdr. für a, welcher eine Fkt. von C_1, C_2 u. q ist, $q = 0$, so ergibt sich:

$$a = \frac{1}{\lambda}\,\frac{C_1}{C_2}$$

Setzt man z. B.

$\alpha = 90^\circ \quad 100^\circ \quad 110^\circ$

so ist $\mu = 6,85 \quad 5,48 \quad 4,48$

wenn wie üblich $\frac{C_1}{C_2} = 1$ u. $k = 2$ gesetzt ist.

entsprechend wird dann:

$$\frac{(\mu+1)\sqrt{\mu}}{(\sqrt{\mu}+1)^2} = 1,75 \quad 1,34 \quad 1,12.$$

Auch hier würde für $\alpha = 90^\circ$ E am größten. Trotzdem macht man $\alpha > 90^\circ$ vielleicht $\alpha = 110^\circ$, um einen Druckverlust durch die Umwendung der gebogenen Schaufel Wand zu vermeiden.

Es wird hier also allerdings mehr E ohne Regenerator erhalten, dafür ist aber kein größerer Wärmeaufwand unerlässlich.

Die zugeführte u. entzogene Luft Q_1 u. Q_2 sind hier bedeutend größer als bei Masch. mit Reg. Die Luft strömt mit T_2 in den Heizer, u. erst durch eine bedeutende Mitteilung von Q_1 wird sie T_2 auf T_1 zu bringen. Die Wärmemengen Q_1 u. Q_2 müssen also um ein best. Wärmequantum Q_0 größer sein als früher bei der Masch. mit Reg. $Q_1 + Q_0$; $Q_2 + Q_0$; $Q_0 = A E_0$

$$\left.\begin{aligned} Q_1 &= A(E_1 + E_0) \\ Q_2 &= A(E_2 + E_0) \end{aligned}\right\} \quad \frac{Q_1 - Q_2}{Q} = \frac{E}{E_1 + E_0} = \frac{1}{\frac{t}{t-1} + \frac{E_0}{E}}$$

Verh. der überschüssig gewonnenen mitgeteilten W. zur ganzen mitgeteilten W. = Wirkungsgrad.

v_y der kalte Luftraum

$$\frac{v_y}{v_x}\frac{T_x}{T_y} = \text{const.} \;;\quad d\frac{v_y}{v_x} = 0 \;;$$ nach den einleiten- den Betrachtg. der Gr. M. Sch.

Da der Wechsel in der Strömungsrichtung der Luft bestimmt durch:

$$v_x\, dv_y = v_y\, dv_x$$

Unter Voraussetzung der Schubstangenlänge ∞ ist bei der Ridermasch.

$$v_x = \frac{C_1}{2}(1-\cos\omega)$$

$$v_y = \frac{C_2}{2}(1-\cos(\omega-\alpha))$$

$$C \qquad (1-\cos\omega)\sin(\omega-\alpha) = [1-\cos(\omega-\alpha)]\sin\omega$$

durch Umformung:

$$\cos(\omega - \tfrac{1}{2}\alpha) = \cos\frac{\alpha}{2} \;; \qquad \omega = 0; = \alpha; = 2\pi:$$

durch die folgenden 3 Werte von ω erfüllt:

Ein Wechsel der Strömungsrichtung findet statt, wenn

$$w = 0 \; ; \; = \alpha \; ; \; = 2\pi .$$

Hiernach läßt sich E_0 folgendermaßen berechnen:

$$A \, E_0 = c_p \cdot (T_1 - T_2) \, \Delta G_x$$

G_x Gewicht der ganzen im heißen Cyl. befindlichen Luft, ΔG_x das Gew. der zugeströmten Luft.

$$p \, V_x = G_x \, R \, T_1$$

Gemäß dieser Zustandsgl. ist

$$\Delta G_x = \Delta \frac{p V_x}{R T_1}$$; Δ bez. Änderung, die beim Überströmen vom kalten zum heißen Cyl. stattfindet.

$$A \, E_0 = c_p (T_1 - T_2) \, \Delta \frac{p V_x}{R T_1} \; ;$$

Die Const. herausgeschrieben:

$$E_0 = \frac{c_p}{AR} \frac{k-1}{k} \Delta (p v_x)$$

$AR = c_p - c_v$ nach Grundannahme.

