

ПОВЫШЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ РАДИОРЕЛЕЙНОГО ИНТЕРВАЛА ПУТЕМ КОМПЕНСАЦИИ ВЛИЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ АНТЕННОЙ ОПОРЫ

© 2009 Ю.Н. Санкин, Н.Т. Гафуров

Ульяновский государственный технический университет

Поступила в редакцию 20.07.2009

В статье авторы отражают, что на интервалах радиорелейных линий (РРЛ) связи почти всегда обеспечивается видимость между двумя соседними антеннами, устанавливаемых обычно на возвышенных участках местности. Однако, создание достаточно высоких опор приводит к их избыточной деформативности, которая может привести к нарушению устойчивости связи на РРЛ и др.

Ключевые слова: интервалы радиорелейных линий связи, избыточная деформативность, устойчивость связи.

Использование на радиорелейных линиях высокоэффективных антенн, имеющих узкую диаграмму направленности ($1-2^\circ$) (рис. 1), накладывает дополнительные ограничения по деформативности опор. Невыполнение указанных технологических требований может привести к нарушению устойчивости связи на РРЛ. При расчете опор необходимо учитывать допустимый угол отклонения радиолуча.

В данной работе рассматривается активный способ стабилизации положения антенной опоры при помощи встроенной в фундамент системы управления ее колебаниями. Ранее авторами рассматривалось гашение колебаний при помощи встроенного динамического гасителя и обтекателя каплевидной формы (рис. 2, рис. 3). Данные способы позволяют расширить зону уверенного приема примерно на 30-50%. Способ предлагаемого активного подавления колебаний антенной опоры теоретически позволяет почти полностью исключить колебания антенной опоры, когда ограничением зоны уверенного приема является линия горизонта, т.к. сигнал является высокочастотным и распространяется в пространстве как луч света.

Для динамического расчета угла отклонения антенно-мачтовых сооружений используется частотный метод, основанный на обработке АФЧХ стержневой системы, построенной по методу перемещений, который является частным случаем метода конечных элементов, когда матрицы динамических жесткостей элементов полу-чаются точным интегрированием.

Уравнение динамики линейной вязкоупругой системы в операторной форме в перемещениях записывается следующим образом [1]:

$$R \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + B \frac{\partial u}{\partial t} + K u = f, \quad (1)$$

где u – вектор обобщенных смещений; R – матрица инерционных характеристик или удельная масса; $B = T + D C_1 D^*$ – оператор рассеивания энергии; $K = D C D^*$ – оператор теории упругости; f – вектор-функция внешних нагрузок; C и C_1 – соответственно матрицы или тензоры упругих постоянных и коэффициентов внутреннего трения.

Граничные условия:

$$n_\sigma (C + C_1 \frac{\partial}{\partial t}) D^* u = f_s \text{ на } S_1; \\ u = 0 \text{ на } S_2. \quad (2)$$

Начальные условия:

$$u|_{t=0} = a_0; \quad \frac{\partial u}{\partial t} \Big|_{t=0} = a_1. \quad (3)$$

Уравнение колебаний стержней с учетом сжимающих сил преобразуется по Лапласу при ненулевых начальных условиях [2]. Затем составляются уравнения равновесия узлов, которые представляют собой систему уравнений для неизвестных узловых перемещений, то есть соответствующих уравнений метода конечных элементов (МКЭ). Разрешающие уравнения в матричном виде для n -го узла записываются следующим образом:

$$\begin{aligned} & \dots - B_{np} U_p - B_{nr} U_r + (A_{np} + A_{nr} + \\ & + A_{ns} + A_{nt} + C_n - \omega^2 I_n) U_n - B_{ns} U_s - \\ & - B_{nt} U_t \dots = \dots - B_{np} [U_p] - B_{nr} [U_r] - \\ & - B_{ns} [U_s] - B_{nt} [U_t] + R_n; \end{aligned} \quad (4)$$

Санкин Юрий Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры "Технологии машиностроения".
E-mail: yns@ulstu.ru.

Гафуров Наиль Талгатович, аспирант.
E-mail: ngafurov@simss.ru.



