электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

УДК 621.311:681(075.8)

Создание системы автоматизированного управления комплекса монтажа воздушных линий

 # 06, июнь 2012

Картовенко А.В.

Аспирант,
кафедра «Компьютерные системы автоматизации производства»

Научный руководитель: Арбузов Е.В.,
к.т.н., доцент кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства»

МГТУ им. Н.Э. Баумана
challacha@mail.ru

Актуальность работы обусловлена появлением новых конструкций информационных кабелей и проводов электропередач, что потребовало создания новых технологий и оборудования для их монтажа. Предстоит замена (износ составляет 70%) старых воздушных линий (ВЛ) электропередач на новые высокотехнологиченые с применением алюминиево-стальных, композитных проводов с сердечником из углеволокна (рис.1) и волокон алюминиевой керамики (рис.2). Кроме линий электропередач прокладываются кабельные информационные волоконно-оптические ВЛ, а также применяются грозотрос и реже фазовые провода электропередач со встроенными оптическими информационными кабелями.

Рис.1. Композитный провод с сердечником из углеволокна

Рис.2. Композитный провод с сердечником из алюминиевой керамики (волокна оксида алюминия Al_2O_3)

ВЛ можно представить в виде гибких связей, закреплённых по концам на опорах электропередач (рис. 3). Характерные строительные длины ВЛ составляют 5-10км при характерных длинах пролётов 200-300 м. Строительная длина может состоять из 20-50 пролетов. Монтаж ВЛ нового поколения выполняется методом тяжения, при котором кабель, провод или грозотрос в процессе монтажа находится в натянутом, подвешенном состоянии и не касается земли.

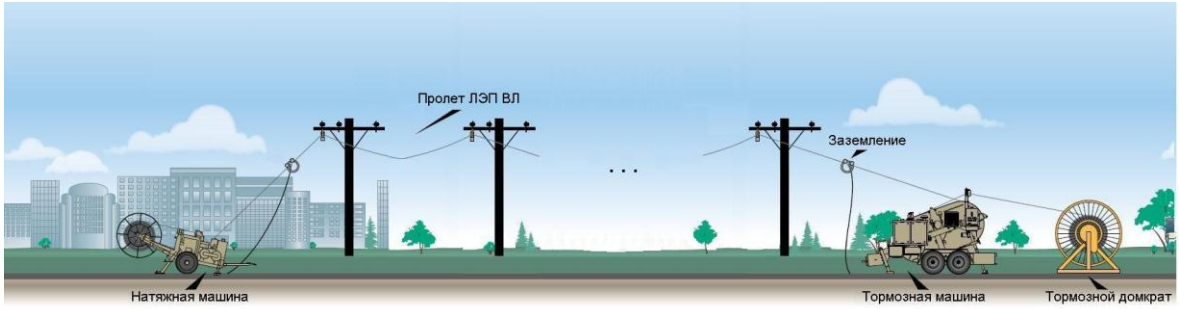

Рис.3. Схема монтажного комплекса

Технология монтажа под тяжением выполняется гидравлическим монтажным комплексом, включающим натяжную (рис.5), тормозную площадку (рис.4.), строительную длину, на которой по роликам, закрепленных на опорах с помощью лидер-троса протягивается монтируемый кабель или провод. Протяжка лидер-троса и соединенного с ним кабель-провода осуществляется гидравлической натяжной машиной, расположенной на натяжной площадке монтажного комплекса (МК). Мощность натяжных и тормозных машин МК измеряется 10÷200 и более кВт. Монтаж ведется со скоростью 2÷5 км/ч (0,5÷1,4 м/с), усилие тяжения составляет 10÷140 и более кН, в зависимости от параметров монтируемой ВЛ.

