

системы «балка – основание» и нарушению статического равновесия. Балка приходит в движение, в ходе которого перераспределяются и растут деформации и напряжения. В связи с возникающими динамическими догрузками возможны нарушения функционирования системы, потеря несущей способности и разрушения. В работе моделируется проявление конструктивной нелинейности системы «балка – основание».

Математическая модель процесса строится путем последовательного решения следующих задач:

1 Определяется статический прогиб и изгибающий момент в балке, опирающейся на упругое основание Пастернака в соответствии с граничными условиями, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой заданной интенсивности. Прогиб используется в дальнейшем как начальное условие динамического процесса (колебаний), возникающего после внезапного образования дефекта основания. Изгибающий момент используется для сравнения статических внутренних усилий в балке с динамическими в ходе колебаний.

2 Определяются частоты и формы собственных изгибных колебаний балки, опирающейся на упругое основание Винклера.

3 Исследуются вынужденные изгибные колебания нагруженной балки на основании Винклера путем разложения нагрузки и статического прогиба, полученного еще на основании Пастернака, по формам собственных колебаний балки на основании Винклера. Таким образом, расчет вынужденных колебаний строится методом модального разложения исходного состояния и нагрузки по модам нового состояния.

Для анализа перемещений и напряжений в балке при взаимодействии ее с упругим основанием во всех задачах используется метод начальных параметров в сочетании с векторно-матричным представлением состояния произвольных сечений балки.

Полученные результаты показывают существенные приращения напряжений и значительные изменения картины напряженно-деформированного состояния, вызванные внезапным изменением структуры и расчетной схемы рассмотренной модели «балка – основания». Эти изменения необходимо учитывать при проектировании, расчете и эксплуатации стержневых конструкций, взаимодействующих с упругим основанием.

#### Список литературы

1 Поддубный, А. А. Методика расчета критической силы сжатого стержня, погруженного в упругое основание / А. А. Поддубный, В. А. Гордон // Вестник БелГУТа : Наука и транспорт. – 2019. – № 1 (38). – С. 49–52.

УДК 629.7.048.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В ПЛОСКОЙ ТЕПЛОВОЙ ТРУБЕ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ОРИЕНТАЦИИ В ПРОСТРАНСТВЕ

*П. О. ПОЛЯКОВ, Л. Н. РАБИНСКИЙ*

*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

Рассмотрена упрощенная схема проведения испытаний, в которой с одного конца трубы устанавливается единственный источник тепла в виде резистора, а с другого реализуется интенсивное локальное воздушное охлаждение с использованием закрепленного на поверхности трубы кулера. В испытаниях тепловые трубки располагаются под различными углами к горизонту, причем источник тепла находится выше зоны охлаждения, что приводит к работе испытываемых тепловых трубок против гравитации.

Проводится математическое моделирование тепловых трубок на основе одномерной модели, учитывающей процесс теплопередачи в стенках тепловой трубы, ламинарное течение газа в парaproводе и фильтрацию жидкости в пористом фитиле. Рассмотренная модель является частным случаем более общей постановки, изложенной в [1, 2]. Исследование показало возможность достоверного прогнозирования теплового состояния тепловых трубок и источника, температура которого определялась в испытаниях с использованием термопар и тепловизора и сравнивалась с результатами моделирования. Рассмотренная схема испытаний позволяет оценить достоверность параметров применяемой модели (проницаемость фитиля, капиллярное давление в фитиле и др.), а при необходимости, и идентифицировать эти параметры по результатам испытаний.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (ФЦП «Исследования и разработки» соглашение № 14.574.21.0166, RFMEFI57417X0166).

#### Список литературы

1 Lefevre, F. Coupled thermal and hydrodynamic models of flat micro heat pipes for the cooling of multiple electronic components / F. Lefevre, M. Lallemand // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2006. – Vol. 49. – No. 7–8. – P. 1375–1383.

2 Lurie, S. A. Topology optimization of the wick geometry in a flat plate heat pipe / S. A. Lurie, L. N. Rabinskiy, Y. O. Solyaev // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2019. – Vol. 128. – P. 239–247.

УДК 629.366

### ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ФИТИЛЯ В ПЛОСКИХ ТЕПЛОТВОДЯЩИХ ОСНОВАНИЯХ, РАБОТАЮЩИХ ПО ПРИНЦИПУ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ

*П. О. ПОЛЯКОВ, Л. Н. РАБИНСКИЙ, Ю. О. СОЛЯЕВ*

*Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация*

Предложена методика топологической оптимизации плоских теплоотводящих оснований, работающих по принципу тепловых труб и применяемых для охлаждения микроэлектроники. Рассматриваются основания, выполненные из меди (медные стенки/медный фитиль) и с водой в качестве рабочей жидкости. Предполагается, что толщина слоя фитиля на внутренних стенках изделия может быть переменной, то есть является неизвестной функцией координат, которая определяется в результате решения задачи топологической оптимизации. Целью оптимизации является снижение потерь давления и повышение капиллярного предела рассматриваемой плоской тепловой трубки. Расчеты проводятся в квазистационарном приближении в плоской постановке и включают в себя модель фильтрации жидкости в пористом фитиле, модель ламинарного течения газа в паропроводе и модель теплопроводности в стенке изделия с учетом эффектов конденсации/испарения рабочей жидкости. Особенностью расчетов является необходимость поиска оптимальной внутренней геометрии фитиля в плоской тепловой трубке для обеспечения одновременного снижения потерь давлений в противонаправленных потоках жидкости (в фитиле) и газа (в паропроводе). Требование по максимальной температуре нагрева в зоне подвода тепла является ограничением задачи оптимизации. В результате расчетов установлены оптимальные структуры теплоотводящих оснований различной формы с одним или несколькими источниками тепла.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (ФЦП «Исследования и разработки», соглашение № 14.574.21.0166, RFMEFI57417X0166).

УДК 631.371.06

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ РАБОЧЕГО МЕСТА МЕХАНИЗАТОРА МОБИЛЬНОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО АГРЕГАТА

*В. Б. ПОПОВ*

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Мобильный сельскохозяйственный агрегат (МСХА), состоящий из универсального энергетического средства (УЭС) и переведенной в транспортное положение (поднятой) навесной машины, регулярно работает в режиме транспортного переезда. Основным источником низкочастотных колебаний для колесных движителей УЭС являются неровности (микропрофиля) опорной поверхности (рисунок 1). Случайный характер неровностей опорной поверхности через движители воздействуют на корпус УЭС и на связанное с ним рабочее место механизатора (РММ). В данном случае при исследовании плавности хода МСХА входными сигналами технической системы являются неровности опорной поверхности  $q_1(t)$ ,  $q_2(t)$ , а выходными – перемещения РММ –  $z(t)$  и место (точка) его крепления на раме –  $z_c(t)$  относительно опорной поверхности.