

да совместного обращения интегрального преобразования Фурье – Лапласа, основанная на аналитическом представлении оригинала, а также метод обращения совместных интегральных преобразований Фурье – Лапласа и Ханкеля – Лапласа, основанный на связи соответствующих интегральных преобразований с разложениями в ряды на переменном интервале.

Для построения решений задач о нестационарных воздействиях на тонкостенные элементы конструкций, связанные с упругими и деформируемыми основаниями, будут разработаны оригинальные численно-аналитические методы и алгоритмы.

В результате разработаны постановки и методы решения новых нестационарных задач для мембран балок и пластин, связанных с деформируемыми основаниями, в качестве которых выступают основание Винклера, Пастернака, а также сплошная упругая среда.

Построены функции влияния для мембран, балок и пластин, связанных с деформируемыми основаниями Винклера и Пастернака и разработаны методы решения нестационарных задач о распространении упругих волн в тонкостенных элементах конструкций, связанных с деформируемыми основаниями.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 20-58-00023 Бел\_а и 20-08-01099 А) и БРФФИ (проект Т20Р-047).*

#### Список литературы

- 1 Старовойтов, Э. И. Изгиб упругой трехслойной круговой пластины на основании Пастернака / Э. И. Старовойтов // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2018. – Т. 24, № 3. – С. 392–406.
- 2 Starovoitov, E. I. Vibrations of circular composite plates on an elastic foundation under the action of local loads / E. I. Starovoitov, D. V. Leonenko // Mechanics of Composite Materials. – 2016. – Vol. 52 (5). – P. 665–672. – DOI: 10.1007/s11029-016-9615-y.
- 3 Starovoitov, E. I. Resonance Vibrations of a Circular Composite Plates on an Elastic Foundation / E. I. Starovoitov, D. V. Leonenko, D. V. Tarlakovsky // Mechanics of Composite Materials. – 2015. – Vol. 51 (5). – P. 561–570. – DOI: 10.1007/s11029-015-9527-2.
- 4 Starovoitov, E. I. Resonant effects of local loads on circular sandwich plates on an elastic foundation / E. I. Starovoitov, D. V. Leonenko // International Applied Mechanics. – 2010. – Vol. 46 (1). – P. 86–93. – DOI: 10.1007/s10778-010-0285-5.
- 5 Starovoytov, E. I. Cylindrical bending of an elastic rectangular sandwich plate on a deformable foundation / E. I. Starovoytov, E. P. Dorovskaya, S. A. Starovoytov // Mechanics of Composite Materials. – 2010. – Vol. 46 (1). – P. 57–68. – DOI: 10.1007/s11029-010-9126-1.
- 6 Fedotenkov, G. V. Three-Dimensional Non-stationary Motion of Timoshenko-Type Circular Cylindrical Shell / G. V. Fedotenkov, V. V. Kalinchuk, A. Y. Mitin // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2019. – Vol. 40, no. 3. – P. 311–320. – <https://doi.org/10.1134/S1995080219030107>.
- 7 Okonechnikov, A. S. Transient Interaction of Rigid Indenter with Elastic Half-plane with Adhesive Force / A. S. Okonechnikov, D. V. Tarlakovsky, G. V. Fedotenkov // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2019. – Vol. 40, no. 4. – P. 489–498. – DOI: 10.1134/S1995080219040115.
- 8 Fedotenkov, G. V. Identification of Non-stationary Load Upon Timoshenko Beam / G. V. Fedotenkov, D. V. Tarlakovsky, Y. A. Vahterova // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2019. – Vol. 40, no. 4. – P. 439–447. – DOI: 10.1134/S1995080219040061.
- 9 Mihajlova, E. Yu. A Generalized Linear Model of Dynamics of Thin Elastic Shells / E. Yu. Mihajlova, D. V. Tarlakovskii, G. V. Fedotenkov // Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya fiziko-matematicheskie nauki. – 2018. – Vol. 160, no. 3. – P. 561–577.
- 10 Mikhailova, E. Y. Transient contact problem for spherical shell and elastic half-space / E. Y. Mikhailova, G. V. Fedotenkov, D. V. Tarlakovskii // Shell Structures: Theory and Applications. Vol. 4 – Proceedings of the 11th International Conference on Shell Structures: Theory and Applications. SSTA. – 2017. – P. 301–304. – DOI: 10.1201/9781315166605-67.