Рис.4. Тормозная площадка

Рис.5. Натяжная площадка

Усилия тяжения, в основном, определяются длиной пролета, погонным весом монтируемого кабеля (или провода). В первом приближении усилие тяжения может быть оценено с использованием параболы второго порядка:

$$T \approx \frac{wL^2}{8g}, \qquad (1)$$

где w – погонный вес гибкой связи (кабеля, провода, грозотроса), кг/м; L – длина пролета, м; g – стрела провиса гибкой связи в пролете, м.

Аппроксимация параболой второго порядка позволяет легко оценить усилие тяжения в пролете, однако, имеет ограниченную точность и не позволяет находить необходимые для создания системы автоматизированного управления (САУ) динамические и кинематические параметры: длину гибкой нити, ее упруго-инерционные параметры (массу и жесткость).

Расчетная схема одного пролета гибкой связи представлена на рис.6.

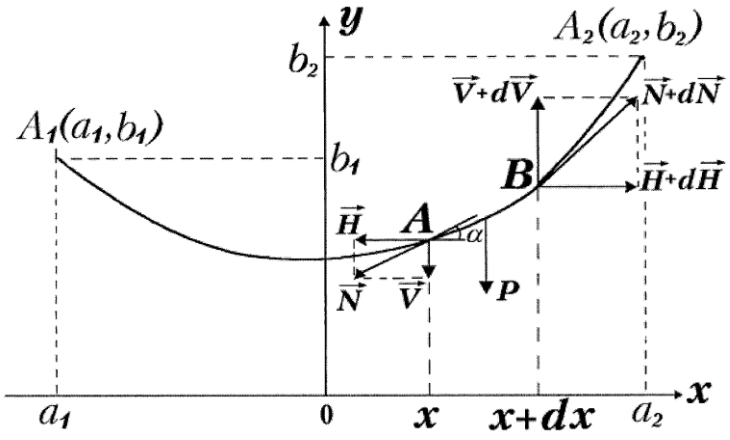

Рис. 6. Модель пролета

A_1 и A_2 – опоры (точки закрепления кабеля или провода к опорам ЛЭП); (a1, b1) и (a2, b2) – декартовы координаты точек A1 и A2; AB – бесконечно малый элемент гибкой связи; $\overline{N}$ – натяжение гибкой связи в т. A; $\overline{N}$ +d$\overline{N}$ – натяжение гибкой связи в т. B; $\overline{P}$ – сила тяжести; $\overline{H}$ и $\overline{V}$ – проекции действующих сил в т. A на каждую ось; $\overline{H}$ +d$\overline{H}$ и $\overline{V}$+d$\overline{V}$ – проекции действующих сил в т. B на каждую ось; α – угол, образованный касательной к кривой в т. A с осью OX

Достигнуть более высокой точности и найти нелинейные динамические параметры (упруго-инерционные характеристики) гибкой связи в пролете мы можем с помощью уравнения цепной линии [1]:

$$y = \frac{a}{2}(e^{x/a}+e^{-x/a}) = a\,\mathrm{ch}\frac{x}{a}. \qquad (2)$$

где *a* – параметр цепной линии (длина такого отрезка нити, вес которого равен горизонтальной составляющей натяжения нити).

Для создания автоматизированной системы управления МК система разбивается на звенья, рассматриваются каждое по отдельности [2]. Это позволит создать САУ МК, изучить ее свойства (устойчивость, динамику и кинематику), определить оптимальные параметры и законы управления МК.

Управляемым объектом в нашем случае является цепочка пролетов (20÷50 шт.), моделируемых с помощью уравнения цепной линии, причем часть пролетов (рис.7) образована монтируемым кабелем (или проводом), имеющим погонную массу q_1, а остальная часть строительной длины – лидер-трос с погонной массой q_2.

На управляемый объект воздействует сила тяжения, скорость и ускорение, создаваемые гидравлическим тягово-тормозным оборудованием натяжной и тормозной площадок МК. Входная величина x_1 и выходная x_2 характеризует воздействие (усилие, перемещение, скорость и ускорение) предыдущего звена на данное звено (x_1) и данного звена на последующее (x_2).

