

## АКУСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТДЕЛЬНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН НА ОРГАНИЗМЫ ЛЮДЕЙ

У. Н. ТУЧИНА

*Днепропетровский национальный университет  
Физико-технический факультет  
E-mail : utuchina@rambler.ru*

### ВВЕДЕНИЕ

Огромное количество данных о высоком уровне шумов свидетельствуют о нежелательности полетов сверхзвуковых лайнеров над населенными территориями. Однако вопрос о том, насколько выгодно строительство сверхзвуковых самолетов, летающих только над океанами, остается открытым.

Во многих странах продолжают исследования как в области создания традиционных сверхзвуковых пассажирских самолетов большой пассажироместимости, а также нового класса сверхзвуковых деловых самолетов. Основными препятствиями на пути создания подобных самолетов являются эмиссия двигателя, шум на местности и звуковой удар. Продвижение в решении первых двух проблем происходит эволюционным путем и зависит от прогресса в области двигателестроения. В решении же проблемы звукового удара необходим настоящий прорыв, который показал бы, что масштаб бедствия от звукового удара можно управлять, а это в свою очередь возможно на основе глубокого понимания, как физики самого явления, так и оценки его воздействия на человека и окружающую среду.

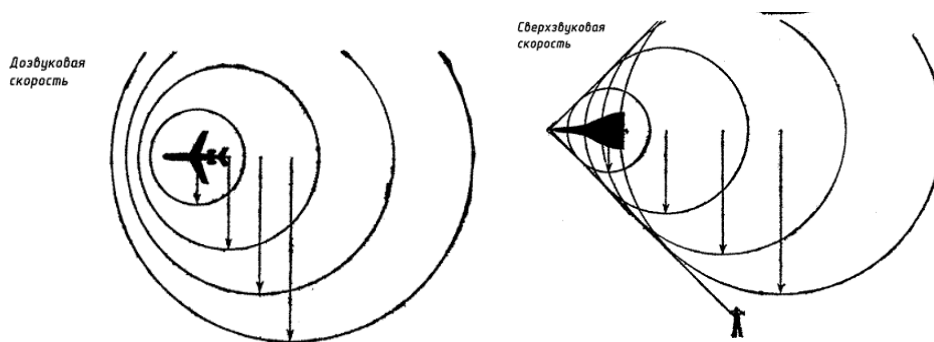
С большей или меньшей интенсивностью ведутся работы в этом направлении в США компаниями «Локхид Мартин» и «Эрион», в Европейском сообществе компанией «Дассо Авиасьон» и в России альянсом под руководством компании «Гражданские самолеты Сухого» с участием ЦАГИ и ЦИАМа.

Предпринимались попытки каким-то образом нормировать допустимые уровни звукового удара, чтобы избежать жалоб в густонаселенных районах. Для этого предлагалось использовать различные меры, шкалы и индексы. Многие годы считалось, что главным показателем уровня звукового удара является избыточное давление в скачке – показатель, характеризующий то, насколько давление в ударной волне превышает давление невозмущенной среды. Однако сегодня большинство исследователей пришли к выводу, что основная метрика звукового удара – избыточное давление в скачке не должно являться единственной мерой оценки уровня звукового удара. Необходимо учитывать акустические характеристики звукового удара и вводить новую метрику. В работе Чернышева С.Л. [1] предлагается в качестве количественной оценки воздействия использовать громкость звукового удара. Эта характеристика в значительной мере зависит от психофизиологического восприятия сигнала людьми. Здесь присутствует существенная субъективная составляющая – чувствительность слухового аппарата человека.

Целью настоящей работы является использование для количественной оценки воздействия звукового удара спектров этих ударов и оценка частот, на которых сосредоточена основная энергия удара, проведение сравнительного анализа совпадения этих частот с резонансными частотами органов человека.