Wir ersetzen AR durch c_v etc. u. $\frac{c_p}{c_v} = n$

bezeichnet, so ergiebt sich:

$$E_0 = \frac{n}{n-1} \frac{k-1}{k} \Delta (p v_x)$$

$$\Delta (p v_x) = \frac{b}{1-\varepsilon \cos(\alpha-\beta)} \cdot \frac{C_1}{2} (1-\cos\alpha)$$

für $\omega = \alpha$ hat p diesen Wert

v_x hat für $\omega = \alpha$ den Wert $\frac{C_1}{2}(1-\cos\alpha)$

Es waren ε u. β dadurch bestimmt, dass gesetzt wurde.

$$\varepsilon \cos\beta = \frac{a+\cos\alpha}{a+1} \; ; \; \varepsilon \sin\beta = \frac{\sin\alpha}{a+1}$$

Const b war ~~ausgedrückt~~ Entsprechung gewesen durch einen längeren Ausdruck, der später sich umformte in:

$$b = \frac{2\,p_1\,p_2}{p_1 + p_2} = \frac{2\,p_1}{\mu + 1}$$

Es ergibt sich dann nach Einsetzung dieser Ausdr.

$$\Delta\,(p\,v_x) = \frac{p_1}{\mu+1}\,(C_1 + \lambda\,C_2)$$

$$E_0 = \frac{n}{n-1}\;\frac{\lambda-1}{\lambda}\;\frac{p_1}{\mu+1}\,(C_1 + \lambda\,C_2)$$

Dies wäre die einfachste Art einer Ridermasch. ohne Regenerator.

In Wirklichkeit führt man diese Masch. nicht aus.

Es handelt sich jetzt um die Übertragung dieser Resultate auf die Lehmann'sche Masch.

Indicirte Arbeit der Lehmann'schen Masch.

Diese Masch. wird stets ohne Regenerator gebaut.
Das Gesamtvol. wird hier durch den Arbeits-kolben bedingt. K_2.

Die E einer Rider Masch. war gerade so groß, als die E einer Masch. mit einem einzigen Cyl., vorausgesetzt, daß bestimmt werden, :

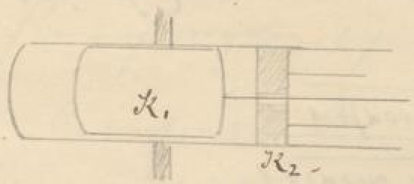
$$C_0 \cos \alpha_0 = C_1 + C_2 \cos \alpha$$

$$C_0 \sin \alpha_0 = C_2 \sin \alpha$$

Ist nun bei einer Lehm. Masch. C_1 das Hubvol. des Verdrängers, ist ferner C_0 das Hubvol. des Arb.kolbens, & α_0 der ∠, um welchen die Kurbel des Arb.kolbens nacheilt der Kurbel des Verdrängers.

so kann die Lehm. Masch. genau so berechnet werden, wie eine Rider Masch.

Die Lehm. Masch. ist die am meisten verbreitete Heißluftmasch. in Deutschland.



Der Spielraum zwischen Verdr. & Cyl.-wand gestattet eine Communication der heißen & der kalten Räume.

Verdr. u. Arb. Kolben sind im Verb. mit einer Kurbelwelle durch 2 versetzte Kurbeln.

Ist C_1 = Hubvol. des Verdr.; C_0 das Hubvol. des Arb.Kolb. α_0 der Nacheilungswinkel d. der Arb. hinter dem Verdr.

Effekt wird genau so berechnet wie eine Rider masch., (ohne Regenerat.) nur daß C_1 = Hubv. des K_1 im heißen Cyl. ist, für den K_2 ein anderes Hubvol. zB C_2 hat, u. dessen Nacheilungswinkel ein anderer ist zB. α.

