

Канд. техн. наук доцент

Г. Ф. ПОДОЛЬСКИЙ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПОЛАГАЕМОГО ВРЕМЯ-СЕЧЕНИЯ ВЫХЛОПНЫХ И ПРОДУВОЧНЫХ ОКОН СВОБодно- ПОРШНЕВОГО ГЕНЕРАТОРА ГАЗА С КОМПРЕССОРОМ ПРОСТОГО ДЕЙСТВИЯ

Обычно в свободно-поршневых генераторах газа высота выхлопных и продувочных окон меньше потерянного хода, т. е. имеется перебег в выхлопных и продувочных окнах (рис. 1), причем окна выполняют с тангенциальным и радикальным наклоном (рис. 2).

В произвольный момент времени проходное сечение окон равно

$$f_x = mb h_x \cos \delta, \quad (1)$$

где h_x — текущая высота открытия окон в м,

b — ширина одного окна (рис. 2) в м,

m — количество окон,

δ — угол тангенциального наклона (рис. 2).

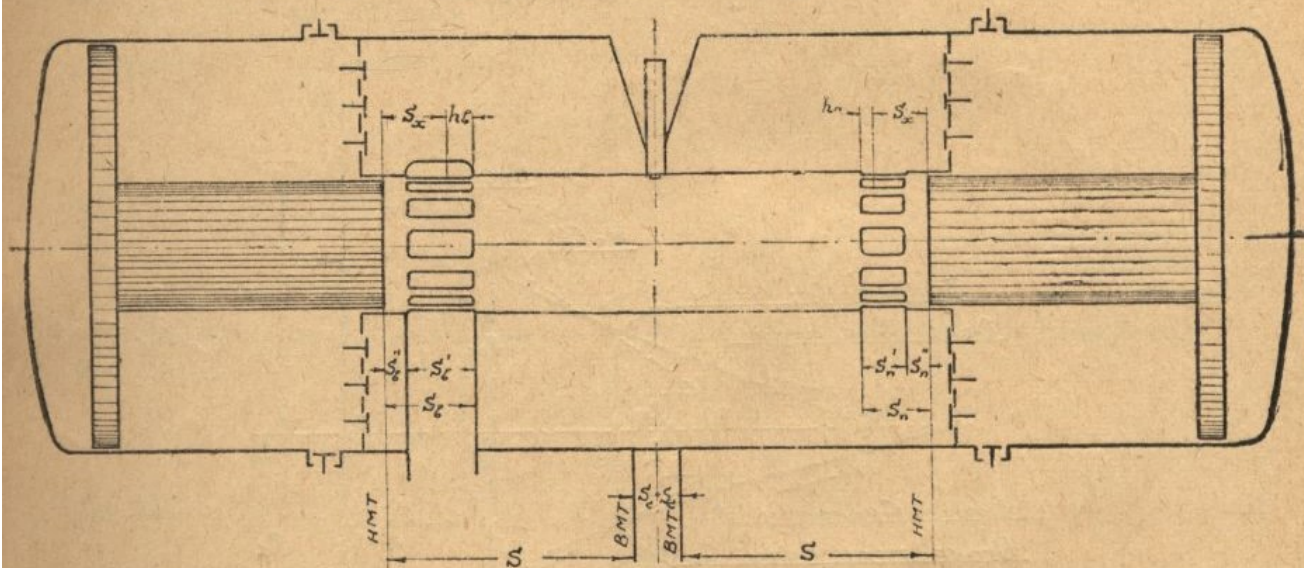


Рис. 1. Схема газораспределения цилиндра двигателя СПГГ. S_b и S_n — расстояние внутренней кромки выхлопных и продувочных окон от НМТ, S'_b и S'_n — высота выхлопных и продувочных окон, S''_b и S''_n — перебег выхлопных и продувочных окон.

Из рис. 1 видно, что текущая высота открытия выхлопных и продувочных окон равна

$$h_b = S'_b - S_x, \quad (2)$$

$$h_n = S'_n - S_x, \quad (3)$$

где S_x — текущий ход поршня от НМТ.

