

**Муселемов Хайрулла Магомедмурадович**

канд. техн. наук, доцент, старший преподаватель

**Устарханов Осман Магомедович**

д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой

**Устарханов Тагир Османович**

инженер, ассистент кафедры

**Лабазанов Лабазан Абдулгаджиевич**

аспирант

**Вишталов Раджаб Исабекович**

канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный

технический университет»

г. Махачкала, Республика Дагестан

## **УТОЧНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ РАСЧЕТА ТРЕХСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

*Аннотация: исследованию трехслойных пластин и оболочек посвящено значительное число работ. В этих работах достаточно подробно изучены многие задачи расчета и проектирования многослойных оболочек. На основе теорий В.В. Болотина, Э.И. Григорюка, А.Б. Губенко и других, решены задачи расчета стержней, пластин и оболочек под действием статических и динамических нагрузок. Предложены инженерные методики расчета и оценка эффективности, основанные на результатах экспериментальных исследований. Разработаны и испытаны различные ТК (трехслойные конструкции) применительно к конкретным задачам. Однако, как отмечают авторы статьи, несмотря на большое количество выполненных работ, остаются нерешенными многие важные задачи исследования напряженно-деформированного состояния ТК. Наряду с механическими и тепловыми свойствами трехслойных конструкций видится их широкое применение в различных изделиях с целью шумоизоляции,*

радиопоглощения, в конструкциях, ставящих цель предотвращения сквозного проникновения тех или иных предметов (например, защита от метеоритного, осколочного и др.).

**Ключевые слова:** трехслойная конструкция, напряженно-деформированное состояние, радиопоглощение, экспериментальные исследования, дифференциальные уравнения.

В настоящее время к теории расчета трехслойных пластин и оболочек подходят с двух точек зрения: для вывода уравнений равновесия (движения) применяются кинематические гипотезы для каждого отдельного слоя, при этом порядок уравнений зависит от числа слоев; для вывода уравнений равновесия (движения) используются гипотезы, применяемые для пакета в целом, при этом вводятся допущения о характере распределения перемещений или напряжений по толщине заполнителя.

При расчетах конструкций с легким заполнителем и тонкими несущими слоями как правило используются следующие допущения: напряжения  $\sigma_{xx}$ ,  $\sigma_{yy}$  в заполнителе равны нулю; поперечные деформации заполнителя (в направлении по нормали к поверхности несущих слоев) пренебрежимо малы; несущие слои рассматриваются как мембранны; несущие слои подчиняются гипотезе Кирхгофа-Лява о сохранении нормали; перемещения в заполнителе подчиняются гипотезе Нойта «ломаной линии».

Приведенные гипотезы и допущения при решении большинства практических задач в значительной мере справедливы, особенно если речь идет о конструкциях с относительно большими линейными размерами и отсутствием локальных нагрузок. Они упрощают алгоритм и методику расчета, существенно понижая порядок получаемой системы дифференциальных уравнений, описывающих напряженно-деформированное состояние ТК, но при появлении новых задач, связанных с широким применением ТК в связи с их высокими удельными характеристиками, многофункциональностью и выполнением ряда других задач,

а также уменьшением линейных размеров проектируемых изделий, постановка задачи существенным образом меняется. Часть трехслойных пакетов работают, испытывая ряд нагрузок, имеющих большой коэффициент изменяемости. К тому же часто влияние одной нагрузки накладывается на влияние другой. Особенно это касается окрестностей точек приложения сосредоточенных сил, вблизи опорных закреплений (т.е. в зонах краевых эффектов). Согласно гипотезе Нойта касательные напряжения в плоскостях X Oz и Y Oz постоянны, т.е. разрушение заполнителя равновероятно в любой точке по высоте ТК. Однако практика экспериментальных исследований ТК показывает, что их разрушение почти всегда происходит либо на границе «заполнитель – несущий слой», либо вблизи этой границы, следовательно, касательные напряжения в заполнителе не являются постоянными.

Несмотря на относительно малые значения нормальных напряжений ( $\sigma_{xx}$  и  $\sigma_{yy}$ ) в заполнителе, действующих в направлениях, параллельных срединным поверхностям несущих слоев, эти напряжения вследствие относительно большой толщины среднего слоя воспринимают значительную долю всей энергии, затрачиваемой на деформацию ТК (в некоторых случаях до 20–30%), с другой стороны эти напряжения сравнимы с предельно допустимыми для материала заполнителя, т.е. неучет большинства компонентов тензора деформации может привести к значительным погрешностям в оценке несущей способности конструкций. Кроме того, проведенные эксперименты показывают, что разрушение ТК происходит при нагрузках меньших чем критические.

