

Транспортное и энергетическое машиностроение



КАРТОВЕНКО
Алла Валерьевна
аспирант
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

KARTOVENKO
Alla Valerievna
post-graduate
(MSTU named
after N.E. Bauman)

УДК 621.315.177

Динамическая модель монтажного комплекса воздушных линий электропередач

А.В. Картовенко

Рассмотрены динамические модели монтажного комплекса для прокладки провода и оптических кабелей под тяжением по воздушным линиям электропередач. Полученные дифференциальные уравнения комплекса позволяют при заданных начальных условиях рассчитывать усилие тяжения, перемещение и инерционные нагрузки для всех участков комплекса во всех режимах его работы.

Ключевые слова: монтажный комплекс, монтаж под тяжением, воздушные линии электропередач, усилие тяжения, динамическая модель, дифференциальное уравнение, упруго-инерционные характеристики.

Dynamic model of the overhead power lines assembly complex

A.V. Kartovenko

The article presents dynamic models of the stringing complex for overhead power and fiber optic cable lines laying. The obtained differential equations of the complex allow under desired starting conditions to calculate a laying tension force, a cable movement and inertial loads for all parts of the complex under all operation modes.

Keywords: assembly complex, mounting under tension, overhead power transmission lines, tension force, dynamic model, differential equation, elastic and inertial characteristics.

Монтажный комплекс (МК) для прокладки провода и оптических кабелей под тяжением по воздушным линиям электропередач (ЛЭП ВЛ) может быть описан динамической моделью, представляющей собой цепную структуру последовательно соединенных упруго-инерционных элементов (рис. 1, [1], рис. 2, 3).

Коэффициенты жесткости k цепной линии являются нелинейными функциями усилия тяжения T :

$$k = k(T).$$

При разработке МК принимаем значение коэффициентов жесткости цепных линий провода и лидер-троса кусочно-линейными, имеющими определенные значения, соответствующие усилию тяжения. На элементы динамической модели действуют:

1) приведенная к радиусу смотки сила торможения механического или гидравлического тормоза тормозного домкрата:

$$F_d = \frac{M_T}{r_{сли}},$$

где M_T — тормозной момент гидравлического домкрата; $r_{сли}$ — радиус слоя намотки провода.

В тормозных домкратах ЛЭП ВЛ широко применяются дисковые тормоза сухого трения (см. рис. 2 и 3), развивающие тормозной момент порядка 1,8...2 кН·м;

2) сила тяжения провода F_H .

Преобразуем цепную структуру МК с переменными приведенными массами и нелинейно зависящими от усилия тяжения коэффициентами жесткости цепных линий пролетов в цепную структуру с постоянными, кусочно-линейными значениями упруго-инерционных параметров,

определяемыми как постоянные величины для каждого момента времени и значения усилия тяжения (см. рис. 2).

Динамика одно-, двух- и многомассовых цепных (последовательно соединенных упругими элементами масс) упруго-инерционных структур описаны в ряде работ (А. Тондл, Г.Я. Пановко, К.В. Фролов, Ф.М. Диментберг, Й. Виттенбург) [2, 3].

Дифференциальные уравнения движения могут быть составлены с помощью уравнений Лагранжа 2-го рода и основного уравнения динамики.

В нашем случае МК описывается следующей системой уравнений:

1) тормозной домкрат — провод — тормозная машина:

$$m_d \ddot{x}_d + k_{ц.д} (x_d - x_{т.м}) + m_d g f_d + F_d = 0,$$

где m_d — приведенная масса кабельного тормозного домкрата; x_d — смещение от начального положения приведенной массы кабельного домкрата; $k_{ц.д}$ — коэффициент жесткости провода, связывающего кабельный тормозной домкрат с тормозной машиной; $x_{т.м}$ — смещение от начального положения конца цепной линии провода, связывающей кабельный домкрат с тормозной машиной; f_d — коэффициент сухого трения; $m_d g f_d$ — демпфирующая сила; F_d — приведенная сила тормоза кабельного домкрата;

