

Несимметричное опирание приводит к возникновению в балке постоянного по длине балки крутящего момента. На рисунке 2 показан график зависимости величины относительного крутящего момента от относительного расстояния между продольной осью балки и параллельного ей края одной восьмой пространства.

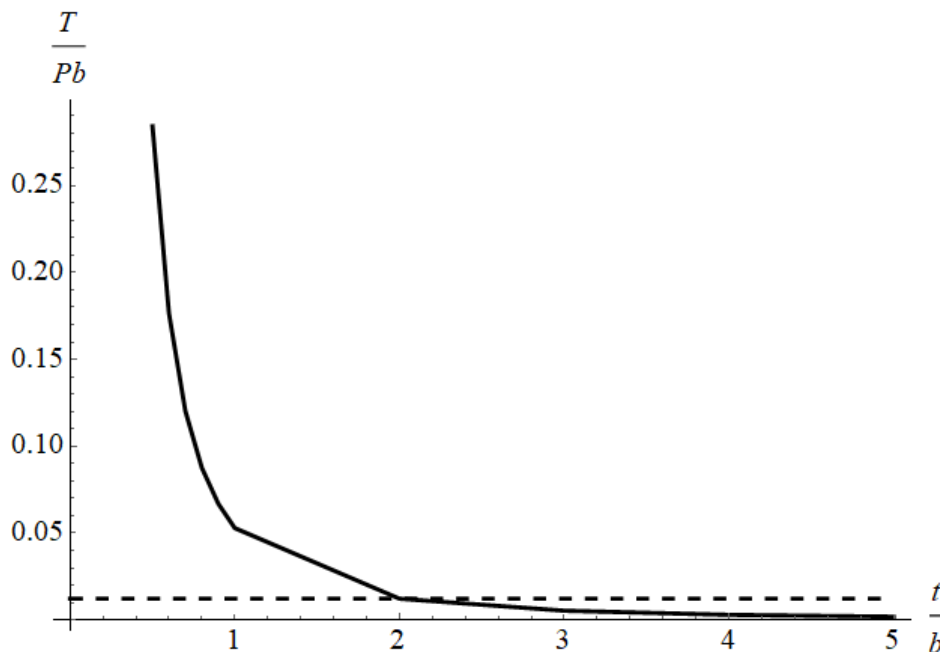


Рисунок 2 – Зависимость относительного крутящего момента  $T/(Pb)$  в балке от относительного расстояния  $t/b$  (см. рисунок 1) до края одной восьмой упругого пространства;  $P$  – сосредоточенная внешняя сила;  $b$  – ширина балки

Как видно из рисунка 2, при опирании балки на значительном расстоянии от края одной восьмой пространства, крутящие моменты стремительно убывают, и на расстоянии равном  $t = 2b$  (на рисунке 2 показано штриховой), где  $b$  – ширина балки, крутящими моментами можно пренебречь. При этом характер распределения контактных напряжений и вертикальных перемещений становится таким же, как при опирании балки на четвертьпространство, т. е. поставленная задача сводится к задаче, в которой балка опирается слева и справа на упругое четвертьпространство [5].

#### Список литературы

- 1 Горбунов-Посадов, М. И. Расчет конструкций на упругом основании / М. И. Горбунов-Посадов, Т. А. Маликова, В. И. Соломин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1984. – 680 с.
- 2 Горбунов-Посадов, М. И. Балки и плиты на упругом основании / М. И. Горбунов-Посадов. – М. : Машстройиздат, 1949. – 238 с.
- 3 Жемочкин, Б. Н. Практические методы расчетов фундаментных балок и плит на упругом основании / Б. Н. Жемочкин, А. П. Сеницын. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Госстройиздат, 1962. – 240 с.
- 4 Босаков, С. В. Статические расчеты плит на упругом основании / С. В. Босаков. – Минск : БНТУ, 2002. – 128 с.
- 5 Босаков, С. В. Решение пространственной контактной задачи для шарнирного узла опирания однопролетной балки / С. В. Босаков, П. Д. Качёк // Строительная механика и расчет сооружений. – 2019. – № 4 (285). – С. 10–19.