Для установления зависимости h_x от времени заменим действительные кривые $R(s)$ и $R_0(s)$ (рис. 3) прямыми $R'(s)$ и $R_0'(s)$. Условные силы

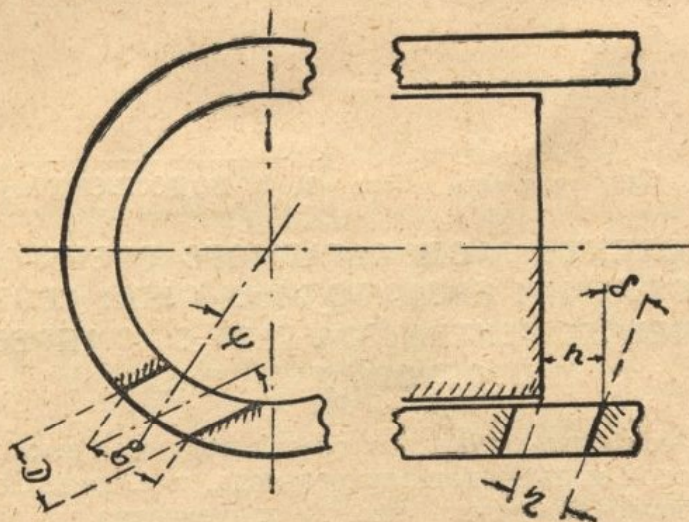


Рис. 2. Окно с тангенциальным и радиальным наклоном.

упругости газов R_1 и R_{01} определены из равенства работ, а именно:

$$\frac{R_1 + R_k S_b}{2} = L(s_b), \quad (4)$$

$$\frac{R_{01} + R_{ок} S_b}{2} = L_0(s_b), \quad (5)$$

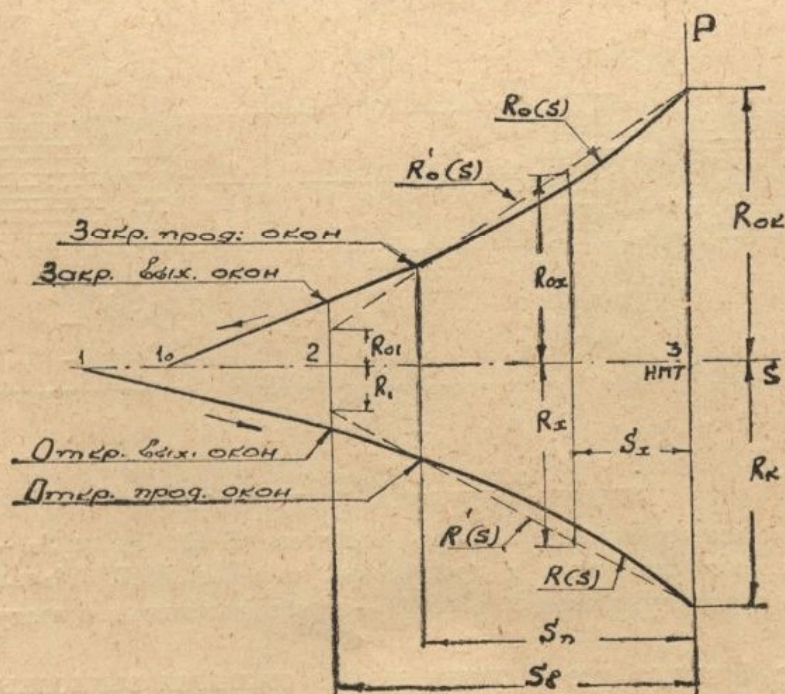


Рис. 3.

где R_k и $R_{ок}$ — результирующие силы, действующие на поршень в НМТ при прямом и обратном ходе в кг (рис. 3),

R_1 и R_{01} — условные результирующие силы, действующие на поршень при перемещении его на величину S_b в кг (рис. 3),

S_b — расстояние верхней кромки выхлопного окна от НМТ (рис. 3) в м,

$L_{(S_b)}$ и $L_{0(S_b)}$ — работа сил упругости газов на участке (2+3) (рис. 3) при прямом и обратном ходе в кгм.