2) тормозная машина — провод — 1-я опора:

$$m_{т.м} \ddot{x}_{т.м} - k_{шд} (x_d - x_{т.м}) + k_{т.м} (x_{т.м} - x_1) + m_{т.м} g f_{т.м} + F_T = 0,$$

где $m_{т.м}$ — приведенная масса тормозной машины (включающая тормозные барабаны

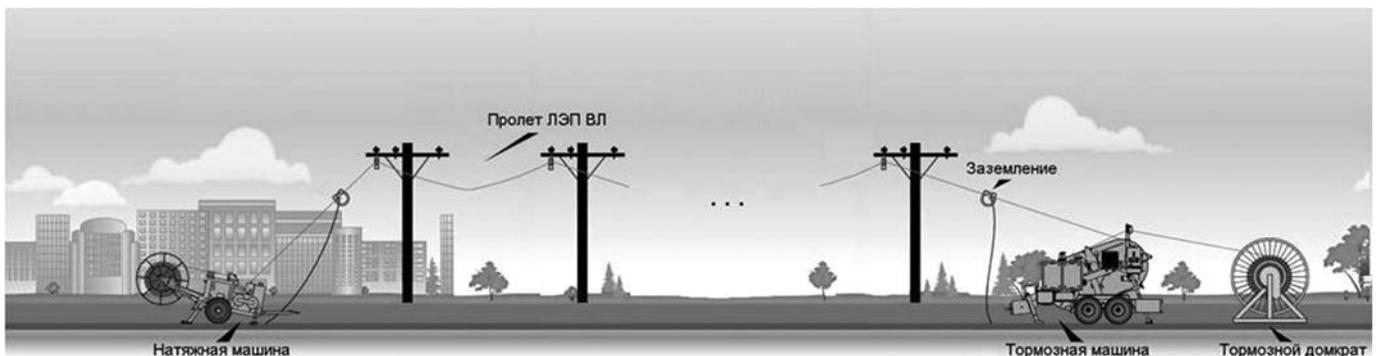


Рис. 1. Монтажный комплекс

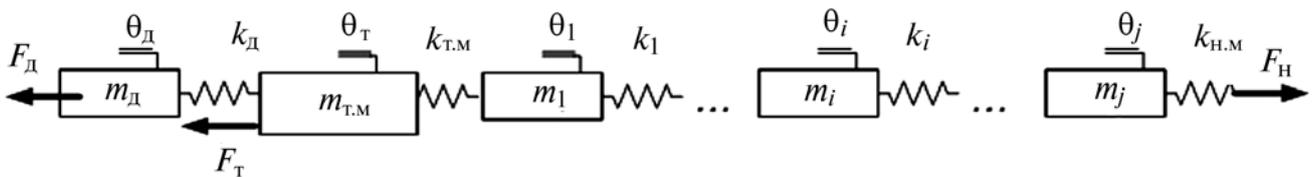


Рис. 2. Динамическая модель монтажного комплекса:

m_d — приведенная к текущему радиусу смотки провода с кабельного барабана на тормозном домкрате $r_{снi}$, $m_{т.м}$ — приведенная масса тормозной машины; m_i и m_j — приведенная масса одного пролета провода; k_d — коэффициент линейной жесткости цепной линии кабельный барабан — тормозная машина, соответствующий данному усилию T_d ; $k_{н.м}$ — коэффициент линейной жесткости цепной линии последний пролет ЛЭП — натяжная машина, соответствующие данному усилию F_H ; k_i и k_j — коэффициенты линейной жесткости цепной линии одного пролета провода, при заданном усилии тяжения F_H ; θ_i и θ_j , θ_d , θ_t — коэффициенты сухого трения для пролетов с проводом, тормоза тормозного домкрата на тормозной площадке с тормозной машиной, натяжной машины