Рис. 1. Допустимый угол отклонения опоры с антенной RFS III,2м

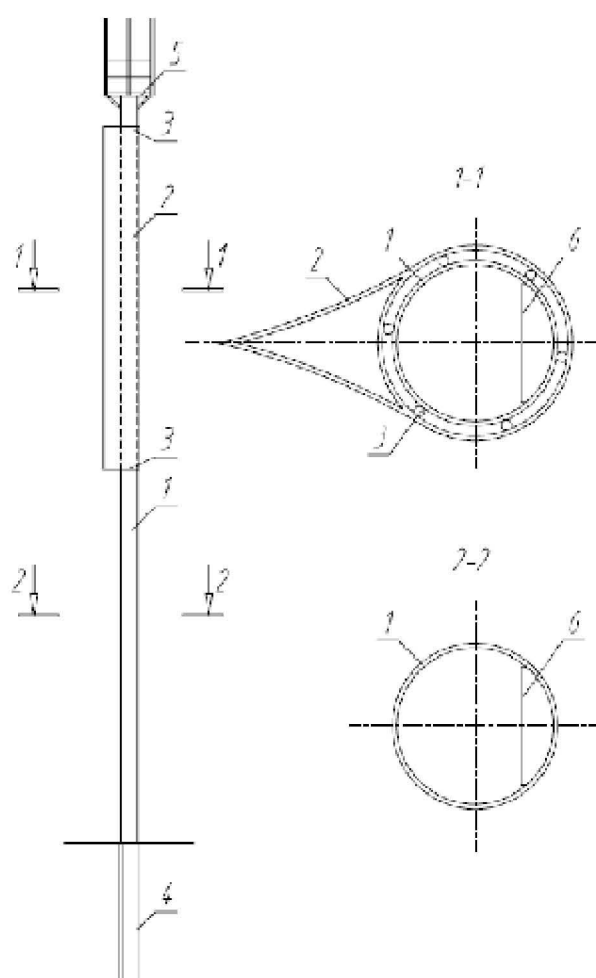


Рис. 2. Антенная опора с каплевидным кожухом

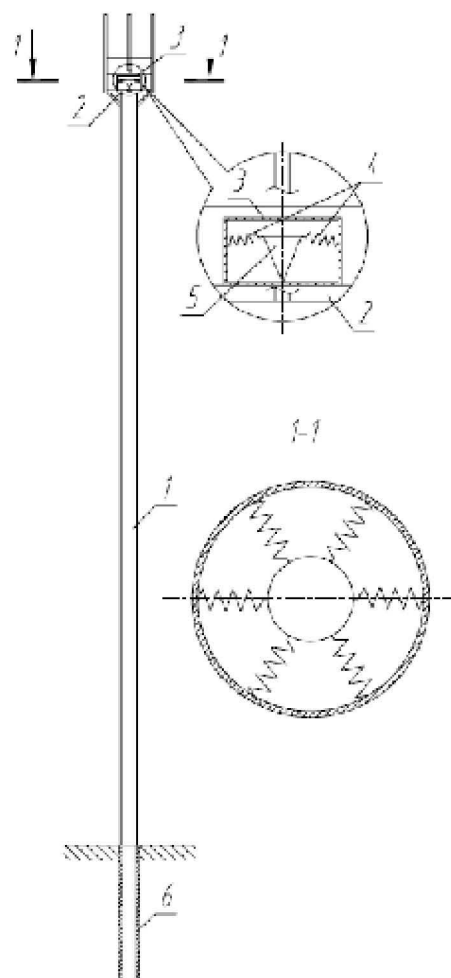


Рис. 3. Антенная опора с динамическим гасителем

$$A_{nk} = n^T A_{nk}^0 n; B_{nk} = n^T B_{nk}^0 n$$

$$n = \begin{pmatrix} n_0 & 0 \\ 0 & n_0 \end{pmatrix}; [U_k] = n^T [U_k^0];$$

$$M_k = \begin{vmatrix} m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_x & -J_{xy} & -J_{xz} \\ 0 & 0 & 0 & -J_{yx} & J_y & -J_{yz} \\ 0 & 0 & 0 & -J_{zx} & -J_{zy} & J_z \end{vmatrix}; \quad (5)$$

$$C_k = \begin{vmatrix} C_x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_y & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_x^m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_y^m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_z^m \end{vmatrix},$$