Рассмотрим звенья монтажного комплекса.

Один пролет гибкой цепной линии (кабель, провод и лидер-трос) может быть представлен дискретно упруго-инерционной моделью колебательного звена, описываемого линейным дифференциальным уравнением второго порядка [2]:

$$a_0 \frac{d^2 x_2}{dt^2} + a_1 \frac{dx_2}{dt} + a_2 x_2 = b_0 \frac{dx_1}{dt} + b_1 x_1, \quad (3)$$

которое в теории САУ приводится к стандартному виду:

$$(T_2^2 p^2 + T_1 p + 1) x_2 = k_1 (\tau_1 p + 1) x_1, \quad (4)$$

где p означает операцию дифференцирования.

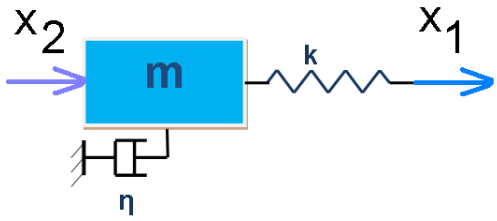

Рис. 7. Динамическая модель пролета ВЛ

Дифференциальное уравнение динамики этого звена [3,4,5]:

$$-m \frac{d^2 x_2}{dt^2} + k(x_2 - x_1) - \eta \frac{dx_2}{dt} + T_1 - T_2 = 0, \quad (5)$$

где m – масса цепной линии (провода, лидер-троса) и приведенная масса раскаточного ролика, k – коэффициент жесткости цепной линии, T_1 и T_2 – усилия тяжения на концах цепной линии.

Длину цепной линии как функцию от усилия тяжения L=L(T) найдем, интегрируя уравнение цепной линии (2).

Приведенная масса пролета равна:

$$m = m_{цл} + m_{рол}, \quad (6)$$

где $m_{цл}$ – масса цепной линии (провода, лидер-троса), $m_{рол}$ – приведенная масса раскаточного ролика, кг.

Приведенная масса раскаточного ролика равна:

$$m_{рол} = \frac{I}{r^2}, \quad (7)$$

где I – момент инерции ролика, кг·м^2, r – радиус дорожки качения раскаточного ролика, м.

Приведенная масса цепной линии определяется по формуле:

$$m_{цл} = qL(T), \quad (8)$$

где q – погонная масса цепной линии (провода, лидер-троса), L – ее длина, м, T – усилие тяжения, Н.

Длина цепной линии получается интегрированием уравнения цепной линии (2). Коэффициент жесткости одного пролета находим как производную длины цепной линии по усилию тяжения:

$$k = \frac{dL}{dT}, \quad (9)$$

где k – коэффициент жесткости гибкой связи (провода, лидер-троса) в одном пролете, $\frac{м}{Н}$, L – длина цепной линии, м, T – усилие тяжения, Н.

Из полученных выражений (8) и (9) мы видим, что упруго-инерционные параметры звена (массы и жесткость) являются нелинейными функциями от усилия

тяжения. При исследовании процесса управления проведем линеаризацию звена, при этом принимая значения массы m и жесткости k постоянными, рассчитываемыми с помощью выражений (8) и (9) для текущих значений усилия T.

Переходим к рассмотрению следующего звена МК – гидравлической натяжной машины. Ее гидравлическая схема представлена на рис. 8.

