

Магнитная подвеска в звукоизолирующих кабинах для конфиденциальных переговоров

Д.т.н., профессор И.И. Боголепов;
магистр Чэнь Сятин,*

ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

В истории развития человечества изобретения играют огромную роль: достаточно вспомнить такие как колесо, деньги, шариковая ручка. В последнее время получило распространение изобретение под названием «магнитная подвеска». В первую очередь, «магнитная подвеска» – это бесконтактное подвешивание транспортного средства с воздушным зазором над путевым устройством. Осуществляется она с помощью постоянных магнитов (принцип отталкивания), регулируемых электромагнитов (принцип притяжения) или электромагнитов на транспортном средстве и токопроводящих обмоток, уложенных в путь (принцип отталкивания). В качестве тяговых двигателей используются линейные электродвигатели. В японской префектуре Яманаси был построен испытательный участок, на котором 2 декабря 2003 года опытный состав из трёх вагонов с магнитной подвеской установил абсолютный рекорд скорости для железнодорожного транспорта – 581 км/ч [1].

Известны конструкции «магнитной подвески» для других конструкций, например, для маховика, включающие как постоянные магниты или магнитные системы в виде магнитов, снабженных арматурой, так и электромагниты (см. Джента Дж., Накопление кинетической энергии, М. : Мир, 1998, с.206-210, рис.4.7, 4.9).

В статье «Звукоизолирующая панель с максимально возможной звукоизолирующей способностью» и в патенте на изобретение В.Э. Абракитов, используя магнитную подвеску, предлагает вакуумную панель, которая в сочетании с несущей конструкцией обеспечит, по мнению автора, бесконечную звукоизоляцию, то есть $R = \infty$ дБ [2, 3].

В состав изобретения звукоизолирующей панели с максимально возможной звукоизолирующей способностью (рис. 1) входят герметичный корпус 1, изготовленный из фторопласта, в который замурована арматура 2 из металла, с внутренней полостью 3, в которой обеспечено наличие среднего вакуума. Корпус 1 имеет звукопоглощающие прокладки на лицевой 4 и тыльной 5 сторонах, при этом в корпус 1 и несущие конструкции 6 сооружения, к которым он прикреплен, установлены магниты 7. Их полярность и напряженность магнитного поля подобраны таким образом, чтобы отсутствовал прямой механический контакт между корпусом 1 и несущими конструкциями 6 и между ними был образован промежуток 8, заполненный воздухом.

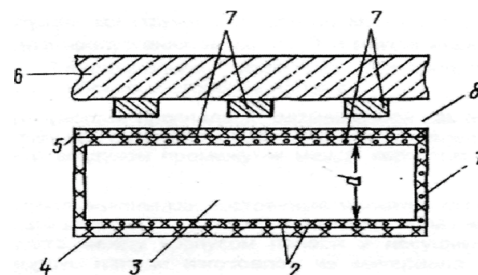


Рисунок 1. Схема звукоизолирующей конструкции Абракитова В.Э.

Автор предлагает хорошую идею – магнитное крепление (подвеска) звукоизолирующей вакуумной панели, которое может решить проблему звукового мостика за счет отсутствия механического контакта между панелью и основной конструкцией, например, так, как это представлено на рис. 2.

Но как на практике воспользоваться этим изобретением? Возникают следующие вопросы (см. рис. 2):

1. Шум может распространяться через промежуток, заполненный воздухом между вакуумной панелью и несущей конструкцией у края панели, обходя панель по краям. Тогда максимально возможная звукоизоляция панели будет близка к нулю?
2. Звукоизолирующая панель и несущая конструкция на потолке может крепиться через магнитное притягивание, на полу может крепиться через магнитное отталкивание, а как обеспечить магнитную подвеску панели на вертикальной стене?

На основе приведенного изобретения и с разрешения его автора было предложено использовать магнитную подвеску в звукоизолирующих кабинах для конфиденциальных переговоров, а именно следующим образом.