$$A_{nk}^0 = \begin{vmatrix} S_{nk} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & G_{znk} & 0 & 0 & 0 & C_{znk} \\ 0 & 0 & G_{ynk} & 0 & -C_{ynk} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Q_{nk} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -C_{ynk} & 0 & A_{ynk} & 0 \\ 0 & C_{znk} & 0 & 0 & 0 & A_{znk} \end{vmatrix};$$

$$B_{nk}^0 = \begin{vmatrix} T_{nk} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & H_{znk} & 0 & 0 & 0 & -D_{znk} \\ 0 & 0 & H_{ynk} & 0 & D_{ynk} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & F_{nk} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -D_{ynk} & 0 & -B_{ynk} & 0 \\ 0 & D_{znk} & 0 & 0 & 0 & -B_{znk} \end{vmatrix}; \quad (6)$$

$$[U_k^0]^T = [u_k], [v_k], [w_k], [\vartheta_k], [\phi_k], [\psi_k],$$

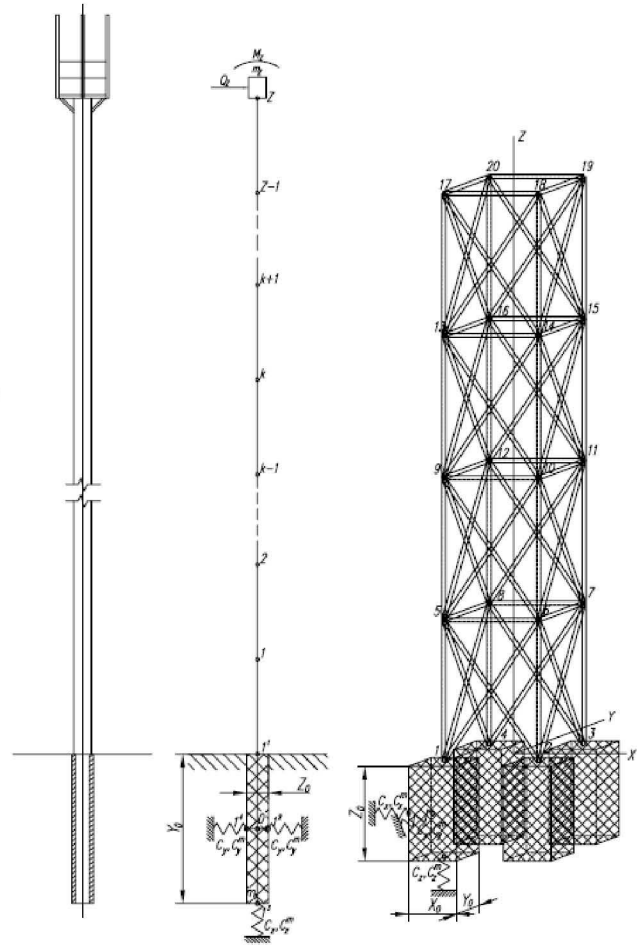


Рис. 4. Расчетная схема антенной опоры в виде стержня

где n_0 – матрица направляющих косинусов; A_{nk}^0, B_{nk}^0 – матрицы динамических жесткостей стержня в местной системе координат, совпадающей с его главными центральными осями; $[U_k^0]$ – вектор перемещений конца стержня от местной нагрузки. Элементы матриц A_{nk}^0, B_{nk}^0 и $[U_k^0]$ определяются по формулам, приведенным в [2] и [3].

