

УДК 656.1

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАТЯЖЕНИЯ КОНТАКТНОГО ПРОВОДА МАЯТНИКОВОЙ КОНТАКТНОЙ ПОДВЕСКИ ТРОЛЛЕЙБУСА

А.А. Никитина

кандидат технических наук, преподаватель электротехнических дисциплин, Индустриальный колледж Государственного высшего учебного заведения «Криворожский национальный университет», г. Кривой Рог, Украина, e-mail: ann.nikitina@mail.ru

Аннотация. Разработана математическая модель контактной подвески троллейбуса на наклонных струнах. Получены уравнения зависимости натяжения контактного провода от температуры, которые учитывают максимальный угол отклонения струны, расстояние между опорами, вес и допустимое натяжение контактного провода.

Ключевые слова: маятниковая подвеска, струна, натяжение контактного провода, метод Феррари, метод Гудде.

MATHEMATICAL MODEL OF CONTACT WIRE TENSION OF TROLLEYBUSES PENDULUM CATENARY

Anna Nikitina

Ph.D., lecturer of electrical engineering disciplines, Industrial college of State Higher Educational Institution "National University of Krivoy Rog", Krivoy Rog, Ukraine, e-mail: ann.nikitina@mail.ru

Abstract. The mathematical model of the trolley catenary with inclined strings is developed. The depending on the tension of the contact wire and temperature, that take into account the maximum deflection angle of the strings, the distance between supports, weight and allowable tension of the contact wire are pursued.

Keywords: pendulum suspension, string, tension of the contact wire, Ferrari method, Gudde method.

Введение. Для обеспечения надежного и экономичного токосъема при движении подвижного состава троллейбуса возникает необходимость в разработке новых и совершенствовании существующих конструкций контактной сети троллейбуса [1-4].

При проектировании контактной сети электрического транспорта, значительное внимание отводится выбору параметров контактных подвесок, которые обеспечивают ее нормальную эластичность и сезонную регулировку. Вследствие этого, особый интерес представляет маятниковая подвеска контактной сети троллейбуса.

Маятниковая подвеска представляет собой систему подвешивания контактных проводов на жестких наклонных струнах, при которой провода в плане располагаются зигзагообразно [2]. Наклонное расположение струн маятниковой подвески обеспечивает эластичность контактной сети в зонах подвешивания, что благоприятствует хорошему токосъему. Кроме того, такая система способна в значительной степени компенсировать температурные напряжения в сети. Компенсация происходит вследствие изменения наклона струн и, следовательно, некоторого изменения угла зигзага. При понижении температуры контактный провод укорачивается, в результате чего угол зигзага растет, стремясь к 180° , угол струн также растет и несколько снижается расстояние контактного провода от поверхности дороги. В случае повышения температуры контактный провод удлиняется, в результате чего угол зигзага и угол наклона струн уменьшаются и несколько увеличивается расстояние от контактного провода до дороги. При этом натяжение контактного провода с изменением температуры окружающей среды колеблется меньше, чем в случае прямолинейного расположения контактной сети.

Основные преимущества маятниковой подвески [2, 4]:

- высокая эластичность;
- автоматическая температурная компенсация;
- меньшие эксплуатационные расходы;
- малые затраты на обслуживание.

Таким образом, научная задача моделирования параметров маятниковой подвески является актуальной.

В литературе широко представлены модели и методы проектирования контактных подвесок. Так математические модели и расчет контактных подвесок приведены в трудах ученых: Беляева Н. А., Власова И.И., Галкина А.Г., Сакагучи Т., и др. Вопросы проектирования самокомпенсированных подвесок рассмотрены в работах: Бокового Н. В., Вязового М.В., Демченко А.Т., Заренкова С. В., Рагимова Р.Г., Nibler Н. и др. Методам повышения эластичности контактных подвесок посвящены работы: Горошкова Ю. И., Заренкова С. В., Кокоева А.Д., Паскуччи Л., Тибилова Т.А., Туркина В.В. и др.

Цель работы состоит в разработке математической модели маятниковой подвески троллейбуса с учетом температурной зависимости стрелы провеса контактного провода, которая позволяет автоматизировать расчет и проектирование подвески.