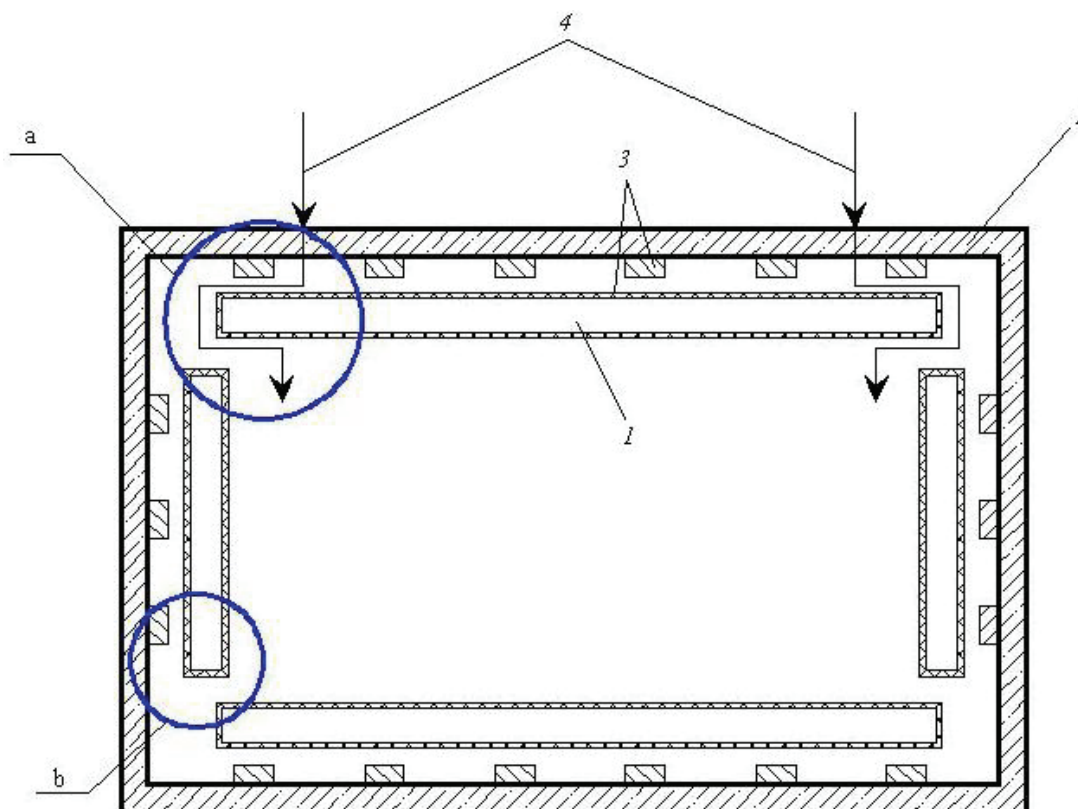


Рисунок 2. Звукоизоляция помещения с помощью конструкции Абракитова В.Э.

1 – вакуумная звукоизолирующая панель; 2 – несущая конструкция;

3 – магниты; 4 – шумы.

Кабина для конфиденциальных переговоров представляет собой помещение в помещении. Одно из них – обычное помещение учреждений бизнеса, властных структур или дипломатического представительства. Второе – специальная звукоизолирующая кабина, где ведутся конфиденциальные переговоры, установленная внутри первого помещения. На рис. 3 представлена схема, по которой замкнутая прямоугольная звукоизолирующая оболочка кабины вокруг переговорщиков может весьма эффективно акустически изолировать их от окружающей среды обычного помещения.

Здесь надо использовать два понятия: «звукоизоляция переговорщиков» и «звукоизолирующая оболочка вокруг переговорщиков». Звукоизоляция переговорщиков есть разность в дБ между уровнем звука подслушивающих людей в расчетной точке, когда переговорщики не имеют звукоизолирующей оболочки, и уровнем звука переговорщиков со звукоизолирующей оболочкой вокруг них. Понятие «звукоизоляция переговорщиков» используется при *измерении* эффективности уже изготовленной звукоизолирующей кабины. В процессе *проектирования* используется другое понятие, а именно «звукоизоляция оболочки вокруг переговорщиков» R , дБ, адекватное понятию «звукоизоляции стены, пола потолка, окон, дверей», которое определяется как разность в дБ уровня интенсивности звука в падающих на преграду звуковых волн и уровня интенсивности в прошедших через преграду волнах.