α u. C_2 bestimmen sich nach:

$$C_2 = \sqrt{C_1^2 + C_2^2 - 2 C_1 C_0 \cos\alpha_0}$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{C_0 \sin\alpha_0}{C_0 \cos\alpha_0 - C_1}$$

$$E = E_1 - E_2 = \frac{\pi(\lambda - 1) C_1 C_2 p_2}{C_1 + \lambda C_2} \frac{(\mu+1)\sqrt{\mu}}{(\sqrt{\mu}+1)^2} \sin\alpha$$

$$E_1 = \frac{\lambda E}{\lambda - 1}$$

$$\mu = \frac{p_1}{p_2} = \frac{a + 1 + \sqrt{a(a+\cos\alpha)+1}}{a + 1 - \sqrt{a(a+\cos\alpha)+1}}$$

$$a = \frac{1}{\lambda} \frac{C_1}{C_2}$$

Wirkungsgrad eines Kreisprozesses:

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{1}{\frac{\lambda}{\lambda-1} + \frac{E_0}{E}} \; ; \; \lambda = \frac{T_1}{T_2}$$

Für E_0 hatte sich ergeben:

$$E_0 = \frac{n}{n-1} \cdot \frac{\lambda - 1}{\lambda} \cdot \frac{p_1}{\mu+1} (C_1 + \lambda C_2)$$

Beispiel: bei der Untersuchung einer Lcht. Masch. war (Prof. Bach):

$C_1 = 0,06754$ cbm durch Messung bestimmt

$C_0 = 0,705\ C_1$

$\alpha_0 = 73°$

Hiernach ergeben sich nach den vorigen Ausdr.:

$C_2 = 1,042\ C.$

$\alpha = 139°40'$

Es wurde ferner die indiz. Leistung mit Hilfe des Indicators bestimmt zu:

$N_i = 5,42$ HP.

die Nutzleistung mit Prony'schem Zaum gemessen:

$N = 2,3$ Nutzleistung.

indiz. Wirkungsgrad:

$\eta_i = 0,42$

Zahl der Spiele pro Minute $n = 89$

$$C_2 = \sqrt{C_1^2 + C_2^2 - 2\, C_1 C_0 \cos\alpha}$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{C_0 \sin\alpha_0}{C_0 \cos\alpha_0 - C_1}$$

k_2 bestimmt das Gesamtvol. der Luft-Mass.

Die indizierte Leistung pro Minute pro Spiel:

$$E = \frac{5{,}42 \cdot 75 \cdot 60}{89}\ \text{mkg} = 274\ \text{mkg}$$

Nun wurde ferner der grösste u. der kleinste Luftdruck in der Masch. mittelst Manometer gemessen:

$$\left.\begin{array}{l} p_1 = 1{,}984 \text{ Atmosph.} \\ p_2 = 0{,}975 \text{ Atmosph.} \end{array}\right\} \mu = \frac{p_1}{p_2} = 2{,}035$$

Die betr. Werte in dem Ausdruck für E ein:

Mittelst Thermoelementen lässt sich der Temp.-Wechsel nicht bestimmen, da das Thermometer sehr langsam dem rasch wechselnden Temp. nicht folgen kann. Daher ist k nur auf rechnerischem Wege zu bestimmen.

Aus den Ausdr. für E ergibt sich $k = 1{,}722$

Zur Controle hierfür bietet der Ausdruck:

$$a = \frac{1}{k} \frac{C_1}{C_2} = 0{,}5579$$

u. $M = 2{,}546 \qquad = 1{,}25 \cdot 2{,}035$

Das durch die Messung sich ergebene M ist erheblich größer.

Das Bewegungsgesetz der Räder ist anders complizierter als vorausgesetzt; der schädl. Raum zwischen K_1 u. K_2 wurde vernachlässigt. Das sind die beiden hauptsächl. Abweichungen der tatsächlichen Verhältnisse von den vorausgesetzten.

Menge des gebrauchten Kühlwassers.

2,3 kg lief mit 35,5° höherer Temp. ab, als es zugelaufen war, danach die Wärme Q_2 bestimmt, welche pro Spiel durch das Kühlwasser entzogen wird.