УДК 656.254

## К ВОПРОСУ СНИЖЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Ю. Н. ХАРИТОНОВ

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

Основным документом, регламентирующим предельные воздействия электромагнитных полей на организм человека, являются «Санитарные правила и нормативы» изданные в 2003 году [1–3]. Согласно этим документам допускается воздействие магнитного поля промышленной частоты напряженностью 80 А/м в течение рабочего дня, то есть в течение 8 часов, при общем воздействии.

Одними из наиболее мощных источников магнитных полей промышленной частоты являются кабельные линии высокого напряжения (КЛ ВН). Наибольшему воздействию магнитных полей, инициируемых кабельными линиями, подвергается персонал, занимающийся ремонтом этих линий электропередач под напряжением. При проведении таких работ человек может находиться в непо-

средственной близости от токоведущих частей и подвергаться наибольшему воздействию магнитного поля. В связи с этим весьма актуальными является конструирование и прокладка КЛ ВН, отвечающие минимальным интенсивностям магнитных полей по их трассам.

Задача расчета и минимизации магнитных полей, возникающих при эксплуатации КЛ ВН в тоннелях, является актуальной в связи с интенсивным строительством метрополитенов. Используемые ранее маслonaполненные кабели (МНК), так же, как и кабели с бумажно-пропитанной изоляцией, имели достаточно узкую область применения из-за своих конструктивных особенностей и технических характеристик. За счет относительно небольших рабочих токов в маслonaполненных кабелях и применения трехфазных кабелей с бумажно-пропитанной изоляцией, напряженность магнитных полей по их трассам была мала. Область применения кабелей с появлением изоляции из сшитого полиэтилена существенно расширилась за счет больших значений рабочих токов. Конструктивное исполнение таких кабелей в подавляющем большинстве случаев одножильное. Поэтому напряженности магнитных полей, инициируемых КЛ ВН с изоляцией из сшитого полиэтилена, могут иметь достаточно большое значение.

Для снижения интенсивности магнитных полей кабельных линий существенным является способ заземления экрана. Наибольшая интенсивность магнитного поля, инициируемого КЛ однофазного исполнения, возникает как при одностороннем заземлении экрана, так и при его двухстороннем заземлении в случае транспозиции экранов трех фаз по трассе КЛ. Влияние магнитного поля (МП) многоцепных КЛ ВН показано на рисунке 1.

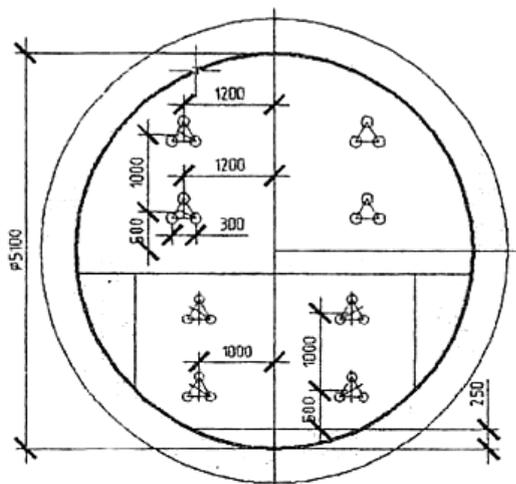


Рисунок 1 – К анализу МП КЛ ВН

На величину магнитной индукции при нормальном режиме работы в рассматриваемой конструкции влияют её следующие характеристики: расстояние между фазами в каждой цепи (в диапазоне от 0 до 40 см), фазировка напряжений на кабелях и количество эксплуатируемых цепей. При этом следует отметить, что прокладка фаз кабелей вплотную недопустима с точки зрения обеспечения безопасного теплового режима.