Рассмотрим следующую типичную ситуацию, когда замкнутая звукоизолирующая оболочка вокруг источника звука переговорщиков как *точечного излучателя* акустически изолирует их от окружающего пространства подслушивающих людей, в котором *звуковое поле практически близко к диффузному*. В первом пространстве (с индексом «1») находятся центр источника со звуковой мощностью W_1 , Вт, и на некотором расстоянии от него – звукоизолирующая замкнутая оболочка с площадью S_{OB} , м². Это – главная часть звукоизолирующего бокса. Во втором помещении для подслушивающих (с индексом «2») на расстоянии r_2 , м, от центра переговорщиков с оболочкой находится расчетная точка, где должна быть выполнена норма звука для невозможности подслушивания L_H , дБ. Тогда интенсивность звука, падающая на звукоизолирующую оболочку из первого пространства по направлению ко второму, запишется так:

$$J_1 = W_1 \left(\frac{\chi_1 \tilde{\chi}}{S_{OB}} + \frac{1}{\kappa_1 Q_1} \right).$$

Средняя величина расстояния от центра переговорщиков до расчетной точки подслушивающих людей рассчитывается по формуле: $r_1 = \sqrt{\frac{S_{OB}}{2\pi}}$. Коэффициент звукоизоляции оболочки r (не путать с r_1) равен отношению интенсивности звука в падающих на оболочку волнах к интенсивности в прошедших через неё, а именно: $r = \frac{J_1}{J_{21}}$. Мощность звука, излучаемая оболочкой площадью S_{OB} , m^2 , во второе помещение:

$$W_2 = J_{21} S_{OB} = \frac{J_1}{r} S_{OB} = W_1 \left(\frac{\chi_1 \tilde{\chi}}{S_{OB}} + \frac{1}{\kappa_1 Q_1} \right) \cdot \frac{S_{OB}}{r}$$

Интенсивность звука в расчетной точке помещения, где находится подслушивающий человек, выразится зависимостью:

$$J_2 = W_2 \left(\frac{\chi_2}{2\pi r_2^2} + \frac{4}{\kappa_2 Q_2} \right) = W_1 \left(\frac{\chi_1 \tilde{\chi}}{S_{OB}} + \frac{1}{\kappa_1 Q_1} \right) \cdot \frac{S_{OB}}{r} \left(\frac{\chi_2}{2\pi r_2^2} + \frac{4}{\kappa_2 Q_2} \right)$$

Примем в дальнейших расчетах: $Q_1 = \frac{\alpha_1 S_{OB}}{1 - \alpha_1}$, $Q_2 = \frac{\alpha_2 S_2}{1 - \alpha_2}$, где α_1 и α_2 – средние коэффициенты звукопоглощения на поверхностях S_{OB} и S_2 . Тогда имеем

$$J_2 = W_1 \left(\frac{\chi_1 \tilde{\chi}}{S_{OB}} + \frac{1 - \alpha_1}{\kappa_1 \alpha_1 S_{OB}} \right) \cdot \frac{S_{OB}}{r} \left(\frac{\chi_2}{2\pi r_2^2} + \frac{4}{\kappa_2 Q_2} \right) = W_1 \left(\chi_1 \tilde{\chi} + \frac{1 - \alpha_1}{\kappa_1 \alpha_1} \right) \cdot \frac{1}{r} \left(\frac{\chi_2}{2\pi r_2^2} + \frac{4}{\kappa_2 Q_2} \right)$$

Отсюда получаем в расчетной точке помещения 2 уровень звукового давления $L_{p(2)}$, дБ, который должен быть в этой точке меньше нормы допустимого звука L_H , дБ. Получается следующая формула снижения звука путем установки звукоизоляции переговорщиков R , дБ:

$$L_{p(2)} = L_{W(1)} + 10 \lg \left(\chi_1 \tilde{\chi} + \frac{1 - \alpha_1}{\kappa_1 \alpha_1} \right) + 10 \lg \left(\frac{\chi_2}{2\pi r_2^2} + \frac{4}{\kappa_2 Q_2} \right) - R_{TP} \leq L_H$$