УДК 539.3

### РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ МНОГОСЛОЙНОГО ОСТЕКЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗКАХ

*Н. В. СМЕТАНКИНА, А. И. МЕРКУЛОВА, Д. А. МЕРКУЛОВ, А. В. ПОСТНЫЙ*  
 Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, г. Харьков

Обеспечение эффективной и безопасной эксплуатации спецтехники является одной из важнейших задач при ликвидации последствий техногенных аварий. Для решения этой задачи необходимо обеспечение прочности остекления кабин основных и специальных пожарных автомобилей как одной из наиболее уязвимых частей техники.

Характерной особенностью эксплуатации спецтехники является работа вблизи пожаров и взрывоопасных объектов, что может привести к воздействию значительных силовых и температурных нагрузок. Особо опасной является работа рядом со взрывоопасными объектами, поскольку во время взрыва на спецтехнику действуют кратковременные нагрузки большой интенсивности [1].

Пожарные автомобили предназначены для доставки личного состава, тушения пожаров и проведения спасательных работ. Как правило, пожарные автомобили производятся на базе шасси существующих грузовиков (КамАЗ, ЗИЛ, МАЗ, КрАЗ).

По площади остекление занимает значительную поверхность кабин – 1,8–2,6 м<sup>2</sup>. На многоцелевых автомобилях, как правило, присутствуют по два больших ветровых окна, разделенных центральной стойкой оконного прореза. Наибольшее применение в кабинах нашли плоские стекла. Остекление кабин, как правило, выполнено из закаленных однослойных стекол (сталинита) или трехслойных (триплекса). Толщина всех стекол кабин многоцелевых автомобилей находится в пределах 5,0–6,5 мм.

Закрепление ветровых стекол и стекол задней панели в проемах осуществляется с помощью резинового уплотнителя, который фиксируется по периметру закладки замком из полимерного материала или резины. В работе [2] установлено, что создание защитного стекла для спецтехники требует комплексного подхода и не допускает упрощенного решения задачи за счет обычного наклеивания многослойной полимерной пленки на стекло, установленное в раме. Показано, что на сегодняшний день триплекс (т. е. многослойный стеклоблок) дешевле стекла с многослойной полимерной пленкой.

Целью работы является разработка эффективных методов расчета прочности безопасного многослойного остекления спецтехники при воздействии нестационарных температурных полей.

Многослойное остекление спецтехники рассматривается как многослойная пластина с неканонической формой плана, которая собрана из слоев постоянной толщины, отнесенная к декартовой системе координат, которая связана с наружной поверхностью первого слоя. На наружных поверхностях пластины происходит конвективный теплообмен. Между слоями находятся межслойные пленочные источники тепла.

Уравнение теплопроводности и граничные условия на внешних поверхностях пластины получаем из вариационного уравнения теплового баланса [3]. Чтобы трехмерную задачу теплопроводности свести к двумерной задаче, температура в слоях и на боковой поверхности, а также удельные мощности внутренних источников тепла представляются в виде разложений в ряды по полиномам Лежандра [4].

Метод решения задачи состоит в следующем. Исходная многослойная пластина произвольной формы в плане погружается во вспомогательную многослойную прямоугольную охватывающую пластину с нулевыми условиями на контуре и с той же композицией слоев. Чтобы обеспечить выполнение реальных граничных условий, к вспомогательной пластине вдоль границы контура исходной пластины прикладываются компенсирующие источники, которые учитываются в уравнении теплопроводности в интегральном виде. Удовлетворение граничных условий на исходном контуре приводит к системе интегральных уравнений для определения распределений компенсирующих источников. Далее функции температуры и внутренних источников разлагаются в двойные тригонометрические ряды по функциям, которые удовлетворяют граничным условиям для прямоугольной пластины. Функции температуры, входящие в граничные условия исходной пластины, разлагаются в одинарный ряд вдоль исходного контура. После определения интенсивностей компенсирующих источников, вычисляются значения температур в слоях пластины. Далее решается несвязанная задача термоупругости многослойных пластин с учетом полученных температурных воздействий.

Деформирование пластины описывается в рамках уточненной теории, учитывающей деформации поперечного сдвига и обжатие материала слоев по толщине. Метод решения задачи термоупругости аналогичен методу решению задачи теплопроводности. Исходная пластина погружается во вспомогательную прямоугольную шарнирно опертую пластину. Для выполнения заданных граничных условий к вспомогательной пластине вдоль контура исходной пластины прикладываются дополнительные распределенные компенсирующие усилия и моменты. Таким образом, исходная задача о деформировании исходной пластины под действием силовой и тепловой нагрузки сводится к задаче о деформировании вспомогательной пластины под действием нагрузок, а также компенсирующих усилий и моментов [5].