Из рис. 3 видно, что текущую условную силу упругости газов можно записать

$$R_x = R_k - K_1 S_x. \quad (6)$$

Так как при $S_x = S_b$ $R_x = R_1$,

то
$$K_1 = \frac{R_k - R_1}{S_b}. \quad (7)$$

Дифференциальное уравнение движения поршня имеет вид

$$M I_x - R_x = 0, \quad (8)$$

где I_x — текущее ускорение поршня в м/сек²,
 M — масса поршня в кг сек²/м.

Так как

$$\frac{ds}{dt} = V_x, \quad \text{а} \quad \frac{dV}{dt} = I_x,$$

то

$$V_x dV - I_x dS = 0, \quad (9)$$

где V_x — текущая скорость поршня в м/сек,
 t_x — текущее время в сек.

Подставляя в уравнение (9) значение

$$I_x = \frac{R_x}{M} = \frac{1}{M} (R_k - K_1 S_x)$$

получаем

$$V_x dV = \frac{1}{M} (R_k - K_1 S_x). \quad (10)$$

Так как при $S_x=0$ $V_x=0$, то, интегрируя уравнение (10) в пределах от нуля до S_x , получаем

$$V = \sqrt{\frac{2R_k S_x}{M} \left(1 - \frac{K_1}{2R_k} S_x\right)}; \quad (11)$$

так как

$$V = \frac{ds}{dt},$$

то уравнение (11) принимает вид

$$dt = \frac{ds}{\sqrt{\frac{2R_k S_x}{M} \left(1 - \frac{K_1}{2R_k} S_x\right)}} \quad (12)$$

Обозначим

$$x^2 = \frac{K_1}{2R_k} S_x.$$

Тогда

$$ds = \frac{4R_k}{K_1} x dx.$$

Подставляя

$$x = \sqrt{\frac{K_1 S_x}{2R_k}},$$

получаем

$$ds = \sqrt{\frac{8S_x R_k}{K_1}} dx.$$

Следовательно,

$$dt = \sqrt{\frac{4M}{K_1}} \frac{dx}{1-x^2}$$

Интегрируя, получаем

$$t_x = \sqrt{\frac{4M}{K_1}} \arcsin x + C_1$$

Так как при $t=0$; $x=0$, то $C_1=0$.

Следовательно,

$$t_x = \sqrt{\frac{4M}{K_1}} \arcsin \sqrt{\frac{K_1 S_x}{2R_k}}. \quad (13)$$

Решая относительно S_x , получаем

$$S_x = \frac{R_k}{K_1} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{K_1}{M}} t \right). \quad (14)$$

Подставляя в уравнение (13) значение $S_x = S_b$ и $S_x = S_n$, получаем формулу для определения времени движения поршня от НМТ до момента закрытия выхлопных и продувочных окон.

$$t_b = \sqrt{\frac{4M}{K_1}} \arcsin \sqrt{\frac{K_1 S_b}{2R_k}}, \quad (15)$$

$$t_n = \sqrt{\frac{4M}{K_1}} \arcsin \sqrt{\frac{K_1 S_n}{2R_k}}. \quad (16)$$

Высота открытия выхлопных окон равна:

а) При прямом ходе

$$h_b = S_b - S'_x = \frac{R_k}{K_1} \left(\cos \sqrt{\frac{K_1}{M}} t_x - \cos \sqrt{\frac{K_1}{M}} t_b \right), \quad (17)$$

где $t''_b = \sqrt{\frac{4M}{K_1}} \arcsin \sqrt{\frac{K_1 S''_b}{2R_k}}$ — время пробега выхлопных окон

при прямом ходе в сек (рис. 4).