и присоединенные к ним подвижные части привода барабанов); F_T — приведенная сила гидравлического тормоза тормозной машины; $k_{т.м}$ — коэффициент жесткости цепной линии провода или лидер-троса, соединяющего тормозную машину с первой опорой; x_1 — смещение от начального положения конца цепной линии, связывающей тормозную машину с 1-й опорой; $f_{т.м}$ — коэффициент сухого трения, $m_{т.м}gf_{т.м}$ — демпфирующая сила;

3) 1-я опора ЛЭП — 1-й пролет — 2-я опора ЛЭП:

$$m_1 \ddot{x}_1 - k_{т.м}(x_{т.м} - x_1) + k_1(x_1 - x_2) + m_1 gf_1 = 0,$$

где m_1 — приведенная к началу 1-го пролета масса провода (или лидер-троса) в 1-м пролете и масса раскаточного ролика на первой опоре; k_1 — коэффициент жесткости цепной линии провода или лидер-троса 1-го пролета; x_2 — смещение от начального положения конца цепной линии 1-го пролета; f_1 — коэффициент сухого трения; $m_1 gf_1$ — демпфирующая сила;

4) $i - 1$ -я опора ЛЭП — i -й пролет — $i + 1$ -я опора ЛЭП. МК включает в себя 20–30 пролетов ($I = 1..j$, количество опор $j + 1$), описываемых уравнением

$$m_i \ddot{x}_i + k_{i-1}(x_{i-1} - x_i) + k_i(x_i - x_{i+1}) + m_i gf_i = 0,$$

где m_i — приведенная к началу i -го пролета масса провода (или лидер-троса) в i -м пролете и масса раскаточного ролика на i -й опоре; k_{i-1} — коэффициент жесткости цепной линии провода или лидер-троса $i - 1$ -го пролета; k_i — коэффициент жесткости цепной линии про-

да или лидер-троса i -го пролета; x_{i-1} — смещение от начального положения конца цепной линии $i - 1$ -го пролета; x_i — смещение от начального положения конца цепной линии i -го пролета; x_{i+1} — смещение от начального положения конца цепной линии $i + 1$ -го пролета; f_i — коэффициент сухого трения; $m_i gf_i$ — демпфирующая сила;

5) $j + 1$ -я опора ЛЭП — провод — тормозная машина. Для последней цепной линии, соединяющей последнюю опору ЛЭП с натяжной машиной, уравнение принимает вид

$$m_{j+1} \ddot{x}_{j+1} - k_j(x_j - x_{j+1}) + k_{н.м}(x_{j+1} - x_{н.м}) + m_{j+1} gf_{j+1} = F_H,$$

где m_{j+1} — приведенная масса провода (или лидер-троса) в пролете от последней опоры до натяжной машины; x_{j+1} — смещение от начального положения конца цепной линии, связывающей $j + 1$ -ю опору с натяжной машиной; k_j — коэффициент жесткости цепной линии провода или лидер-троса $j - 1$ -го пролета; $k_{н.м}$ — коэффициент жесткости цепной линии провода (или лидер-троса), соединяющей последнюю опору с натяжной машиной; $x_{н.м}$ — смещение от начального положения конца цепной линии на натяжной машине; f_{j+1} — коэффициент сухого трения, $m_{j+1} gf_{j+1}$ — демпфирующая сила; F_H — приведенная сила натяжной машины.