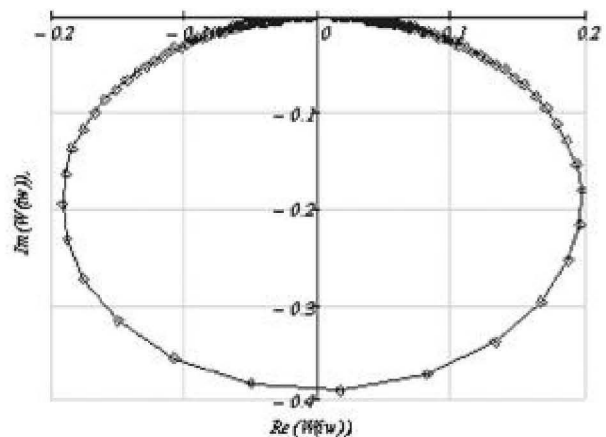


Рис. 5. АФЧХ стержневой системы по углу отклонения

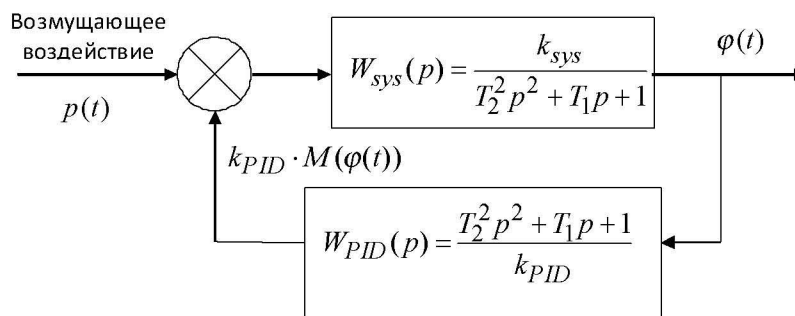


Рис. 6. Структурная схема системы управления

Решая полученные уравнения при $p = i \cdot \omega$, где p – параметр преобразования Лапласа, ω – частотный параметр, строятся амплитудно-фазо-частотные характеристики (АФЧХ) стержневой системы.

АФЧХ антенной опоры в виде стержня (рис.4) представлена на рис. 5.

Как видно из рис. 5, АФЧХ имеет один ярко выраженный доминирующий виток, что показывает, что система ведет себя как система с одной степенью свободы. Таким образом, оказывается возможным эффективно использовать систему управления, структурная схема которой показана на рис.6. Ее передаточная функция определяется по формуле [4], [5]:

$$W(p) = \frac{W_{sys} \cdot W_{PID}}{1 + W_{sys} \cdot W_{PID}},$$

$$\text{где } W_{PID}(p) = \frac{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}{k_{PID} \cdot k_{sys}},$$

$$W_{sys}(p) = \frac{k_{sys}}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1} = \frac{0.12}{0.017p^2 + 0.003973p + 1} \quad (7)$$

Конструктивное исполнение антенной опоры с активным гасителем в виде гидроопор показано на рис. 7, на рис. 8 приведена АФЧХ системы.