Материал и результаты исследований. Зигзагообразное расположение проводов расположение проводов и наклон струн достигаются поочередным смещением подвесов на поперечинах или кронштейнах в разные стороны от оси пути [1-4]. В точках подвешивания провода закрепляют на

подвесах с двумя параллельными струнами, размещенных в вершинах зигзагов. Параллелограмм, образованный струнами вместе с верхним и нижним подвесами, позволяет сохранить вертикальными оси провода и зажима при перемещениях под воздействием токоприемника или при изменении температуры. Общий вид реализации маятниковой подвески представлен на рисунке 1. На рисунке приняты такие обозначения: 1 - натяжной трос, 2 – орешковый изолятор, 3 – хомут, 4 – контактный провод, 5 – наклонная струна маятниковой подвески, 6 – опора контактной сети.

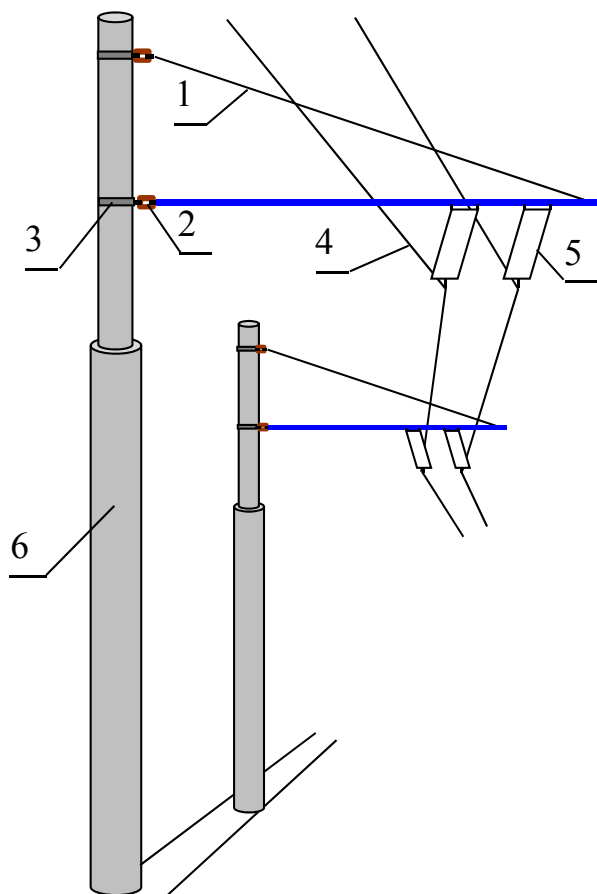


Рисунок 1 – Общий вид маятниковой подвески на кронштейне

Маятниковая подвеска применяется на прямых участках пути достаточной протяженности в городах, где колебания температур летнего и зимнего периодов позволяют поддерживать натяжение провода за счет частичной компенсации в допустимых по прочности и условиям токосяема пределах.

Расчет маятниковой подвески сводится к определению усилий, которые передаются на опоры, а также к определению основных параметров подвески (натяжения, наклона струны в зависимости от температуры при монтаже). Основная схема для расчета представлена на рисунке 2 [2].

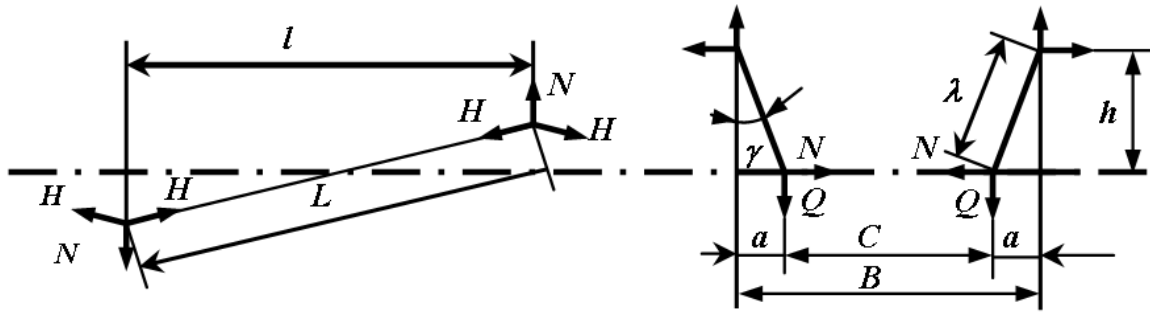


Рисунок 2 – Обобщенная механическая схема расчета монтажных параметров маятниковой подвески