Из уравнения (4) и (7) имеем

$$K_1 = \frac{2}{S_b} \left(R_k - \frac{L_{(Sb)}}{S_b} \right). \quad (18)$$

Работа определяется из формулы

$$L_{(sb)} = S_b \left[F(p_{cp} - p_{тр}) + F_k p_1 \right] - \frac{p_{кб} F_6 S_{сб}}{n_c - 1} \left[1 - \left(\frac{S_{сб}}{S_{сб} + S_b} \right)^{n_c - 1} \right], \quad (19)$$

где F ; F_k ; F_6 — площадь поршня цилиндра дизеля компрессора и буфера в $см^2$,

p_{cp} — среднее давление в цилиндре дизеля во время предворения выхлопа и продувки в $кг/см^2$,

$p_{тр}$ — среднее давление трения в $кг/см^2$,

p_1 — среднее давление в цилиндре компрессора в период всасывания в $кг/см^2$,

$p_{кб}$ — давление в конце сжатия в цилиндре буфера в $кг/см^2$,

$S_{сб}$ — приведенная высота вредного пространства цилиндра буфера в $м$,

n_c — средний показатель эквивалентной политропы сжатия в буфере.

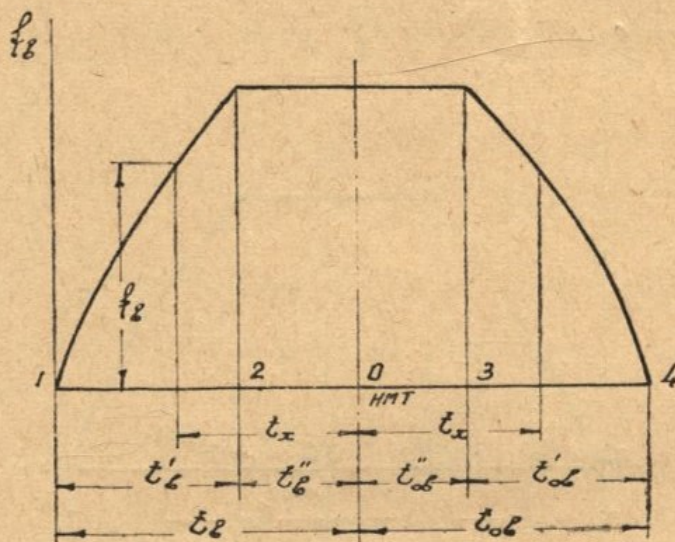


Рис. 4.

б) При обратном ходе

$$h_{об} = S_b - S_x = \frac{R_{ок}}{K_{01}} \left(\cos \sqrt{\frac{K_{01}}{M}} t_x - \cos \sqrt{\frac{K_{01}}{M}} t_{об} \right) \quad (20)$$

$t_{об} \geq t_x \geq t'_{об},$

где $t'_{об} = \sqrt{\frac{4M}{K_{01}}} \arcsin \sqrt{\frac{K_{01} S''_b}{2R_{ок}}}$ — время пробега выхлопных окон при обратном ходе в сек (рис. 4).

Из уравнения (5) и (7) имеем

$$K_{01} = \frac{2}{S_b} \left(R_{ок} - \frac{L_{0(sb)}}{S_b} \right) \quad (21)$$

Работу $L_{0(sb)}$ определяем по формуле

$$L_{0(sb)} = \frac{P_{кб} F_6 S_{сб}}{n_p - 1} \left[1 - \left(\frac{S_{сб}}{S_{сб} + S_b} \right)^{n_p - 1} \right] - \frac{P_1 F_k S_{ак}}{n_k - 1} \left[\left(\frac{S_{ак}}{S_{ак} - S_b} \right)^{n_k - 1} - 1 \right] - S_b F (P_{cp} + P_{тр}), \quad (22)$$

где n_p — средний показатель эквивалентной политропы расширения в буфере;

$$S_{ак} = S + S_{бр} \text{ в м,}$$

S — ход поршня в м,

$S_{бр}$ — приведенная высота вредного пространства цилиндра компрессора в м.

Высота открытия продувочных окон равна:

а) При прямом ходе

$$h_x = S_{н} - S_x = \frac{R_k}{K_1} \left(\cos \sqrt{\frac{K_1}{M}} t_x - \cos \sqrt{\frac{K_1}{M}} t_n \right) \quad (23)$$

$$t_n \geq t_x \geq t''_n,$$

где $t''_n = \sqrt{\frac{4M}{K_1}} \arcsin \sqrt{\frac{K_1 S''_n}{2R_k}}$ — время пробега продувочных окон при прямом ходе в сек (рис. 5).