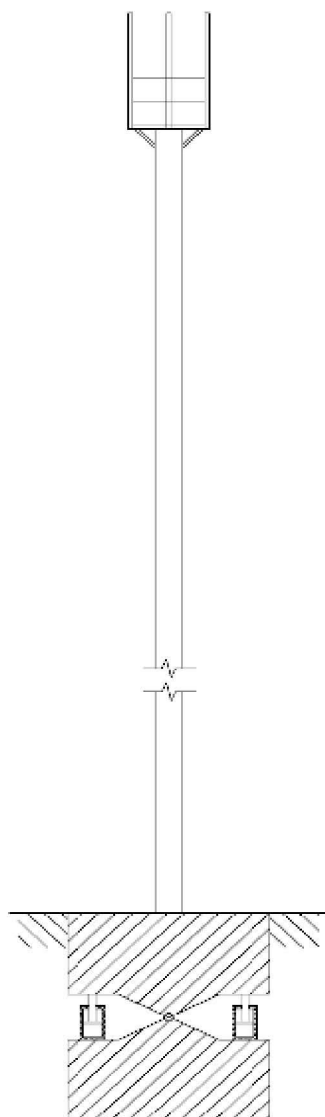


Рис. 7. Расчетная схема антенной опоры с активным гасителем

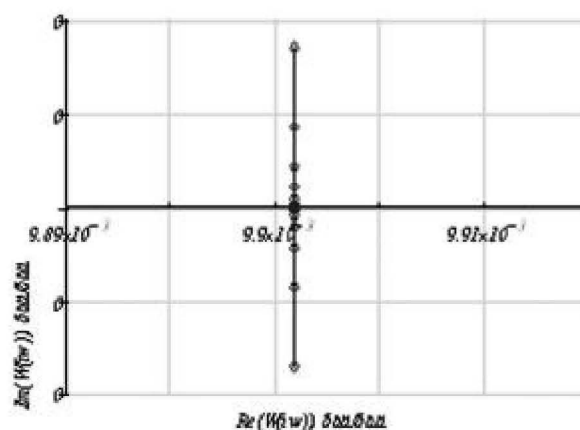


Рис. 8. АФЧХ стержневой системы с активным гасителем по углу отклонения

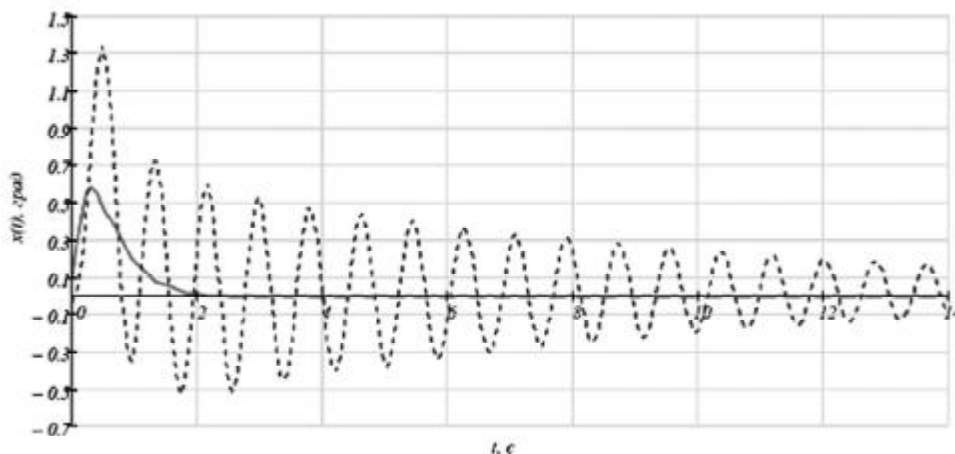


Рис. 9. Переходные процессы по углу отклонения

Принимая $k_{PID} = 100$ строим переходный процесс по углу отклонения радиолуча (рис. 9, сплошная линия), пунктирной линией показан переходный процесс антенной опоры без гасителя.

Выводы:

Получена компактная математическая модель антенной опоры, являющаяся результатом обработки решения нескольких десятков уравнений.

На основании динамической модели антенной опоры предложено активное устройство для снижения амплитуды колебаний при ветровых возмущениях.

Применение активного гасителя теоретически позволяет почти полностью исключить угол отклонения радиолуча излучающей антенны (типа “узкий луч”) и увеличить радиус уверенного приема, когда ограничением зоны уверенного приема является линия горизонта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санкин, Ю.Н. Метод конечных элементов в динамике вязкоупругих систем в пространстве преобразований Лапласа // Труды Средневолжского математического общества. - 2006. № 2. Т. 8. с. 22-33
2. Санкин Ю. Н. Динамические характеристики вязкоупругих систем с распределенными параметрами. Саратов: Издательство Саратовского университета. - 1977. - 312с.
3. Гафуров Н.Т., Санкин Ю.Н. Частотный метод динамического расчета антенно-мачтовых сооружений как систем с распределенными параметрами при произвольных ветровых возмущениях // Известия Самарского научного центра РАН. Специальный выпуск “Технологии, процессы и системы в ходе их эволюционного развития”. 2007. Т.2. С. 18-23.
4. Барахов В.М., Санкин Ю.Н. Управление многозвенным манипулятором с распределенными параметрами // Автоматика и телемеханика. - 2007. №8. С. 57-67.
5. Barakhov V. M., Sankin Yu. N. Control of the distributed-parameter multi-element manipulator // Autom. Remote Control 68. - 2007. №8. p. 1345-1354.

INCREASE OF RANGE OF A RADIORELAY INTERVAL BY INDEMNIFICATION OF INFLUENCE OF THE DISTRIBUTED PARAMETERS OF AN ANTENNA SUPPORT

© 2009 J.N. Sankin, N.T. Gafurov

Ulyanovsk State Technical University

In clause authors reflect, that on intervals of radiorelay lines communications visibility between two next aerials, established usually on the raised sites of district is almost always provided. However, creation enough high support leads their superfluous deformability which can lead to infringement of stability of communication on radiorelay lines communications, etc.

Key words: intervals of radiorelay lines communications, superfluous deformability, stability of communication