Тяга. Тягу одной лопасти получим, если проинтегрируем уравнение (18) по $\bar{r} = \frac{r}{R}$ в пределах от 0 до 1, заменив в нем выражения U_x^2 и $U_x U_y$ из уравнений (12) и (13):

$$
\left.
\begin{aligned}
T_1 &= \int_0^1 dT_1 = A\rho c R \int_0^1 (\Theta U_x^2 + U_x U_y) d\bar{r} = \\
&= A\rho c R^3 \Omega^2 \int_0^1 \Big[\Theta\left(\bar{r}^2 + \frac{1}{2}\mu^2 + 2\mu\bar{r}\sin\psi\right) + x\bar{r} + \\
&+ \left(x_1\mu - a_1\bar{r}^2 + \frac{1}{4}a_1\mu^2\right)\sin\psi + \Big(b_1\bar{r}^2 - a_0\mu\bar{r} + \\
&+ \frac{1}{4}b_1\mu^2\Big)\cos\psi\Big] d\bar{r} = A\rho c R^3\Omega^2\Big[\Theta\Big(\frac{1}{3} + \frac{1}{2}\mu^2 + \\
&+ \mu\sin\psi\Big) + \frac{x}{2} + \left(x\mu - \frac{a_1}{3} + \frac{1}{4}a_1\mu^2\right)\sin\psi + \\
&+ \left(\frac{b_1}{3} - \frac{a_0\mu}{2} + \frac{1}{4}b_1\mu^2\right)\cos\psi\Big] = A\rho c R^3\Omega^2\Big\{\frac{x}{2} + \\
&+ \frac{1}{3}\Theta\left(1 + \frac{3}{2}\mu^2\right) + \Big[\mu(\Theta + x) - \\
&- \frac{a_1}{3}\left(1 - \frac{3}{4}\mu^2\right)\Big]\sin\psi + \left[\frac{b_1}{3}\left(1 + \frac{3}{4}\mu^2\right) - \frac{a_0}{2}\mu\right]\cos\psi\Big\}.
\end{aligned}
\right\} \quad (22)
$$

Для получения полной средней тяги ротора, имеющего z лопастей, мы должны просуммировать тяги отдельных лопастей. При суммировании по 4 или 3 лопастям периодические члены выражения (22) с $\sin\psi$ и $\cos\psi$ в полную среднюю тягу не войдут, так как взаимно уничтожатся [1]. Полная тяга ротора будет равна:

$$
T = \frac{z}{2\pi}\int_0^{2\pi} T_1 d\psi = zc\rho R^3\Omega^2 A\left[\frac{x}{2} + \frac{1}{3}\Theta\left(1 + \frac{3}{2}\mu^2\right)\right]. \quad (23)
$$

Формула (22) для тяги одной лопасти неточна, так как в ней нет вторых и высших гармонических членов угла ψ, которые не были нами включены в выражения U_x^2 и $U_x U_y$. На полную же среднюю тягу (23) вторые и высшие гармонические члены угла ψ не повлияют.

Если в формулу (23) ввести коэфициент заполнения k, являющийся отношением поверхности всех лопастей к ометаемому диску и который для прямоугольных лопастей выразится:

$$
k = \frac{zcR}{\pi R^2} = \frac{zc}{\pi R},
$$

[1] Например, при 4 лопастях сумма членов с $\sin\psi$ будет:

$$
\sum \sin\psi = \sin\psi_1 + \sin\left(\psi_1 + \frac{\pi}{2}\right) + \sin(\psi_1 + \pi) + \sin\left(\psi + \frac{3}{2}\pi\right) = \sin\psi + \cos\psi - \\
- \sin\psi - \cos\psi = 0.
$$

то получим:

$$T = k\rho\pi R^2(\Omega R)^2 \cdot t, \tag{24}$$

где

$$t = \frac{T}{k\rho\pi R^2(\Omega R)^2} = A\left[\frac{x}{2} + \frac{1}{3}\Theta\left(1 + \frac{3}{2}\mu^2\right)\right] \tag{25}$$

является абсолютным коэфициентом тяги, отнесенной к квадрату окружной скорости, площади ометаемого диска, плотности воздуха и коэфициенту заполнения ротора.

Продольная сила. Интегрируя уравнение (20) по $\bar{r}$ [подставив предварительно dM_1; dT_1 и β из (2), (18) и (19) и заменив U_x^2; U_yU_x; U_y^2 из формул (12), (13) и (14)], а затем суммируя по z лопастям, получим полную продольную силу ротора:

$$\left.\begin{aligned} H = \frac{z}{2\pi}\int_0^{2\pi} d\psi \int_0^1 dH_1 = zc\rho R^3\Omega^2 A\Big[\frac{1}{2}\mu\left(\frac{\delta}{A} - x\Theta\right) + \\ + \frac{\Theta a_1}{3}\left(1 + \frac{3}{8}\mu^2\right) + \frac{3}{4}xa_1 + \frac{1}{8}\mu\left(2a_0^2 + a_1^2 - b_1^2\right) - \\ - \frac{a_0b_1}{6}\left(1 - \frac{3}{4}\mu^2\right)\Big]. \end{aligned}\right\} \tag{26}$$

Вводя коэфициент заполнения k, мы получим окончательно:

$$H = k\rho\pi R^2(\Omega R)^2 \cdot h, \tag{27}$$

где h есть коэфициент продольной силы, равный:

$$\left.\begin{aligned} h = A\Big[\frac{1}{2}\mu\left(\frac{\delta}{A} - x\Theta\right) + \frac{\Theta a_1}{3}\left(1 + \frac{3}{8}\mu^2\right) + \\ + \frac{3}{4}xa_1 + \frac{1}{8}\mu\left(2a_0^2 + a_1^2 - b_1^2\right) - \frac{a_0b_1}{6}\left(1 - \frac{3}{4}\mu^2\right)\Big]. \end{aligned}\right\} \tag{28}$$

Поперечная сила. Интегрируя уравнение (21) по r и суммируя затем по z лопастям, получим среднюю поперечную силу:

$$\left.\begin{aligned} S = \frac{z}{2\pi}\int_0^{2\pi} d\psi \int_0^1 dS_1 = zc\rho R^3\Omega^2 A\Big\{\frac{b_1}{6}\Big[\Theta\left(2 + \frac{9}{4}\mu^2\right) + \\ + \frac{9}{2}\left(x + \frac{a_1\mu}{3}\right) - \frac{3}{2}\mu a_0\left(x + \frac{1}{2}\Theta\right) + \frac{a_0a_1}{6}\left(1 - \frac{21}{4}\mu^2\right)\Big\} \end{aligned}\right\} \tag{29}$$

или

$$S = k\rho\pi R^2(\Omega R)^2 \cdot s,$$

где

$$\left.\begin{aligned} s = A\Big\{\frac{b_1}{6}\Big[\Theta\left(2 + \frac{9}{4}\mu^2\right) + \frac{9}{2}\left(x + \frac{a_1\mu}{3}\right)\Big] - \\ - \frac{3}{2}\mu a_0\left(x + \frac{\Theta}{2}\right) + \frac{a_0a_1}{6}\left(1 - \frac{21}{4}\mu^2\right)\Big\}. \end{aligned}\right\} \tag{30}$$

Для того чтобы определить коэфициенты тяги продольной и поперечных сил по формулам (25), (28) и (30), необходимо установить связь между величинами, входящими в эти уравнения,—μ, x, a_0, a_1, b_1, Θ, A и δ, а при данных Θ, A, δ и заданном режиме ротора μ найти x, a_0, a_1, b_1.