Далее функции перемещений, заданных и компенсирующих нагрузок разлагаются в тригонометрические ряды по функциям, которые удовлетворяют условиям шарнирного опирания прямоугольной пластины.

На примере ветровых стекол некоторых типов спецтехники проведено численное исследование температурных полей и напряжений в слоях остекления автомобилей спецтехники. Рассмотрены трехслойные композиции ветровых стёкол для КамАЗ-5320, Урал-432 и КрАЗ-260.

Температура, которая возникает при лесных пожарах, 100–930 °С [6]. При пожарах на нефтебазах, предприятиях химической и нефтехимической промышленности температура повышается до 2000 °С [7, 8].

Установлено, что температура разрушения многослойного остекления составляет 350 °С. Если температура превышает это значение, необходимо использовать специальные пожарные танки или многоцелевые легкие бронированные тягачи, в которых стеклоблоки оборудованы броневыми крышками. При этом наблюдения за дорогой механиком-водителем ведется через смотровые устройства.

Расчётные исследования показали, что температура в стекле для всех типов спецтехники при рассматриваемых условиях не превышает температуры разрушения. То есть остекление не разрушится при таких условиях, однако другие узлы машин могут выйти из строя при значительно меньших температурах. Поэтому во время тушения пожаров необходимо устанавливать безопасную дистанцию, на которой каждый тип спецтехники выдержит температурные нагрузки.

#### Список литературы

- 1 Голяков, В. И. Метод расчета взрывозащитного остекления / В. И. Голяков, А. А. Дайлов, В. А. Кишкин // Системы безопасности. – 2004. – № 4. – С. 26–27.
- 2 Мильков, В. Г. Двухосноориентированная подиэтиленерефталатная пленка. Всегда ли необходима в пулестойком и взрывобезопасном остеклениях? / В. Г. Мильков // Технологии безопасности. – 2004. – № 6. – С. 24–26.
- 3 Smetankina, N. Calculation of temperature fields in multilayer plates and shells with distributed sources / N. Smetankina, O. Postnyi // Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Srodowiska. – 2020. – Vol. 10, no. 2 – P. 28–31.
- 4 Stationary problem of heat conductivity for complex-shape multilayer plates / A. I. Malykhina [et al.] // Вестник Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина. Сер. Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления. – 2019. – Т. 41. – С. 46–54.
- 5 Сметанкина, Н. В. Нестационарное деформирование, термоупругость и оптимизация многослойных пластин и цилиндрических оболочек: [монография] / Н. В. Сметанкина. – Харьков: Миськдрук, 2011. – 376 с.
- 6 Валендик, Э. Н. Влияние пожаров на устойчивость хвойных пород / Э. Н. Валендик, А. И. Сухинин, А. И. Косов. – Красноярск, 2006. – 96 с.
- 7 Абрамов, Ю. А. Тепловые процессы в нагреваемом резервуаре / Ю. А. Абрамов, А. Е. Басманов // Коммунальное хозяйство городов. – № 67. – 2006. – С. 357–362.
- 8 Обеспечение пожарной безопасности резервуарного парка хранения нефтепродуктов, расположенного вблизи жилых и общественных зданий / Ю. Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2009. – № 2. – С. 33–41.

УДК 539.3

## ДЕФОРМИРОВАНИЕ ТРЕХСЛОЙНОЙ КРУГЛОЙ ПЛАСТИНЫ ПОГОННЫМИ НАГРУЗКАМИ

Э. И. СТАРОВОЙТОВ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

**Введение.** Современные требования машиностроения к оценке прочностных характеристик композитных конструкций, работающих в условиях повышенных внешних нагрузок, обуславливают необходимость создания расчетных моделей, описывающих их деформирование в физически нелинейной области при различного вида нагрузках, в том числе погонных. Этой проблеме посвящен ряд публикаций. Колебания неоднородных пластин и оболочек, в том числе при контактном взаимодействии, исследовались в статьях [1–5]. Отдельные задачи квазистатического деформирования упругопластических трехслойных элементов конструкций, в том числе связанных с упругим основанием, при однократных и циклических нагрузках решены в работах [6–14].

Для трехслойного пакета пластины приняты гипотезы ломаной линии. Во внешних несущих слоях несимметричной по толщине ( $h_1 \neq h_2$ ) трехслойной круговой пластины приняты гипотезы