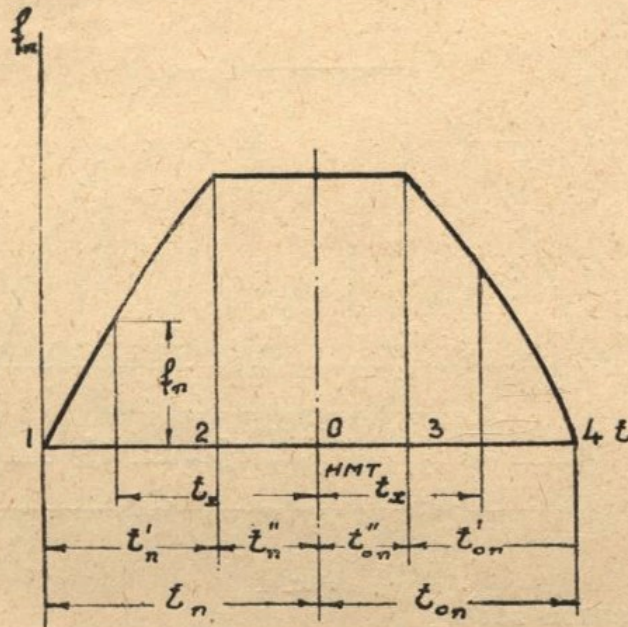


Рис. 5.

б) При обратном ходе

$$h_x = \frac{R_{ок}}{K_{01}} \left(\cos \sqrt{\frac{K_{01}}{M}} t_x - \cos \sqrt{\frac{K_{01}}{M}} t_{он} \right)$$

$$t_{он} \geq t_x \geq t''_{он}, \quad (24)$$

где $t''_{он} = \sqrt{\frac{4M}{K_{01}}} \arcsin \sqrt{\frac{K_{01} S''_{он}}{2R_{ок}}}$ — время пробега продувочных окон при обратном ходе в сек (рис. 5).

Величины (K_1) и (K_{01}) определяются из формул (18÷21).

Изменения проходного сечения окон (f_x) при постоянной ширине ($b = \text{пост.}$) в зависимости от t показано на рис. 4, 5.

В этом случае элементарное располагаемое время-сечение определяется из формулы

$$dA = f_x dt.$$

(25)

Подставляя в уравнение (25) значение f_x и интегрируя в пределах от t_b до t_x , получаем формулы для определения текущего располагаемого время-сечения выхлопных окон (рис. 4). На участке 1+2

$$\begin{aligned}
 A_b &= B_b \int_{t_x}^{t_b} \left(\cos \sqrt{\frac{K_1}{M}} t - \cos \sqrt{\frac{K_1}{M}} t_b \right) dt = \\
 &= B_b \left[\sqrt{\frac{M}{K_1}} \left(\sin \sqrt{\frac{K_1}{M}} t_b - \sin \sqrt{\frac{K_1}{M}} t_x \right) - \right. \\
 &\quad \left. - (t_b - t_x) \cos \sqrt{\frac{K_1}{M}} t_b \right], \\
 &\quad t_b \geq t_x \geq t''_b,
 \end{aligned} \tag{26}$$

где

$$B_b = m_b b_b \frac{R_k}{K_1} \cos \delta.$$

На интервале 2+0

$$\begin{aligned}
 A_b &= B_b \left[\sqrt{\frac{M}{K_1}} \left(\sin \sqrt{\frac{K_1}{M}} t_b - \sin \sqrt{\frac{K_1}{M}} t''_b \right) - \right. \\
 &\quad \left. - (t_b - t''_b) \cos \sqrt{\frac{K_1}{M}} t_b \right] + B'_b (t''_b - t_x) = A'_b + B'_b (t''_b - t_x) \\
 &\quad t''_b \geq t_x \geq 0,
 \end{aligned} \tag{27}$$

где

$$B'_b = S'_b m_b b_b \cos \delta.$$

На участке 0+3

$$\begin{aligned}
 A_b &= A'_b + B'_b (t''_b + t_x) \\
 &\quad t''_{ob} \geq t_x \geq 0.
 \end{aligned} \tag{28}$$