Для определения температурной зависимости параметров маятниковой подвески строят монтажные кривые, которые определяются выражением [2, 5, 6]:

$$t_x^{\circ} = \left(t^{\circ} - \frac{C^2}{2\alpha l^2} - \frac{g^2 l^2}{24\alpha H^2} + \frac{H}{\alpha ES} \right) + \frac{C_x^2}{2\alpha l^2} + \frac{g^2 l^2}{24\alpha H_x^2} - \frac{H_x}{\alpha ES}, \quad (1)$$

- где γ – максимальный угол отклонения струны;
- g – собственный вес контактного провода;
- l – расстояние между опорами;
- C – величина взлома оси контактного провода;
- S – площадь поперечного сечения контактного провода;
- E – модуль упругости;
- H – натяжение контактного провода.

Таким образом, представленная зависимость учитывает максимальный угол отклонения струны, расстояние между опорами, вес и допустимое натяжение контактного провода, а также ряд других параметров.

Упростим исходное выражение и представим его алгебраической суммой отдельных компонентов:

$$t_x^0 = A + B + C - D, \quad (2)$$

где $A = t^{\circ} - \frac{C^2}{2\alpha l^2} - \frac{g^2 l^2}{24\alpha H^2} + \frac{H}{\alpha ES};$

$$\hat{A} = \frac{C_x^2}{2\alpha l^2}; \quad \tilde{N} = \frac{g^2 l^2}{24\alpha H_x^2}; \quad D = \frac{H_x}{\alpha ES}.$$

Введем следующие математические обозначения:

$$\left(\frac{Ql}{2H} \right)^2 = m, \quad (2\lambda)^2 = n. \quad (3)$$

Тогда из формулы (2) выразим значение параметра излома оси контактного провода :

$$C^4 - 2BC^3 - (n - B^2 - m) \cdot C^2 - 2BmC + B^2m = 0. \quad (4)$$

Применив метод Феррари преобразуем полученное линейное алгебраическое уравнение 4-й степени к уравнению 3-й степени и получим:

$$-y^3 + b'y^2 + \left(d \cdot (a^2 - 4b') + (c')^2 \right) = 0. \quad (5)$$

Определим корни уравнения (5) с помощью метода Гудде и откинув мнимую и отрицательную часть окончательно получим:

$$C = \frac{-\left(\frac{a}{2} - F\right) - \sqrt{\left(\frac{a}{2} - F\right)^2 - 4 \cdot \left(\frac{y}{2} - K\right)}}{2}. \quad (6)$$

Полученное выражение можно использовать для автоматизации проектирования маятниковых контактных подвесок троллейбуса.

Проведем численный эксперимент и установим основные монтажные параметры подвески для исходных данных, приведенных в таблице 1.

Для исходных данных представленных в таблице 1 были установлены основные монтажные параметры маятниковой подвески, показанные в таблице 2 и рассчитана монтажная таблица 3.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Величина
Расстояние между опорами (пролет)	l	м	35
Допустимое натяжения контактного провода	H	кН	10
Длина струны	λ	м	0,8
Максимальный угол отклонения струны	γ	°С	50
Климатический район	III		
Минимальная температура района	t	°С	-30
Площадь сечения контактного провода	S	мм ²	85
Удельный вес контактного провода	M	Н/м	0,755
Вес арматуры	g_c	Н	20