375 kg Wasser fließt pro Nutzh. pro St. am Cyl. mantel

$$Q_2 = \frac{375 \cdot 2,3}{60 \cdot 89} \cdot 35,5 = 5,40 \text{ Calorien.}$$

$$Q_2 = A(E_2 + E_0)$$

$$E_2 = \frac{1}{k-1} E = \frac{274}{1,722-1} = 380 \text{ mkg}$$

$n = 1,41$; $k = 1,722$; $p_1 = 1,984 \cdot 10333$.

$m = 2,035$;

Dann ergiebt sich:

$E_0 = 1838$ Calorien.

$$Q_2 = A(E_2 + E_0) = 5,23; \quad \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 0,11$$

Die Mittellinie des Kolbens geht nicht durch den Mittelpunkt der Kurbel. Dies würde den bisherigen Voraussetzungen nicht entsprechen. Ebenso wurde bei der Rechnung von den schädl. Räumen abgesehen. Es wurde angenommen daß die Arb.-Luft ein unveränderliches Gewicht habe, durch die Undichtigkeiten der Cyl.-wand, die gleichzeitig Heizfläche sind, wird eine erhebliche Luftmenge entweichen. Es wurde ferner angenommen, daß im heißen Cyl. eine const. Wärmung T_1 u. in C_2 eine Const. T_2 angenommen. Je rascher die Masch. läuft, um so weniger ist dies annehmbar.

Die beiden letzten Voraussetzungen sind unvermeidlich. Die Abweichungen, den wirklichen Verhältnissen angepaßt, so würde die Rechnung ungemein erschweren, wenn nicht unmöglich. Was den 3ten Umstand anbetrifft, der const. G, so kann man dieser Voraussetzung durch praktische Einrichtungen genügend Rechnung tragen. Wird die Kolbenbewegung so eingerichtet, daß bei steter kleiner als At. druck sich die Lederung öffnet, damit Atm. Luft einströmt, so kann man die innere Arb. luft auf durchschnittlichem Atmosph. erhalten. Die Lederung der Lehmann-schen Masch. ist thatsächlich so eingerichtet. Der innere ist nur um 0,025 Atm. niedriger als 1 At.

Den Einfluss der schädl. Räume kann man durch eine graphische Masch. Methode Unter-suchung an der Masch. bestimmen.

Zeichnerische Methode zur Best. der schädl. Räume u. Temp.-schwankungen einer Heißluftmasch.

auf die Lehmann'sche Masch. angewendet:

Angenommen: T_1 die Const. Temp. im Cyl. zwischen Verdr. u. Boden

T_2 die Const. Temp. im zwischen Verdr. u. Arbeitskolben.

Das variable Vol. zwisch. Verdr. u. Boden (geheizt) sei V_x

Das variable Luftgewicht sei G_x ; – mit Temp. T_1

V_x , G_x , T_1

V_y das variabl. Vol. V zwischen Verdr. u. Arb.-Kolben mit G_x u. Min.-temp. T_2. In beiden comm.-Räumen herrscht in jedem Augenblick derselbe Druck p, welcher in jedem Moment des Spieles veränderlich ist.

Der schädl. Luftraum aus 2 Teilen bestehend,
1) der Raum zwischen Boden u. Mitträger.
2) ein Teil der schmalen Ringkanales zwischen Verdr. u. Wand, für man auf die Wirkung von T_1 u. T_2 kein Rücksicht genommen.
Zu V_x ist dann nur ein Teil dieses Ringkanales eingeschlossen, der andere Teil ist zu V_y eingerechnet.

$$\left.\begin{array}{l} V_x \quad G_x , T_1 \\ V_y \quad G_x , T_2 \end{array}\right\} p.$$

G das Gesamtgew. der in der Masch. als const. vorausges. befindlichen Luft.

$$G = G_x + G_y$$

Gemäß der Zustandsgl. ist:

$$p\,v_x = G_x\,R\,T_1$$

$$G_x = \frac{p}{R}\,\frac{v_x}{T_1}\ ;\quad G_y = \frac{p}{R}\,\frac{v_y}{T_2}$$

$$G = \frac{p}{R}\left(\frac{v_x}{T_1} + \frac{v_y}{T_2}\right)$$

Vorher wurde bezeichnet mit

$\frac{T_1}{T_2} = k = \operatorname{tg}\alpha$; α Temperaturwinkel nach ?