На интервале 3+4

$$\begin{aligned}
 A_b &= A'_b + B'_b (t''_b + t''_{ob}) + B_{ob} \int_{t''_{ob}}^{t_x} \left(\cos \sqrt{\frac{K_{01}}{M}} t - \cos \sqrt{\frac{K_{01}}{M}} t_{ob} \right) dt = \\
 &= A'_b + B'_b (t''_b + t''_{ob}) + B_{ob} \left[\sqrt{\frac{M}{K_{01}}} \left(\sin \sqrt{\frac{K_{01}}{M}} t_x - \sin \sqrt{\frac{K_{01}}{M}} t''_{ob} \right) - \right. \\
 &\quad \left. - (t_x - t''_{ob}) \cos \sqrt{\frac{K_{01}}{M}} t_{ob} \right] \\
 &\quad t_{ob} \geq t_x \geq t''_{ob},
 \end{aligned}$$

где

$$B_{ob} = m_b b_b \frac{R_{0k}}{K_{01}} \cos \delta.$$

(29)

Формулы для определения располагаемого время-сечения продувочных окон (при постоянной ширине) получаем интегрированием уравнения (25).

Из участка 1+2 (рис. 5)

$$\begin{aligned}
 A_n &= B_n \int_{t_x}^{t_n} \left(\cos \sqrt{\frac{K_1}{M}} t - \cos \sqrt{\frac{K_1}{M}} t_n \right) dt = \\
 &= B_n \left[\sqrt{\frac{K_1}{M}} \left(\sin \sqrt{\frac{K_1}{M}} t_n - \sin \sqrt{\frac{K_1}{M}} t_x \right) - \right. \\
 &\quad \left. - (t_n - t_x) \cos \sqrt{\frac{K_1}{M}} t_n \right] \quad (30) \\
 &\quad t_n \geq t_x \geq t''_n,
 \end{aligned}$$

где

$$B_n = m_n b_n \frac{R_k}{K_1} \cos \delta.$$

На интервале 2+0

$$\begin{aligned}
 A_n + B_n \left[\sqrt{\frac{M}{K_1}} \left(\sin \sqrt{\frac{K_1}{M}} t_n - \sin \sqrt{\frac{K_1}{M}} t''_n \right) - \right. \\
 \left. - (t_n - t''_n) \cos \sqrt{\frac{K_1}{M}} t_n \right] + B'_n (t''_n - t_x) = A'_n + B'_n (t''_n - t_x) \quad (31) \\
 t''_n \geq t_x \geq 0,
 \end{aligned}$$

где

$$B'_n = m_n b_n S'_n \cos \delta.$$

На участке 0+3

$$\begin{aligned}
 A_n = A'_n + B'_n (t_n + t_x) \quad (32) \\
 t''_{0n} \geq t_x \geq 0.
 \end{aligned}$$

На интервале 3+4

$$\begin{aligned}
 A_n = A'_n + B'_n (t''_n + t''_{0n}) + B_{0n} \int_{t''_{0n}}^{t_x} \left(\cos \sqrt{\frac{K_{01}}{M}} t_x - \cos \sqrt{\frac{K_{01}}{M}} t_{0n} \right) dt = \\
 = A'_n + B'_n (t''_n + t''_{0n}) + B_{0n} \left[\sqrt{\frac{M}{K_{01}}} \left(\sin \sqrt{\frac{K_{01}}{M}} t''_{0n} - \sin \sqrt{\frac{K_{01}}{M}} t_n \right) - \right. \\
 \left. - (t_x - t''_{0n}) \cos \sqrt{\frac{K_{01}}{M}} t_{0n} \right] \quad (33) \\
 t_{0n} \geq t_x \geq t''_{0n},
 \end{aligned}$$

где

$$B_{0n} = m_n b_n \frac{R_{0k}}{K_{01}} \cos \delta.$$

Расчеты показали, что располагаемое время-сечение окон, подсчитанное изложенной методикой, почти не отличается от действительного располагаемого время-сечения.