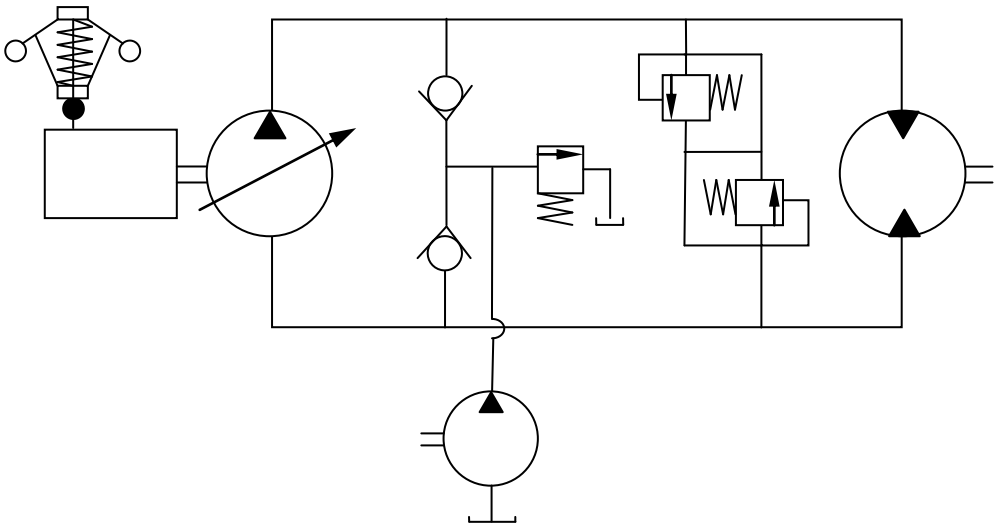

Рис. 8. Гидравлическая схема натяжной машины

Натяжная машина приводится в движение двигателем с центробежным регулятором частоты вращения.Регулируемый насос позволяет регулировать частоту вращения гидромотора и, соответственно, скорость протяжки. Усилие протяжки задается давлением в гидросистеме.

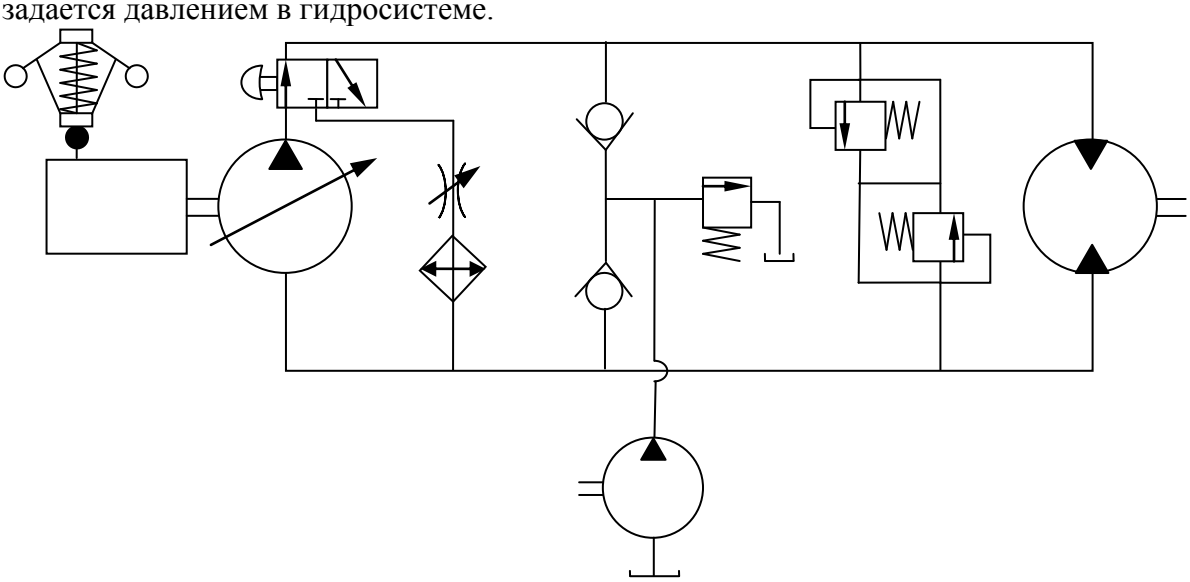

Рис. 9. Гидравлическая схема тормозной машины

Тормозная машина может работать в одном из двух режимах: режиме обратного тяжения с приводом от дизеля внутреннего сгорания или в режиме торможения, когда мотор-насос приводится в движение монтируемым проводом (лидер-тросом) и торможение достигается дроссилированием потока масла в гидросистеме через регулируемый дроссель, выделяющаяся при этом тепловая

мощность (10÷100 кВт) рассеивается мощным теплообменником с воздушным охлаждением.