Wenn man diese Gl. mit $T_2 R$ mult. so erhält man:

$G R T_2 = p(v_x \operatorname{cotg}\alpha + v_y)$ oder endlich

wenn $v_x = F \cdot x$; F der Querschn. des Verdr.zyl.

wenn $v_y = F \cdot y$; d. auch F überall, so ist:

$$p(x \operatorname{cotg}\alpha + y) = \frac{G R \frac{r}{2}}{F}$$

Für jede Stelle der Arb. Kolben kann man v_x u. v_y aus unseren den Normal-Geschwindigkeiten der Mechanismus, als x u. y zeichnerisch bestimmen. Wäre α bekannt, so der Druck p für die jeweilige Stelle bekannt, welche x_0 u. y_0 entsprechen bekannt;

Dann wäre für jede Coordinaten der Druck bekannt.

Oder man würde dann in Bezug auf rechtw. Coord. die jeweilige Schaubild finden, deren Coord. obige Bedingungen genügen.

Nun findet man nun für [illegible] die [illegible] Versuche [illegible] gelangt hat, den [illegible] α α nach Slaby.

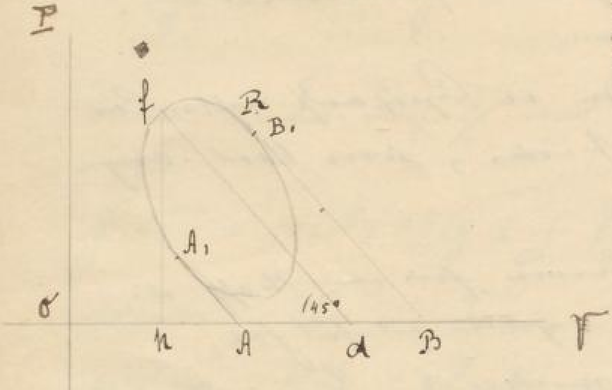
Zunächst handelt es sich um die graphische Bestimmung von L eines geg. Masch., dessen Indicatordiagramm vorhanden ist.

Behandle zunächst die Untersuchung ungestörten in dem L zu.

x bestimmt die Bewegung des Verdrängers
y entspricht nicht der absol. Bewegung des Kolbens sondern der relat. Lage desselben gegen den Verdränger.

x+y die Beweg. des Arb. Kolbens absolut.

Die graph. Curve, deren Coord. x u. y sind seien folgende: (Curve der relativen Vol.) R



Ziehe zu f eine Gerade, geneigt um 45° gegen y.

$od = x+y$; $oh = x$, $hf = y$.

Zieht man 2 Tangenten an R 45° gegen die Achse geneigt.

AB entspricht der Bahn des Arb. Kolbens.

Denkt man sich 2 Tang. ∥ OV die Curve berühren, so schneiden dieselben auf OP ein Stück ab, welches gleich ist dem Überschuss des x_{max} über x_{min}. (entspricht dem V.Hub das der Verdr. durchläuft.

$C_1 = Fc_1$

$C_2 = Fc_2$

Die graphische Darstellung der Bewegungen der Motor trägt auch auf die einfachste Art den schädl. Räume Rechnung. Den eingezeichneten Kurbelstellungen entsprechen die Dampfdruckverläufe.

$$p(x \cot \alpha + y) = \frac{GRT_2}{F} = \text{const.}$$

Bedeutung von x, y bestimmt durch:

$v_x = Fx$, $v_y = Fy$

In v_x, v_y sind die schädl. Räume inbegriffen.