На рис. 6 показано изменение проходного сечения выхлопных и продувочных окон свободно-поршневого генератора газа Луганского тепловозостроительного завода им. Октябрьской революции.

На рис. 6 видно, что время-сечение при обратном ходе незначительно отличается от времени-сечения при прямом ходе. Следовательно, для определения полного располагаемого время-сечения окон с достаточной для практики точностью можно принять

$$R_{0к} = R_k; K_{01} = K_1.$$

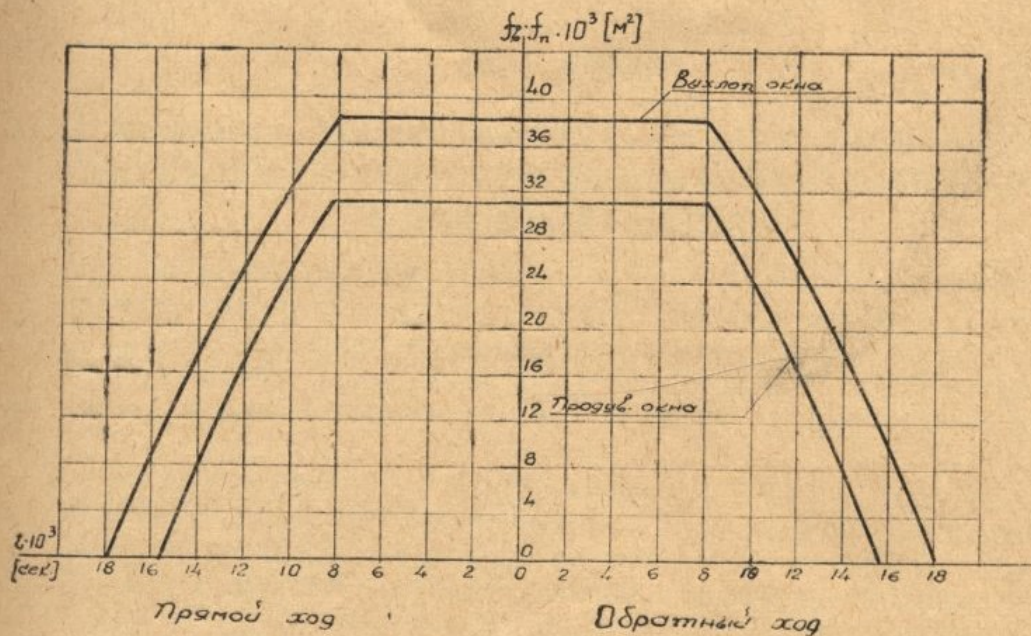


Рис. 6. Изменение проходного сечения выхлопных и продувочных окон в (f) t.

При сделанных допущениях уравнения для определения полного располагаемого время-сечения принимают такой вид: для выхлопных окон

$$A_{в\text{ пол}} = 2 \left\{ B_b \left[\sqrt{\frac{M}{K_1}} \left(\sin \sqrt{\frac{K_1}{M}} t_b - \sin \sqrt{\frac{K_1}{M}} t_b'' \right) - (t_b - t_b'') \cos \sqrt{\frac{K_1}{M}} t_b \right] + B'_b t_b'' \right\}; \quad (34)$$

для продувочных окон

$$A_{п\text{ пол}} = 2 \left\{ B_n \left[\sqrt{\frac{M}{K_1}} \left(\sin \sqrt{\frac{K_1}{M}} t_n - \sin \sqrt{\frac{K_1}{M}} t_n'' \right) - (t_n - t_n'') \cos \sqrt{\frac{K_1}{M}} t_n \right] + B'_n t_n'' \right\}. \quad (35)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Глаголев Н. М. Рабочие процессы двигателей внутреннего сгорания. Машгиз, 1950.
2. Орлин А. С. Двухтактные легкие двигатели. Машгиз, 1950.
3. Орлин А. С. Исследование рабочего процесса двухтактного авиационного двигателя ЮМО-207А. Оборонгиз, 1946.
4. Мелькумов Г. М. Теория быстроходного двигателя с самовоспламенением. Оборонгиз, 1950.