

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОПОР ДЛЯ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ГАРМОНИЧЕСКОЙ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ НАГРУЗКИ

С. А. БОРШЕВЕЦКИЙ<sup>1,3</sup>, Н. А. ЛОКТЕВА<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация

<sup>2</sup>НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, Российская Федерация

<sup>3</sup>ПАО «РКК «Энергия» им. С. П. Королева, г. Королев, Российская Федерация

Конструкции современных объектов машиностроения, в частности авиационно-космической техники, а также любые виды транспорта, состоят из различных деталей, узлов и панелей, соединяемых между собой различными способами. Наличие соединений предъявляет к конструкции повышенные требования в отношении ее прочностных и жесткостных свойств, что заставляет разрабатывать более совершенные методы расчета. Одним из видов проблем является расстановка дополнительных закреплений в габаритных пластинах и оболочках произвольной формы при соблюдении условия жесткости конструкции.

Актуальность проблемы обусловлена тем, что для таких пластин и оболочек отсутствуют какие-либо рекомендации по закреплениям, в отличие, например, от трубопроводов, для которых имеются строительные правила и нормы [4, 5] по расстановке опор, пусть и для конкретного вида нагружения и материала конструкции.

Целью работы является формирование методики определения расположения дополнительных опор, исходя из условия жесткости конструкции, при воздействии произвольной гармонической нагрузки.

Практическая значимость методики состоит в том, что она позволяет:

- 1) применять при проектировании различные габаритные пластины и оболочки;
- 2) учитывать различные геометрические характеристики модели, физические свойства материала, требования к жесткости конструкции;
- 3) рассчитывать конструкцию при произвольном гармоническом воздействии.

В работе рассматривается прямоугольная тонкая шарнирно-опертая пластина известного размера и постоянной толщины, имеющая дополнительные опоры внутри. Дополнительные опоры выставлены с одинаковым шагом по осям координат и образуют одинаковые сегменты. В случайное место пластины действует гармоническая сосредоточенная сила. Необходимо определить размер сегмента и положение дополнительных опор, при котором выполнялось бы условие жесткости: максимальный прогиб не превышает заданного значения.

Для определения размера сегмента будем решать следующую задачу. Имеем шарнирно опертую со всех сторон тонкую прямоугольную пластину постоянной толщины. В середину пластины приложена гармоническая сосредоточенная нагрузка. Вокруг точки приложения нагрузки на некотором радиусе, подлежащем определению, установлены четыре дополнительные опоры, образующие квадратный сегмент. В качестве модели пластины была выбрана пластина Кирхгофа – Лява [1]. Начало координат помещено в левый верхний угол пластины. Требуется определить оптимальное расположение дополнительных опор, основываясь на том факте, что максимальный прогиб не должен превышать предельно допустимой величины.

Так как прикладывается гармоническая нагрузка вида  $P(t) = P_A e^{i\omega t}$ , то и прогиб можно представить аналогичным образом:  $w(x, y, t) = w(x, y) e^{i\omega t}$ . При подстановке данных представления в уравнение движения пластины из уравнения полностью уходит компонента времени  $t$ , остается частота приложенной нагрузки  $\omega$ .

Функция прогиба определяется как сумма сверток функций влияния с соответствующей внешней нагрузкой и реакциями в дополнительных опорах. Для определения значения функции влияния выполняется разложение в ряды Фурье по координатам всех входящих в уравнения движения пластины функций таким образом, чтобы удовлетворялись граничные условия по краям пластины [2, 3].

Применяя к функции прогиба граничные условия для дополнительных опор, приходим к системе линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных реакций в опорах. Решая СЛАУ по правилу Крамера, находим эти реакции.

Затем из полученного уравнения нормальных перемещений определяются координаты расположения опор вокруг приложенной внешней нагрузки таким образом, чтобы выполнялось условие непревышения заданной величины перемещений.

Найденные координаты опор образуют единичный сегмент, удовлетворяющий условию жесткости конструкции. Далее искомая пластина разбивается на единичные сегменты с некоторыми допущениями:

- допускается уменьшать размер сегмента, вследствие геометрических размеров конструкции;
- допускается устанавливать больше опор, чем минимально необходимое количество.

Получается искомая конструкция с множеством дополнительных опор. Для нее выполняется проверка граничных условий и условия жесткости конструкции в целом при произвольном приложении гармонической нагрузки.

#### Список литературы

- 1 Волны в сплошных средах / А. Г. Горшков [и др.]. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 472 с.
- 2 Чернина, В. С. Статика тонкостенных оболочек вращения / В. С. Чернина. – М. : Наука, 1968. – 456 с.
- 3 Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1974. – 832 с.
- 4 СН 550-82. Инструкция по проектированию технологических трубопроводов из пластмассовых труб. – М., 1983.
- 5 СНиП 3.05.01-85. Внутренние санитарно-технические системы / Госстрой России. – М. : ФГУП ЦПП, 2007. – 40 с.

УДК 625.7/.8

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОФОБНОЙ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

*Д. И. БОЧКАРЁВ, В. В. ПЕТРУСЕВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Проблема разрушения дорожных покрытий от комплексного воздействия погодноклиматических факторов и транспортных нагрузок в осенне-зимний и весенне-зимний периоды эксплуатации требует поиска новых эффективных технологий профилактической и защитной обработки, альтернативных существующим.

Одной из технологий, направленных на повышение стойкости асфальтобетонных покрытий к влиянию циклов замораживания-оттаивания является их обработка составом гидрофобным профилактическим [1, 2].

В то же время необходимо провести исследование влияния его рецептур на морозостойкость асфальтобетонной смеси согласно [3].

В данной работе для проведения испытаний были изготовлены керны из асфальтобетонных смесей типов А, Б, В, Г и Д. Рецептуры состава гидрофобного профилактического приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Рецептуры состава гидрофобного профилактического

В массовых процентах

Компонент	Рецептура композиций				
	1	2	3	4	5
Связующее (шлам от очистки резервуаров)	55	60	65	70	75
Минеральный наполнитель	16	14	12	10	8
Растворитель	19	16	13	10	7
Гидрофобизатор	10	10	10	10	10

Полученные результаты исследования влияния состава гидрофобного профилактического на морозостойкость асфальтобетонной смеси представлены в таблице 2.