Требуемая звукоизоляция переговорщиков R_{TP} , дБ, для выполнения нормы допустимого звука L_H , дБ, выразится формулой:

$$R_{TP} = L_{W(1)} + 10 \lg + 10 \lg \left(\chi_1 \tilde{\chi} + \frac{1 - \alpha_1}{\kappa_1 \alpha_1} \right) - L_H$$

Здесь сразу следует отметить, что величина L_H в дБ должна быть практически равна нулю или быть даже отрицательной. Только тогда будет надежно обеспечено отсутствие подслушивания. Величина L_H определяется заказчиком.

В представленной формуле R_{TP} : величина $\tilde{\chi}$ – поправка на ближнее поле в пространстве между переговорщиками и оболочкой, имеет значения, представленные в таблице 1; величина χ – коэффициент, учитывающий влияние ближнего звукового поля, когда расстояние r_i меньше удвоенного максимального габарита источника звука переговорщиков; $2l_{МАКС}$ имеет значения, представленные в таблице 2; величина κ – коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении в зависимости от среднего коэффициента звукопоглощения α_{CP} , имеет значения, представленные в таблице 3.

Таблица 1. Значения поправки на ближнее поле между переговорщиками и оболочкой

Октавные полосы частот, Гц	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\tilde{\chi}$	100	14	3	1	1	1	1	1	1

Окончательно имеем для спроектированной звукоизоляции $R \geq R_{TP}$ расчетные формулы:

$$L_{p(2)} = L_{w(1)} + 10 \lg \left(\chi_1 \tilde{\chi} + \frac{1 - \alpha_1}{\kappa_1 \alpha_1} \right) + 10 \lg \left(\frac{\chi_2}{2\pi r_H^2} + \frac{4}{\kappa_2 Q_2} \right) - R \quad (1)$$

$$L_{p(2)} < L_H \quad (2)$$

Таблица 2. Значения коэффициента влияния ближнего поля χ

$r_1 / l_{\text{МАКС}}$	χ
0,6 и меньше	3,00
0,8	2,50
1,0	2,00
1,2	1,60
1,5	1,25
2,0 и больше	1,00

Таблица 3. Значения коэффициента нарушения диффузности звукового поля κ

α	κ
0,1 и меньше	1,00
0,2	1,25
0,4	1,60
0,5	2,00
0,6 и больше	2,50

Главную часть кабины по представленным формулам становится возможным спроектировать всегда и затем реализовать звукоизоляцию от воздушного шума без особого труда [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. Сложнее обстоит дело со структурной составляющей звука – передачей звуковой энергии от пола бокса к полу офиса и далее по строительным конструкциям, иногда на большое расстояние.

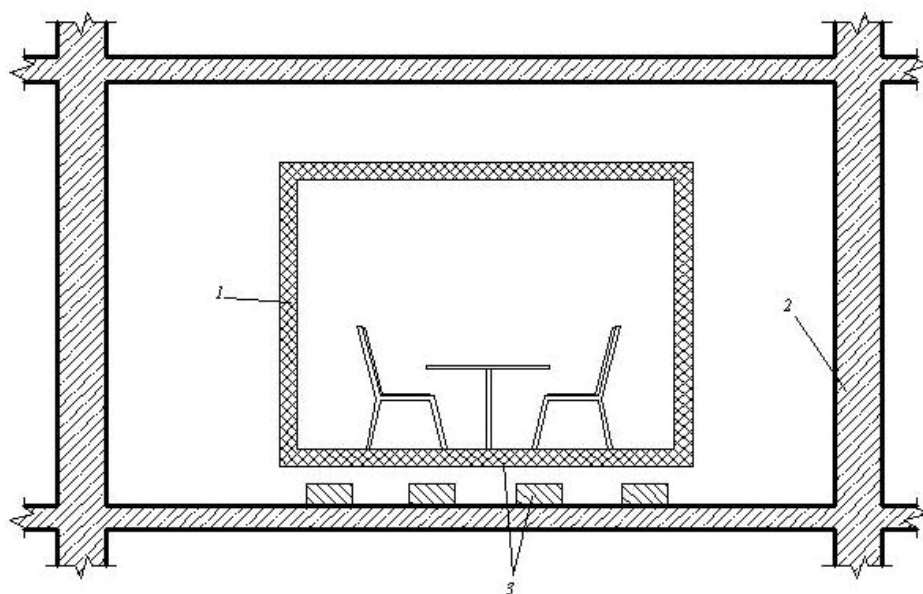


Рисунок 3. Звукоизолирующая кабина для конфиденциальных переговоров прямоугольной формы конструкции Боголепова И.И. и Чэнь Сятина