## 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ УДАРНЫХ ВОЛН

С первыми же полетами сверхзвуковых истребителей в нашу жизнь прочно вошло выражение «преодолевать звуковой барьер». Многие считали, что грохот возникает лишь тогда, когда самолет преодолевает звуковой барьер. В действительности же сверхзвуковой самолет «тащит» за собой многочисленные ударные волны, которые широкой (в несколько километров) «дорожкой» устилают весь его путь. Такой источник также излучает волны в виде сфер, центр которых все время сдвигается в направлении движения источника.



В газодинамике хорошо описан механизм образования ударной волны конической формы вследствие движения объекта со сверхзвуковой скоростью. Чтобы ударная волна значительной величины дошла до земли, число Маха у самолета, идущего на высоте 10 000 м, должно превышать 1,3. Ударные волны возникают во всех точках, где форма самолета претерпевает изменения. Например, в местах соединения крыльев с корпусом, у обтекателей мотора, у стабилизаторов и рулей, но все эти второстепенные волны сливаются по мере распространения, так что до земли доходят только два основных удара — от носа и от хвоста, что и придает ударной волне N-образную форму.

Явление звукового удара не поддается полному моделированию в лабораторных условиях. В аэродинамических трубах практически невозможно смоделировать неоднородность атмосферы по плотности, температуре и ветру, а летный эксперимент является очень дорогостоящим. Поэтому основными инструментами исследований звукового удара являются расчетные методы. Созданный за последнее время инструментарий позволяет достаточно надежно предсказывать уровень звукового удара в детерминированных условиях, когда состояние неоднородной атмосферы в масштабах времени распространения звукового удара остается неизменным и в ней отсутствуют турбулентные возмущения.

## 2. ОСОБЕННОСТИ АКУСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА УДАРНОЙ ВОЛНЫ И ЕЁ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

На большом расстоянии волна «N» начинает видоизменяться в результате более быстрого поглощения составляющих с низкой спектральной плотностью, она «округляется», и, в конечном итоге, остаются акустические инфразвуковые волны. В

работе L. Pimonova [2] и других работах по шумам летательных аппаратов показано, что амплитудная характеристика звукового давления акустических волн при пролете самолета со сверхзвуковой скоростью достигает максимума на частоте 1,5 Гц. Таким образом, необходимо анализировать спектральные составляющие ударных волн, приходящих к Земле при полете сверхзвуковых самолетов, при этом особое внимание следует обратить на низкочастотный диапазон. Поскольку именно низкочастотные составляющие имеют наибольшую дальность распространения и являются наиболее энергонесущими.

Из литературы известно, что собственные резонансные частоты колебаний органов человека: голова - 20 - 30 Гц, глаза 40 - 100 Гц, вестибулярный аппарат 0,5 - 13 Гц, сердце 4 - 6 Гц, позвоночник 4 - 6 Гц, желудок 2 - 3 Гц, кишечник 2 - 4 Гц, почки 6 - 8 Гц, руки 2 - 5 Гц. Приведенные данные свидетельствуют об опасности для здоровья при воздействии интенсивных низкочастотных волн на организмы людей, при этом чувствительность людей к звуку низких частот в значительной мере индивидуальна.

В работе Leatherwood J., Sullivan B [3] приведены результаты экспериментальных исследований по воздействию ударных волн на человека с разными амплитудами и профилями избыточного давления, где показано, что реакция людей сильно различается: от резко негативной для N-волны (рис. 1, а), условно приемлемой (рис. 1, б) до полностью приемлемой (рис. 1, в). Однако, сравнивая эти эпюры в терминах избыточного давления, трудно сказать, какая из эпюр является предпочтительной.

### 3. АНАЛИЗ ЭПЮР ОТДЕЛЬНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН

В настоящей работе для исследования приняты эпюры этих же трех ударных волн (рисунок 1). Максимальное значение давления одинаково для всех трех ударных волн и равно 55 Па, при этом профили этих эпюр различны. В первом случае (рис. 1, а) представлена N-волна с резким скачком давления до максимального значения и длительностью воздействия 0,16с; во втором случае (рис. 1, б) нарастание давления имеет ступенчатый характер и длительность воздействия равна также 0,16 с; в третьем случае в начальный момент времени давление нарастает практически мгновенно, а затем постепенно достигает максимума, а длительность воздействия равна 0,3 с.