Рассчитанные значения магнитной индукции в тоннеле превышают европейский и российский нормативы: 100 мкТл при времени пребывания в зоне магнитного поля в течение рабочего дня. Следовательно, при осмотре КЛ необходимо ограничивать время пребывания персонала в тоннеле, даже если следовать приведенным выше завышенным нормативам

Магнитная индукция имеет два характерных пика в верхней и нижней частях тоннеля. Именно эти максимальные значения характеризуют интенсивность воздействия магнитного поля на организм человека. Зависимость максимальных значений магнитной индукции от расстояния между кабелями цепи проиллюстрирована в таблице 1.

Таблица 1 – Максимальные значения магнитной индукции в зависимости от расстояния между кабелями цепи

Расстояние между кабелями, см	Максимальное значение магнитной индукции, мкТл	
	Верхняя часть тоннеля	Нижняя часть тоннеля
0	159	95
30	298	213
40	390	286

Как видно из таблицы 1, значение магнитной индукции увеличивается примерно в 2,5 раза при разнесении фаз кабелей на расстояние 40 см, по сравнению с их прокладкой вплотную.

Таким образом, наиболее действенными мерами снижения магнитных полей КЛ ВН является:

- 1 Расположение проводов и кабелей каждой цепи в вершинах треугольника и максимально возможное их сближение.
- 2 Для многоцепных конструкций уменьшение интенсивности магнитного поля достигается путем выбора фазировки напряжения на проводах и кабелях каждой цепи.

#### Список литература

- 1 СанПиН 2.2.4.1191–03. Гл. 3.4: Предельно допустимые уровни электромагнитного поля частотой 50 Гц.
- 2 Санитарные нормы и правила СанПин 2.2.4.723–98: изд. офиц. – М. : Минздрав России, 1999.
- 3 Постановление главного санитарного врача РФ № 74 от 25 сентября 2007 г. О введении в действие новой редакции санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03 «Санитарнозащитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов».

УДК 539.3

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЯЗКОУПРУГОГО МАТЕРИАЛА

*П. С. ШЕСТЕРКИН, Ю. О. СОЛЯЕВ, А. В. БАБАЙЦЕВ*  
*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

В работе рассматривались характеристики демпфирования, обеспечиваемые различными вязкоупругими материалами. Характеристики демпфирования вязкоупругого материала исследовались с использованием метода демпфирования с ограниченным слоем. Использовался вязкоупругий материал в качестве основного слоя, при котором получалось существенное демпфирование с минимальным воздействием на общую массу конструкции. В подобной структуре энергия рассеивается посредством процессов релаксации в длинноцепочечных молекулярных сетях, когда полимерный материал подвергается вибрациям.

Проводилось экспериментальное исследование вязкоупругих материалов путем испытаний на балке Оберста и импульсной техники в соответствии со стандартом ASTM E 756. Величина демпфирования структуры измерялась методом полосы пропускания половинной мощности. Для измерения демпфирующих характеристик использовалась демпфирующая обработка с ограниченным слоем. Демпфирование в ограниченном слое более эффективно, чем демпфирование в свободном слое, поскольку при работе, выполняемой при сдвиге в вязкоупругом слое, расходуется и рассеивается больше энергии на тепло. Такая обработка считается эффективным способом подавления вибраций от различных конструкций, изготовленных из обычных материалов (к примеру сталь), которые содержат небольшое демпфирование. Эффективность демпфирующей обработки ограниченного слоя в большей степени зависит от геометрии и типа ограничивающего слоя. Максимальная величина напряжения сдвига достигается всякий раз, когда ограничивающий слой имеет тот же тип и геометрию, что и демпфирующая структура.

*Работа выполнена при финансовой поддержке государственного проекта Министерства образования и науки РФ код проекта «Современные технологии экспериментального и цифрового моделирования и оптимизации параметров систем космических аппаратов», код проекта FSFF-2020-0017.*

УДК 539.3

### ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ ИЗГИБ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ ЛИНЕЙНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКОЙ С УЧЕТОМ НЕПОЛНОГО ОПИРАНИЯ НА УПРУГОЕ ОСНОВАНИЕ

*А. В. ЯРОВАЯ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В практике строительства, транспортного машиностроения широко используются трехслойные панели, которые могут полностью опираться на упругое основание, а также иметь зазоры между