



УДК 532.5.013.12, 616-073.175:616-073.178

Чмовж В.В.<sup>1</sup>, к.т.н., доц., Гарюк О.Г.<sup>2</sup> к.м.н., доц., Нечипоренко А.С.<sup>3</sup>,  
к.т.н., доц.

<sup>1</sup>Национальный аэрокосмический университет «ХАИ», г. Харьков

<sup>2</sup>Харьковская медицинская академия последипломного образования, г. Харьков

<sup>3</sup>Харьковский национальный университет радиоелектроники, г. Харьков,  
Украина

## АЭРОДИНАМИКА НОСОВОЙ ПОЛОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Для объективной оценки носового дыхания в современной медицинской практике наиболее широко используется риноманометрия. Данный метод позволяет получить соотношения между расходом воздушного потока через носовую полость  $Q$  и внутриносовым дифференциальным давлением  $\Delta p$ . Большинство риноманометрических исследований основано на методе передней активной риноманометрии, где результатом проведения риноманометрии является расчёт носового сопротивления  $R$ .

В большинстве случаев расчёт коэффициента носового сопротивления выполняется по формуле  $R = \frac{\Delta p}{Q}$  при одном из фиксированных значений дифференциального давления  $\Delta p$  (75, 100, 150 Па). Данная методика построена в предположении линейной зависимости между расходом  $Q$  и дифференциальным давлением  $\Delta p$ , что соответствует ламинарному режиму течения потока в носовой полости, тогда как при течении воздушного потока через носовую полость имеет место также и турбулентный режим течения. В этом случае дифференциальное давление  $\Delta p$  в зависимости от расхода  $Q$  может определяться по формуле  $\Delta p = k_1 Q + k_2 Q^2$ , (1)

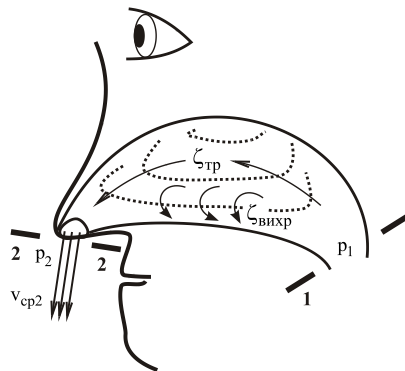
где  $k_1$  – коэффициент сопротивления при ламинарном течении воздушного потока в носовой полости,  $k_2$  – коэффициент сопротивления при турбулентном течении.

Носовая полость представляет собой канал нерегулярной формы (рис. 1). Внутриносое дифференциальное давление  $\Delta p$ , с одной стороны, представляет разность между полным давлением в носоглотке  $p_1$  и наружным давлением  $p_2$

$$\Delta p = p_1 - p_2 .$$

С другой стороны, дифференциальное давление  $\Delta p$  есть результат потерь давления на трение  $\Delta p_{тр}$  и вихреобразование  $\Delta p_{вихр}$ , не зависимо от режима течения внутри полости носа:

$$\Delta p = \Delta p_{тр} + \Delta p_{вихр} .$$



**Рис. 1 – Схема течения воздушного потока в полости носа**

В процессе дыхания режим течения может изменяться от ламинарного до турбулентного при изменении расхода воздушного потока через носовую полость  $Q$ .

Суммарный коэффициент сопротивления полости носа  $\zeta$  определяется из уравнения Бернулли для двух сечений 1–2:

$$p_1 = p_2 + \zeta_{тр} \frac{\rho_2 v_{cp2}^2}{2} + \zeta_{вихр} \frac{\rho_2 v_{cp2}^2}{2} ,$$



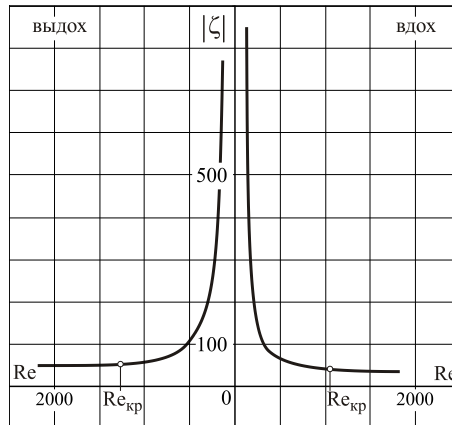
где  $\rho_2$  – плотность воздушного потока,  $v_{cp2}$  – средняя скорость потока через ноздрю,  $\zeta_{тр}$  и  $\zeta_{вихр}$  – коэффициенты потерь на трение и вихреобразование, соответственно.

Общее выражение для коэффициента сопротивления, независимо от режима течения, как для ламинарного, так и для турбулентного имеет вид

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho_2 v_{cp2}^2} = \frac{A}{Re} + B. \quad (2)$$

Таким образом, соотношение между первым и вторым слагаемыми в формуле (2) будет зависеть от формы носовой полости и числа Рейнольдса, а безразмерные константы  $A$  и  $B$  будут связывать между собой носы различных конфигураций, которые, однако, должны выполнять аналогичные физиологические функции. Физический смысл коэффициентов, входящих в формулы (1) и (2)  $A$ ,  $k_1$  и  $B$ ,  $k_2$  не изменяется. Однако  $A$  и  $B$  – безразмерные константы, а, следовательно, и коэффициент сопротивления носовой полости  $\zeta$  тоже величина безразмерная.

Экспериментально полученная зависимость  $\zeta = f(Re)$  (Рис. 2) для носового дыхания является гиперболической. Можно видеть, что с некоторого числа Рейнольдса  $Re_{кр}$  коэффициент сопротивления становится практически постоянным для разных чисел Рейнольдса, и режим течения переходит от ламинарного к турбулентному. Числам Рейнольдса  $Re > Re_{кр}$  отвечает зона турбулентной автомодельности, в которой закон изменения дифференциального давления  $\Delta p$  от расхода  $Q$  является квадратичным.



**Рис. 2 – Зависимость коэффициента сопротивления от числа Рейнольдса**

Предложенный подход анализа риноманометрических данных позволяет перейти к безразмерным коэффициентам гидродинамического сопротивления, определяющих аэродинамику носовой полости, для выработки показателей нормы и патологии в клинике.