Таблица 2 – Монтажные параметры маятниковой подвески

Параметр	Обозначение	Ед. изм.	Величина
Вертикальная составляющая нагрузки	Q	Н	279,35
Минимальная величина излома оси контактного провода	С	м	0,583
Отклонение точек крепления струн	В	м	1,81
Отклонение оси контактного провода от точки крепления струны	а	м	0,614
Проекция струны на вертикальную плоскость	h	м	0,513
Боковое усилие от одного провода на опору	N	Н	333,14
Результирующее усилие в точке крепления струны	Р	Н	434,76

Таблица 2 – Монтажная таблица

С, м	Н, кН	t, °С	Расчетные части			
			A	B	C	D
0,58	10	-30	13,42	8,08	1,65	53,23
0,61	9	-23,52	13,42	8,93	2,04	47,91
0,65	8	-16,45	13,42	10,14	2,58	42,59
0,69	7	-9,05	13,42	11,43	3,36	37,26
0,74	6	-0,79	13,42	13,15	4,58	31,94
0,8	5	8,76	13,42	15,37	6,59	26,62
0,88	4	21,02	13,42	18,59	10,3	21,29
0,98	3	38,83	13,42	23,06	18,32	15,97

В результате численного эксперимента на основе монтажной таблицы 3 были построены монтажные кривые, представленные на рисунке 3, вид которых подтверждает правильность представленной в работе математической модели.

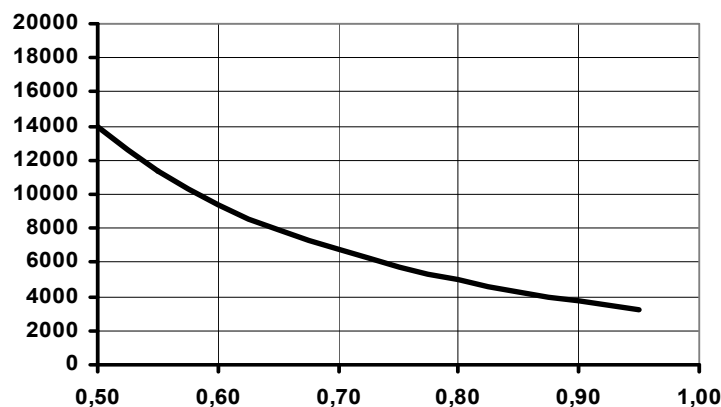


Рисунок 3 – Автоматически построенная монтажная кривая $H=f(t^{\circ})$

Вывод. Таким образом, в данной работе разработана математическая модель маятниковой подвески троллейбуса с учетом температурной зависимости стрелы провеса контактного провода, предложена новая методика определения монтажных параметров маятниковых подвесок.

В результате исследования установлен характер и зависимость параметров подвески от температуры, что позволило автоматизировать ее расчет.

Работа представляет научную основу для проектирования новых самокомпенсированных подвесок с улучшенными параметрами.

Полученные результаты будут полезны при проектировании новых контактных сетей электрического транспорта и позволят упростить работу проектировщиков, а также исключить погрешности при определении параметров маятниковых подвесок за счет автоматизации построения монтажных кривых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарнижевский М.В. Проектирование устройств электроснабжения трамвая и троллейбуса / М.В.Тарнижевский., Д.К.Томлякович. – М.: Транспорт, 1987. – 120 с.
2. Афанасьев А.С. Контактные и кабельные сети трамваев и троллейбусов / А.С.Афанасьев, Г.П. Долаберидзе, В.В. Шевченко. – М.: Транспорт, 1979. – 168 с.
3. Ивин К.В., Трофимов А.Н., Энгельс Г.Г. Токосъем городского наземного транспорта / К.В. Ивин, А.Н. Трофимов, Г.Г. Энгельс. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1965. – 234 с.
4. Сопов В.И. Контактная сеть трамвая и троллейбуса / В.И.Сопов. – Новосибирск: НЭТИ, 1982. – 186 с.
5. Сопов В.И. Расчеты тяговых сетей с применением ЭВМ. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию/ В.И.Сопов – Новосибирск: НЭТИ, 1989. – 65 с.
6. Правила проектирования контактной сети трамвая и троллейбуса. – М.: ОНТИ АКХ им. Памфилова, 1988. – 36 с.