

ФИЗИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ГОЛОСА ЧЕЛОВЕКА

Студент гр.113718 Хоченков А.В.,
кандидат физ.-мат. наук, доцент Бумай Ю.А.
Белорусский национальный технический университет

Целью данной работы являлся анализ механизма формирования голоса человека.

Основная роль в воспроизведении звука человеком принадлежит голосовым связкам, которые управляются гортанными мышцами. Черпаловидные мышцы изменяют ширину голосовой щели, а перстнещитовидная и голосовые – натяжение голосовых связок.

Перед воспроизведением звука человеком голосовая щель закрыта, при этом давление в груди превышает ~ 400 Па (над атмосферным) и находится на уровне ~ 2000 Па. Связки выгибаются и в некоторый момент открываются. В образовавшуюся щель воздух проходит с большой скоростью и, согласно уравнению Бернулли ($P + \rho v^2 / 2 = \text{const}$), давление под голосовыми связками понижается. Вследствие этого они смыкаются, закрывая голосовую щель. Такое периодическое открытие-закрытие голосовой щели (называемое колебаниями Бернулли) модулирует поток выдыхаемого воздуха и приводит к звучанию на частоте модуляции.

Частота открытия щели, зависящая от натяжения связок, определяет частоту основного тона издаваемого звука. Так как эти колебания являются негармоническими, то в звуковой волне присутствуют многочисленные гармоники. Этот спектр далее изменяется свойствами носоглотки и ротовой полости, которые являются резонаторами. Конечный спектральный состав звука определяет его тембр. Речевая зона человека лежит в интервале ~ 300 Гц – $3,5$ кГц.

Шепот реализуется тогда, когда голосовая щель закрыта, но остается маленькое треугольное отверстие, через которое проходит воздух. В этом случае колебаний Бернулли не происходит, а для воспроизведения звука используется модуляция шума, создаваемого проходящим воздухом.

В настоящей работе предложена физико-математическая модель колебаний Бернулли, определена частота колебаний, зависящая от упругих свойств голосовых связок и предголосового давления. Обсуждается также костная проводимость звука.