Таким образом МК, состоящий из монтажного оборудования, 20 пролетов ЛЭП с проводом и 21 опоры ЛЭП, описывается следующей системой уравнений (количество пролетов $I = 1..j$, $j = 20$):

$$\begin{cases}
 (1) & m_d \ddot{x}_d + k_{ш.д} (x_d - x_{т.м}) + m_d g f_d + F_d = 0, \\
 (2) & m_{т.м} \ddot{x}_{т.м} - k_{ш.д} (x_d - x_{т.м}) + k_{т.м} (x_{т.м} - x_1) + \\
 & + m_{т.м} g f_{т.м} + F_t = 0, \\
 (3) & m_1 \ddot{x}_1 - k_{т.м} (x_{т.м} - x_1) + k_1 (x_1 - x_2) + \\
 & + m_1 g f_1 = 0, \\
 (4) & m_2 \ddot{x}_2 - k_1 (x_1 - x_2) + k_2 (x_2 - x_3) + \\
 & + m_2 g f_2 = 0, \\
 (i) & m_i \ddot{x}_i + k_{i-1} (x_{i-1} - x_i) + k_i (x_i - x_{i+1}) + \\
 & + m_i g f_i = 0, \\
 (j+1) & m_{21} \ddot{x}_{21} - k_{20} (x_{20} - x_{н.м}) + k_{н.м} (x_{21} - x_{н.м}) + \\
 & + m_{21} g f_{21} = F_n.
 \end{cases}$$

При заданных начальных условиях находим скорости, усилия и перемещения для всех участков МК. Сравнивая их с заданными значениями, можно принимать решения по управлению комплексом (разгон, торможение, остановка).

Расчеты ведут итерационно, в каждом новом цикле уточняется значение переменных параметров (пересчет таких параметров как: жесткость, текущий радиус намотанного на барабан провода или лидер-троса, масса провода или лидер-троса в пролетах).

Численный анализ полученной динамической модели на конкретных параметрах показал, что силы инерции, приложенные к приведенным массам цепных линий провода пролетов малы (в 15—20 раз меньше) по сравнению с тяговым усилием. В связи с этим с достаточной для практических расчетов точностью динамическая модель может быть упрощена и представлена одномассовой моделью (см. рис. 3).

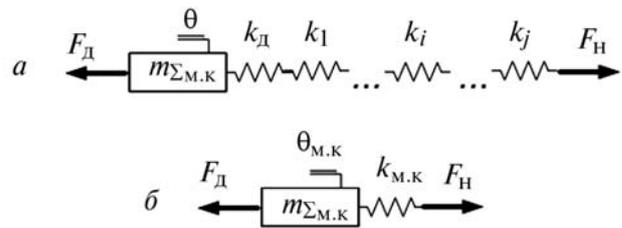


Рис. 3. Одномассовая динамическая модель монтажного комплекса:

а — с последовательной цепью упругих элементов (гиперболических цепных линий);
 б — с суммарной жесткостью пролетов, составленных из цепных линий провода и лидер-троса

При работе МК структура упругих элементов, количество последовательно соединенных цепных линий из провода и более легкого лидер-троса непрерывно меняется в ходе тяжения.

Литература

1. CAT09-STRINGING 2009 Domestic Catalog, English Condux Tesmec, Inc.
2. Тондл А. Автоколебания механических систем: Пер. с англ. М.: Мир, 1979. 429 с.
3. Виттенбург Й. Динамика систем твердых тел: Пер. с англ. М.: Мир, 1980. 292 с.

References

1. CAT09-STRINGING 2009 Domestic Catalog, English Condux Tesmec, Inc.
2. Tondl A. *Avtokolebaniia mekhanicheskikh sistem* [Self-oscillations of mechanical systems] Translation from English, Moscow, World publ., 1979. 429 p.
3. Vittenburg I. *Dinamika sistem tverdykh tel* [Dynamics of rigid bodies] Translation from English, Moscow, World publ., 1980. 292 p.

Статья поступила в редакцию 15.10.2012

Информация об авторе

КАРТОВЕНКО Алла Валерьевна (Москва) — аспирант кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства». МГТУ им. Н.Э. Баумана (Россия, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: challacha@mail.ru).

Information about the author

KARTOVENKO Alla Valerievna (Moscow) — post-graduate «Automation of Manufacturing Processes» Department. MSTU named after N.E. Bauman (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya, 5, 105005, Moscow, Russia, e-mail: challacha@mail.ru).