1 – стенки кабины; 2 – стена помещения; 3 – магнитная подвеска

Это наше первое предложение.

Если необходимо кардинально прекратить утечку речевой информации, как по путям воздушного звука, так и по путям структурного звука, авторы предлагают выполнить кабину из двух стальных сферических оболочек, выкачав воздух между стенками и поддерживая внутреннюю оболочку относительно внешней посредством магнитной подвески во взвешенном состоянии. В остальном здесь следует использовать принципы конструирования звукоизолирующей прямоугольной кабины. Материалом оболочки кроме стали может стать дюралюминий, титан, стеклопластик, углепластик и их комбинация. В такой кабине звукоизоляция и от воздушного звука, и от структурного звука может быть сколь угодно большой. Кроме того, сферическая кабина является единственным эффективным средством изоляции от инфразвука [6]. Инфразвук большой интенсивности с частотой от 1 Гц до 5 Гц может оказать губительное воздействие на человека, особенно на его умственные способности. Здесь это исключено. Кабина сферической формы с такой звукоизоляцией представлена на рис. 4.

Современные методы подслушивания могут воспользоваться именно этим путем распространения речевой информации. Обычно для предотвращения передачи структурного звука используют акустические виброизоляторы, устанавливаемые под боксом. Но лучше, по нашему мнению, в отдельных случаях воспользоваться магнитной подвеской Абрамкова В.Э., полностью исключая механический контакт между кабиной и помещением. Мы предлагаем использовать магнитную подвеску в звукоизолирующих прямоугольных кабинах для конфиденциальных переговоров, исключив утечку речевой информации, более эффективно изолировав структурный звук, как показано на рис. 3.

Это наше второе предложение.

В первом и во втором предложениях не указаны конструкции: автономной системы регенерации воздуха, специальной двери и, главное, самой магнитной подвески. Без конкретных конструкций реализовать наши предложения, конечно, нельзя. Такие конструкции – дело дальнейшей огромной работы. Но направления ее хорошо известны. Прототипом автономной системы регенерации воздуха и специальной двери могут быть великолепные разработки в этой области для атомных подводных лодок и для космических аппаратов. Прототипом магнитной подвески в звукоизолирующих кабинах для конфиденциальных переговоров – уже упомянутая вначале ультрасовременная магнитная подвеска сверхскоростных ультрасовременных поездов.