$\frac{T_1}{T_2} = \operatorname{tg} \alpha$; p der augenblicklich veränderliche Druck (gleich in beiden Cyl. angenommen)

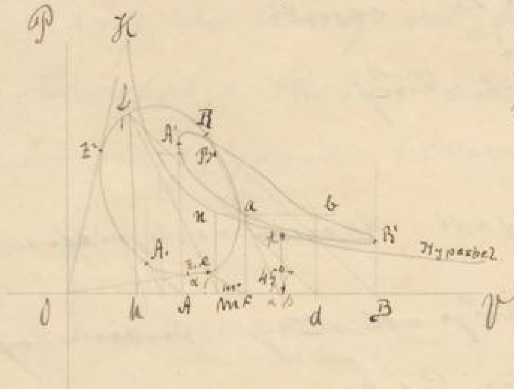
x u. y durch Zeichnung für jede Lage zu bestimmen.

Wäre p für einen bestimmten Compressionsraum $= p_0$ bekannt, so würde man daraus den Wert der Compr. erkennen, da man Kurbel daher für jede andere beliebige Lage der Kurbel bestimmen.

Es handelt sich nun darum, wie man für eine gegebene Maschine jederzeit den Winkel L auf zeichnerische Weise bestimmen kann

Es sei erst einmal Lok. Masch. ein Indicator Versuch gemacht. Der Ind. cyl. bewegt sich prop. der Arbeitskolben.

L sei zunächst bekannt oder aufgesetzt.



die kleinste Entfernung der Curve von der V achse = dem kleinsten Werth von $\frac{v_x}{F}$ = $\frac{\text{schädl. Raum}}{F_x}$

die min. Abstand der K von P achse = $\frac{\text{schädl. Raum des [illegible]}}{F [illegible]}$

Hubvol. des Verdrängers $C_1 = F c_1$

" der Arb. Kolbens $C_2 = F c_2$

$OA = (x+y)$ min ; $OB = (x+y)$ max.

AB = Hublänge des Arb. Kolbens $= C_2$

den Druck p entsprechende Stelle d der Arb. Kolbens

fm so unter dem Neigungswinkel α gegen OV

geneigt, dann ist $km = x \cot g\, \alpha$

$Om = x \cot g\, \alpha + y$.

Denkt man sich in m eine Gerade $\perp$ OV, u. trägt auf ihr eine Strecke = dem Druck p, so ist der Endp. dieser Strecke ein Punkt der gleichs. Hyperbel. (H) ; mn = Druck für die Lage, bei der $x \cot g\, \alpha + y = Om$ ist.

Zieht man durch n eine Horizontale u. durch d eine Verticale, die schneidet b, so ist der Druck der entsprechenden Stelle in d = bd.

Ist c eine Gerade mit α u. C die OV schneidend, so ist ca der Druck, a, b 2 Punkte der Indicatordiagr. A'B' dar so erhalten Indicatordiagramm.

Umgekehrt so ist das Diagramm von einer geg. Maschine genommen, also geg. Curve, wenn auf die Basis AB = Hublänge der Kolben reduziert

Für diese Masse muss nun erst der Beschl.-Druck A_d gefunden werden. Die Curve der veränderl. Beschl. der Masse kann nach der Gl. gezeichnet werden. R ist also bekannt in der erforderlichen Lage gegen die Achse. Auf der Kurb.-Diagramm ist ab in einer mittleren Hebellage ‖ zu OV gezogen; von 2 Punkten a u. b. werden dann die Senkrechten gezogen, der Punkt in der entsprechenden Kurbelstellung der Kurbel gefunden.

Der Tang.-Druck ergiebt sich dann nach Annahme einer 45° geneigten Geraden im äussersten Punkt c zieht man ef, nach dem man df 45° geneigt gegen OV. fM ergiebt dann den Tangentialdruck.

Es ergab sich nach Versuchen von Slaby die Verh. der Tang.-Druck im Durchschnitt

$$G_d = 2,25$$

T_2 nimmt Zahl noch schätzend an.