Для получения спектральных характеристик рассматриваемых ударных волн использован стандартный метод разложения непериодической функции в ряд Фурье в программе Mathcad.

В результате получены графики непрерывных спектров рассматриваемых функций.

### 4. АНАЛИЗ РАСЧЕТНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Из полученных спектров (рис. 2) видно, что основная энергия сосредоточена в области низких частот, а именно до 50 Гц. Причем в первом и во втором случаях максимум достигается в районе 30 Гц, а в третьем случае – 15 Гц. Следует также отметить, что в третьем случае энергия, сосредоточенная в диапазоне до 30 Гц почти в два раза больше, чем в первом и втором случае. Поэтому при однократном воздействии третья эпюра ударной волны, признанная как «наиболее приемлемая», может оказаться не столь безопасной при многократном воздействии в течении длительного времени.

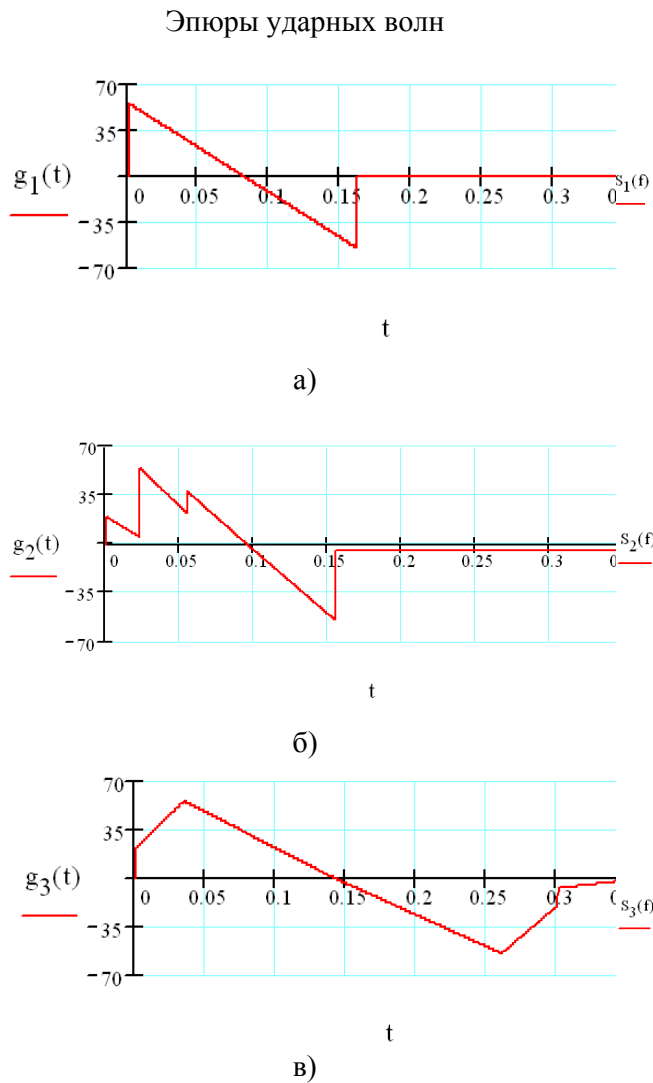


Рисунок 1

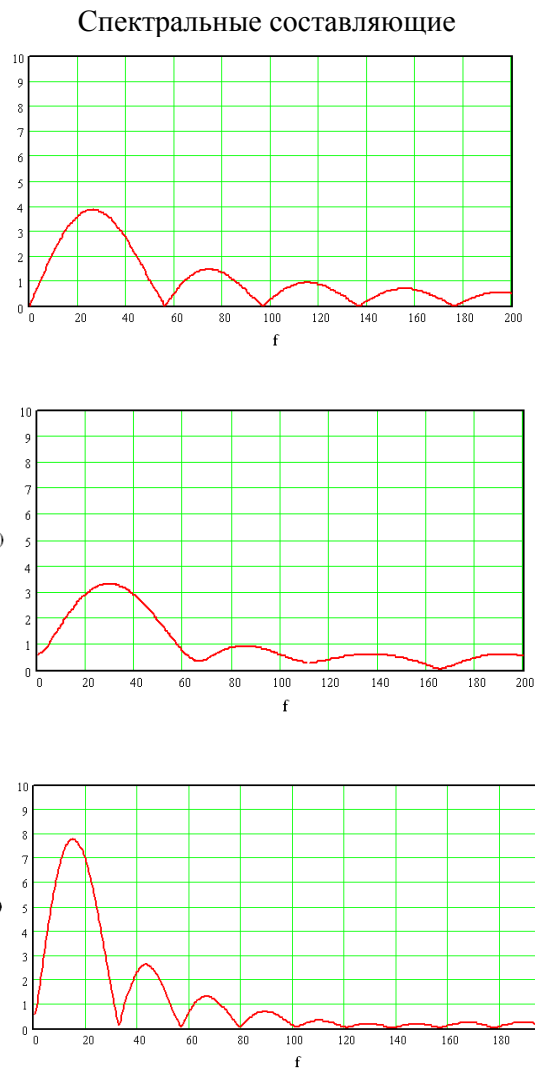


Рисунок 2

На основании сравнительного анализа полученных результатов (рис.2) и данных о собственных резонансных частотах органов человека [4] можно сделать вывод, что для более подробного анализа воздействия звукового удара на людей, в дополнение к громкости, стоит рассматривать и спектральный состав воздействующей ударной волны. Поскольку совпадение основных энергонесущих частот ударной волны с собственными резонансными частотами органов человека может вызвать негативные последствия. В [3] экспериментально исследовано однократное воздействие звуковых ударов на людей. А полеты сверхзвуковых самолетов предполагается выполнять регулярно. Поэтому необходимы дополнительные исследования для получения более точных сведений о последствиях периодического воздействия ударных волн на людей в течение длительного времени.