Особенностью работы ТК является возможность достижения в несущих слоях при изгибе (кручении) напряжений, превышающих предел пропорциональности. Рекомендации по расчету этого явления и, как следствие, по расчету реальной несущей способности ТК, сводятся к введению соответствующих коэффициентов. Рассматриваемые рекомендации не позволяют определить место локализации зон пластического деформирования и развития этих зон,

практически отсутствуют результаты расчета нелинейного деформирования несущих слоев, которое может происходить в зависимости от вида материала несущих слоев. Кроме того, ТК характеризуются малой прочностью к действию статических и динамических сосредоточенных сил, однако эти свойства становятся все более важными в современном машиностроении, в авиационно-космической технике и в строительстве.

Все приведенное выше говорит о необходимости дальнейшего развития теории расчета трехслойных конструкций.

Проведенные авторами многолетние теоретические и экспериментальные исследования трехслойных конструкций показали, что принятые ранее гипотезы для расчета напряженно-деформированного состояния трехслойных конструкций требуют уточнения [3; 4], а именно: несущие слои подчиняются гипотезе Кирхгофа-Лява; перемещения в заполнителе по толщине описываются кубическим законом в виде  $U = A + Bz + Cz^2 + Dz^3$ , отсюда следует, что функция распределения сдвиговых напряжений имеет квадратическую зависимость; заполнитель деформируется в направлении нормали к срединной поверхности по линейному закону; несущие слои описываются моментной теорией (т. к. несущие слои могут быть достаточно жесткими); так как заполнитель, как было сказано выше, считается достаточно жестким при работе на растяжение – сжатие, при относительно большой его толщине следует считать, что он достаточно хорошо сопротивляется изгибу, т.е. заполнитель также описывается моментной теорией.

Следует еще раз отметить, что высказанное имеет практическое значение только в зонах, имеющих краевые эффекты, где показатель изменяемости конструкции достаточно велик.

В результате были получены системы дифференциальных уравнений НДС, с помощью которых с повышенной степенью достоверности можно задавать естественные граничные условия поверхности, производить расчет на прочность и определять работоспособность конструкций как в регулярных областях, так и

в зонах с краевым эффектом, т. е. решать ряд задач, которые до настоящего времени не решались [5].

Дифференциальные уравнения, полученные на основе учета нелинейности деформирования несущих слоев, подтвердили предположение о возможности достижения в них напряжений, превышающих предел пропорциональности и позволили определить зоны локализации пластических деформаций [1].

По результатам теоретических и экспериментальных исследований определены конструктивные решения, позволяющие значительно повысить стойкость ТК к действию сосредоточенной динамической нагрузки на основе использования волокнистых материалов [2; 6]. Эксперименты, проведенные с ТК на способность к снижению уровня направленных радиосигналов, показали их эффективность (рис. 1).



Рис. 1. Испытание ТК на радиопоглощение

Разработана и предложена инженерная методика расчета ТК при одновременном действии статических и сосредоточенных динамических нагрузок,

которая позволяет достаточно надежно и обоснованно с использованием разработанных автором графиков и расчетных зависимостей определять необходимые параметры проектируемых конструкций при заданных значениях нагрузок [7].

### ***Список литературы***

1. Кобелев В.Н. Учет нелинейности деформирования несущих слоев при расчете трехслойных цилиндрических оболочек / В.Н. Кобелев, О.М. Устарханов, М.М. Батдалов // Некоторые проблемы создания прогрессивной техники и технологии производства. – Махачкала, 1998. – С. 65–67.
2. Кобелев В.Н. Приведенные характеристики пирамидального заполнителя для трехслойных конструкций / В.Н. Кобелев, О.М. Устарханов, А.И. Булгаков // Авиационная техника. – Казань, 1991. – С. 3–11.
3. Устарханов О.М. Уточненная математическая модель трехслойной конструкции и оценка прочности трехслойных конструкций в зоне краевого эффекта и анализ экспериментального исследования трехслойных балок / О.М. Устарханов, Н.А. Абросимов, В.В. Кобелев // Сб. тезисов молодежной научно-технической конференции «Гагаринские чтения». – М.: МАТИ-РГТУ, 1999. – С. 49.
4. Устарханов О.М. Анализ экспериментального исследования трехслойных балок с металлическим сотовым заполнителем и композиционными несущими слоями / О.М. Устарханов, В.Н. Кобелев, В.В. Кобелев, Н.А. Абросимов // Сб. Международной научно-технической конференции «Современные научно-технические проблемы гражданской авиации». – М.: МГТУГА, 1999. – С. 32–33.
5. Устарханов О.М. Определение напряженно деформированного состояния трехслойной конструкции несимметричной структуры / О.М. Устарханов, Н.А. Абросимов // Сб. тезисов молодежной научно-технической конференции «Гагаринские чтения». – М.: МАТИ-РГТУ, 1998. – С. 85–86.

6. Устарханов О.М. Математическая обработка уравнения движения волокнистого материала при динамических нагрузлениях // Тезисы всероссийской научно-технической конференции. – Махачкала, 1996. – С. 155–156.
7. Устарханов О.М. Вопросы прочности трехслойных конструкций с регулярным дискретным заполнителем: Дис. ... д-ра техн. наук. – Ростов н/Д, 2000.