$T_2 = 273^\circ + 100^\circ = 373^\circ$

$T_1 = 2{,}25 \cdot 373 = 839^\circ = (273 + 566)$

Der Beim Gebrauch einer Lok. Masch. wird der Wirkungsgrad angenommen. Wenn der Kammer der größeren Sorg der Verbrennung angenommen ist, ergibt sich der verhältnismäßige Größe der x u. y. Daraus muß ein gewisser Wert von T_1/T_2 = 2,2 – 2,5 angenommen werden, außerdem noch der Druck so für eine gewisse Stellung der [illegible].

Der Kolben muß mit einem Lederring versehen, welche sich nach innen öffnet, wenn der äußere Druck größer ist als der innere.

Der Druck ist, da die Masse am kleinsten, wenn das Vol. am größten, d. h. wenn der Kolben die Stellung A hat, so kann frei p = 0,975 Atm. genommen werden.

Trägt man BB' = Max. Druck auf, so kann man durch B an 45° eine Gerade ziehen, die die Curve in B, berühren soll. Zieht man in B, eine Gerade, geneigt um α gegen die Abscisse, zieht dann Ak u. B'k, so ist k ein Punkt der Hyperbel. Auf diese Weise verzeichnet man die Abl. Druck Hyperbel.

$p\,(x \cot g\,\alpha + y) = \text{const.}$

Wirkungsgrad

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$\frac{D_x}{D_y} \cdot \frac{T_y}{T_x} = \frac{x}{y}$$

Wärme der Körper Z_1 Z_2 fördern Elbestrom von dem kalten zum heißen Raum.

Längs $Z_2 Z_1$ findet Überstr. vom heißen zum kalten Raum statt.

x_1 x_2 entsprechen den Werten von x beim Überströmen

$V_1 = F x_1$ | p' aus der Zeichnung zu ermitteln
$V_2 = F x_2$ | p''

Δg Luftgewicht der übertr. Luft

In jedem Zeitelement findet dieses Überströmen beim entsprechenden gleichz. Wechsel der Vol. & Temp. statt. Die Wärmemengen, welche zum Erwärmen dieses Δg nötig sind, sind so zu rechnen, als ob die Erwärmung bei const. Druck vor sich ginge.

Zu berechnen $dq = \Delta g$

Zustandsgl. der Luft.

$pV = G R T$ auf ein beliebiges Gewicht G bezogen

Demnach ist die Zustandsgl. der Überströ. Luftgewicht

$$\Delta G = \frac{p'' v_2 - p' v_1}{R T_1} = \frac{F}{R T_1}(p'' x_2 - p' x_1)$$

x_1 = ~~Ord~~ Abcisse von Z_1
x_2 = " von Z_2

G ist nun die W.menge, die zum Absorbieren des Luftgemisches zur Trennung nötig ist,

so:

$$A E_0 = \Delta G \, c_p (T_1 - T_2)$$

$$E_0 = \frac{c_p}{A R} \frac{F}{T_1} (p'' x_2 - p' x_1)(T_1 - T_2)$$

$$= \frac{n}{n-1} \frac{\lambda - 1}{\lambda} F (p'' x_2 - p' x_1)$$

$$Q_1 = A (E_1 + E_0)$$

$$Q_2 = A (E_2 + E_0)$$

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{E_1 - E_2}{E_1 + E_0} = \frac{E}{E_1 + E_0}$$ = Wirkungsgrad des Kreisprozesses

$$\eta = \frac{E}{E_1 + E_0} = \frac{1}{\frac{\lambda}{\lambda - 1} + \frac{E_0}{E}}$$

E ergibt sich aus dem [illegible] Diagramm

Hätte die Masch. einen vollkommen wirkenden Regenerator, so wäre $E_0 = 0$; &

$$\frac{E}{E_1} = \frac{k-1}{k}$$

$$E_1 = \frac{E\,k}{k-1}$$

$$E_2 = \frac{1}{k-1}\,E$$

$$Q_1 = A(E_1 + E_0)\;;\quad Q_2 = A(E_2 + E_0)$$

$$E_1 = \frac{k}{k-1}\,E\;;\quad E_2 = \frac{1}{k-1}\,E$$

$$E_0 = \frac{n}{n-1}\,\frac{k-1}{k}\,F(p''x_2 - p'x_1)$$

Da der Lehm kein Regenerator vorhanden, wäre ein solcher vorhanden, so hätte E_0 eine andere Bedeutung.