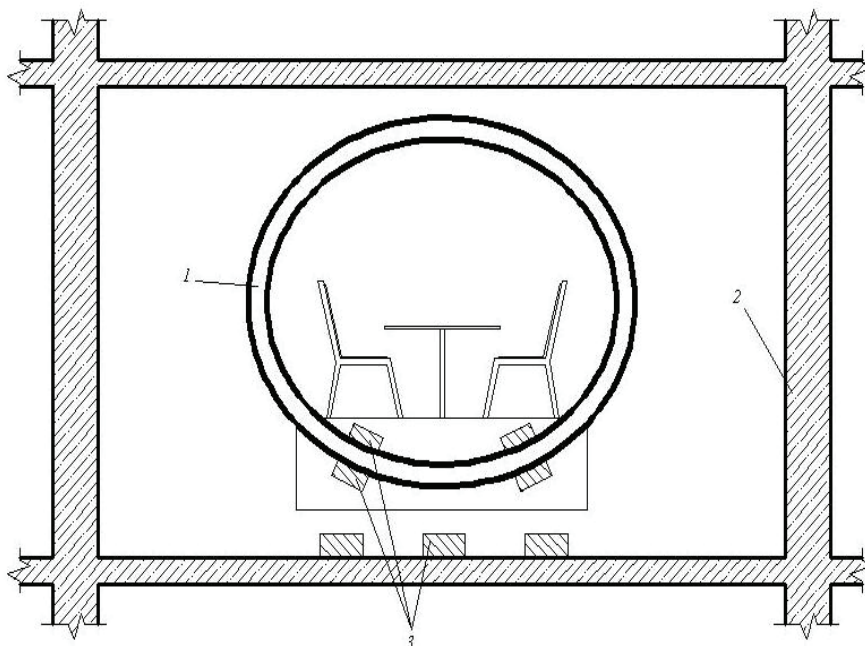


Рисунок 4. Сферическая кабина для переговоров особой важности конструкции Боголепова И.И. и Чэнь Сятина.
1 – вакуум между двух сферических оболочек; 2 – стена помещения; 3 – магнитные подвески для изоляции от воздушного и структурного звука

То есть наше предложение – вполне реальное дело высоких технологий, модернизации и диверсификации. Следует подчеркнуть, что предлагаемые звукоизолирующие кабины для конфиденциальных переговоров прямоугольной и, особенно, сферической формы рационально проектировать, изготавливать и испытывать специалистам в области звукоизоляции [2, 4, 5, 6, 8 и 12], магнитной подвески, автономной регенерации воздуха и обеспечения вакуума, что только и обеспечит необходимые акустические, технологические и эксплуатационные характеристики нового изделия hi-tech.

В заключение авторы призывают всех необходимых специалистов, в том числе и из других стран, объединиться для работы над проблемой использования идеи магнитной подвески в звукоизолирующих конструкциях.

Литература

1. Все самое интересное о поездах на магнитном подвесе [Электронный ресурс] // Elektrik Info. URL: <http://www.electrik.info/main/fakty/63-vse-samoe-interesnoe-o-poezdakh-na.html> (дата обращения: 16.06.2010).
2. Абракитов В. Э. Звукоизолирующая панель с максимально возможной звукоизолирующей способностью // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 2 (12). С. 56-58.
3. Патент № 2083775 (Россия). Абракитов В.Э. Звукоизолирующая панель с максимально возможной звукоизолирующей способностью. Изобретения, Официальный бюллетень, М., 1997, №19.
4. Справочник по судовой акустике / Под общей ред. И.И. Ключкина и И.И. Боголепова. Л. : Судостроение, 1978. 504 с.
5. Контроль шума в промышленности. Предупреждение, снижение и контроль промышленного шума в Англии / Под ред. Дж. Вебба. Пер. с англ. яз. под ред. И.И. Боголепова. Л. : Судостроение, 1981. 311 с.
6. Боголепов И. И. Промышленная звукоизоляция. Теория, исследования, проектирование, изготовление, контроль: Монография / Предисловие академика АН СССР И. А. Глебова. Л. : Судостроение, 1986. 368 с.
7. Боголепов И. И. Архитектурная акустика : Учебник-справочник / Предисловие академика АН СССР и РАН И. А. Глебова. СПб. : Судостроение, 2001. 226 с.
8. Звукоизоляция и звукопоглощение : Учебное пособие для студентов вузов / Под ред. Г.Л. Осипова, В.Н. Бобылева. М. : АСТ – Астрель; 2004. 450 с.
9. Боголепов И. И. Строительная акустика / Предисловие академика РАН Ю.С. Васильева. СПб. : Издательство СПбГПУ, 2006. 323 с.
10. Боголепов И. И. Вакуумные звукоизолирующие конструкции // Инженерно-строительный журнал. 2008. № 1.
11. Боголепов И. И. Увеличение звукоизоляции двустенных конструкций за счет применения звукоизолирующих мостиков // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 2 (4).
12. Боголепов И. И. Строительная акустика. Второе издание. Предисловие академика РАН Ю.С. Васильева. Рукопись. Санкт-Петербург. Издательство Политехнического университета, 2010.

* Игорь Ильич Боголепов, Санкт-Петербург
 Тел. раб.: +7(812)297-59-49; эл. почта: i.bogolepov@mail.ru