Поскольку, неожиданность скачкообразного изменения давления и очень короткий по времени импульс оценивается человеком негативно непосредственно в момент воздействия ударной волны. Продолжительное воздействие низкочастотных составляющих может привести к развитию различных заболеваний, как это показано в работе [5]. В этой работе приведены результаты обследования лиц, которое выявило

наличие болезненных симптомов нарушения функций внутренних органов у людей длительное время пребывающих вблизи аэродромов и ракетных полигонов.

При проектировании новых сверхзвуковых пассажирских самолетов необходимо стремиться к минимизации звукового удара. А для этого необходимо четко представлять характеристики звукового удара, которые являются наиболее критичными. Поэтому в качестве метрик звукового удара следует рассматривать как избыточное давление, громкость звука так и спектральный состав ударной волны формируемой сверхзвуковым самолетом.

## **ВЫВОДЫ**

1. Предложен метод анализа воздействия звуковых ударов на человека.
2. Проведено сравнение амплитудно-частотных характеристик рассматриваемых ударных волн с резонансными частотами органов человека.
3. Разработаны рекомендации, которые могут быть учтены при проектировании конструкций новых СПС.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Чернышев С.Л.* Сверхзвуковой деловой самолет с низким уровнем звукового удара. «Полет», вып. 12, 2006.
2. *Pimonov L.* Les infra-sons. - Paris: CNRS. – 1976. – P. 277.
3. *Leatherwood J., Sullivan B.* Laboratory study of effects of sound boom shaping on subjective loudness and acceptability. NASA-TP-3269, 2005.
4. *Сокол Г.И.* Особенности акустических процессов в инфразвуковом диапазоне частот. Дн-вск. 2000.
5. *Вартамян И.А.* Звук - слух - мозг. – Л., Наука, 1981. – 176 с.