$k = \lg \alpha = \frac{T_1}{T_2}$, $n = 1{,}41$ für atm. Luft

F = Querschn. der Arbeitskolben ergl.

der Klammerausdruck bezieht sich auf das Diagramm.

$v_x - F_x$
$v_y - F_y$

p'' u. p' zu finden, wenn man von F2 u. 2. Gerade um 45° gegen OV zieht u. von den Schnittp. ⊥ zu OV zieht, bis sie die Hyperbel schneidet, diese Punkte stellen die Pressungen dar.

$p(x \cot g\, \alpha + y) = \text{Const.}$

<u>Versuche</u> bei Versuchen von Slaby & Brauer oder unter Arbeit bei einer solchen Masch.:

F = 0,1087.

Es ergab sich durch Zeichnung $x \cdot tg\,\alpha \cdot h = 2,20$

Es wurde die ind. & Nutzleistung der Masch. durch Indik. & Prony'schen Zaum bestimmt, wenn n = 106; es ergab sich

$N_i = 2,37$ indiziert

$N = 1,31$ gebremst

Folge d. ind. Effekt pro Hub: $E = \frac{2,37 \cdot 75 \cdot 60}{106} = 100,6$ mkg.

Hieraus ergiebt sich weiter:

$E_1 = 184,4$; $E_2 = 83,8$

$x_1 = 0,03$ m ; $x_2 = 0,252$

$p' = 1,104$ Atm. ; $p'' = 1,828$ Atmos.

$E_0 = 395,4$ mkg.

Durch Einsetzung der Werte in Q_1 u. Q_2

$Q_1 = 2,547$

Wärmemenge, die pro Spiel dem heißen Gl. mitgeteilt wird.

$Q_2 = 2,309$

W.m., die dem kalten Gl. entzogen wird.

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 0,093$$ Wirkungsgrad. (Zu gering.)

Durch die Messung d. Wärme lassen sich auch T_1 u. T_2 einzeln bestimmen. Durch Versuch ergiebt sich nur das Verh. $\frac{T_1}{T_2} = k$.

163,4 kg Kühlwasser zugeführt, welche mit 32,6° Cels. höherer Temp. ausfließt.

$$Q_2 - Q_3 = \frac{1{,}31 \cdot 163{,}4 \cdot 32{,}6}{60 \cdot 106}$$ vom Kühlwasser fortgehende Wärmemenge pro Minute u. pro Theil.

Q_3 = d. W.-m., die pro Theil vom Kühler durch die Wandung der Kühlwasser abgeht.

daraus: $Q_3 = 1{,}212$ Calorien.

Temp. im Kühlwasser wachse $= t_3$,

$$\frac{Q_2}{Q_3} = \frac{t_2 - t_3}{t_3 - t_0}$$; $t_3 = 10°$; mit 10° fließt das Kühlwasser aus.

daraus $t_2 = 88°$ mittlere Temp., welche im vollen Luftraum herrscht

demzufolge dürfte Temp. zu 100°

Wäre die Calor. Masch. mit Regenerator ausgeführt, so ist der Verbr. diese durch die Cyl. zu führen u. die Luft gezwungen durch den Verbr. hindurchzugehen, so wäre für T_0 eine veränderliche Größe zu setzen

Bei einer Rider-Masch. wird ein
ursprüngliches Volum unverändert bleiben
F bedeutet hier den Querschn. des heißen Cyl.
$V_1 = Fx$; x = Hubhöhe des Kolben im heißen Cyl.
Verschiebung des Arbeits-Raumes.

y ist eine Linie, die vorzugsweise parallel der Linie
des heißen Cyl.

Die bisherigen besprochenen H. L. M. waren
geschlossene Masch. mit offener Feuerung.
offene Masch. mit offener Feuerung sind
aber von historischem Wert, werden heute nicht
mehr gebaut.

Masch. mit geschlossener Feuerung
sind jetzt offen (Gaskraftmasch.).

Ende