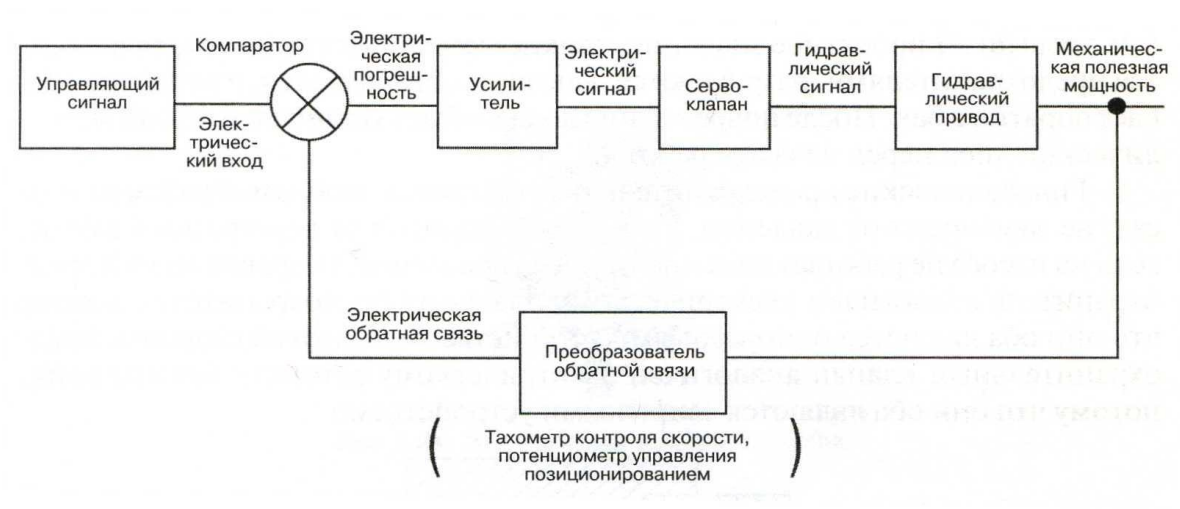

Рис. 10. Блок-схема электрогидравлической системы

САУ натяжной и тормозной машин может быть выполнена по схеме (рис.10, [6]). Сравнивая скорость тяжения с заданной, можем использовать полученное рассогласование для управления усилием тяжения и скоростью протяжки в натяжной машине. Введем САУ с обратной связью, определяющее рассогласование текущего значения усилия и скорости тяжения с заданными значениями для регулирования производительности насоса (расхода) и давления в гидросистеме. Управляющий сигнал может быть задан микропроцессором на основе расчета динамики модели МК.

Список литературы:

1. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 720 с. с илл.
2. Попов Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления: Учеб. пособие для втузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 304 с. – ISBN 5-02-014112-7.
3.Ден-Гартог Дж.П. Механические колебания. – М.: Физматгиз, 1960. – 580 с.
4. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. – Л.: Машиностроение, 1975. – 248 с.
5.Вибрации в технике: Справочник в 6-ти томах, т.1 Колебания линейных систем / Под ред. В.В. Болотина. – М.: Мшиностроение, 1976. – 352 с.
6. Додданнавар Р., Барнард А. Гидравлические системы. Практическое руководство по обслуживанию и ремонту / Р. Додданнавар, А. Барнард; [пер. с англ. В.И.Козлова; науч. ред. Д.В. Журидов]. – М.: ООО «Группа ИДТ»,2007. – 286 с.: ил.