

Расчет внешней характеристики генератора можно производить по методике, предложенной в [6], используя вместо магнитной характеристики намагничивающегося полюса зависимость, полученную в п.12 (рис.3).

Итак, наиболее насыщенными частями генератора являются станина и спинка якоря, где потоки магнитного и электромагнитного полюсов складываются, поэтому при проектировании сварочного генератора с комбинированной системой возбуждения предлагается выбирать их толщину из расчета суммарного магнитного потока электромагнитного и магнитного полюсов.

1.Любарский Б.Г. Методика расчета поля сварочного генератора постоянного тока с комбинированной магнитоэлектрической и электромагнитной системой возбуждения // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Сер. «Новые решения в современных технологиях». Вып.46. – Харьков, 1999. – С.71–72.

2.Любарский Б.Г. Методика расчета характеристики холостого хода сварочного генератора постоянного тока с комбинированной магнитоэлектрической и электромагнитной системой возбуждения // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Сер. «Новые решения в современных технологиях». Вып.47. – Харьков, 1999. – С.69–70.

3.Проектирование электрических машин / Копылов И. П., Горяинов Ф. А., Клоков Б. К. и др. – М.: Энергия, 1980. – 459 с.

4.Гольдберг О.Д., Гурин Я.С., Свириденко Н.С. Проектирование электрических машин. – М.: Высш. шк., 1984. – 572 с.

5.Никитин В.П. Основы теории трансформаторов и генераторов для дуговой сварки. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 240 с.

6.Постоянные магниты: Справочник / А.Б.Альтман, Э.В.Верниковский, А.Н.Герберт и др.; Под ред. Ю.М.Пятина. – М.: Энергия, 1980. – 488 с.

Получено 15.11.2004

УДК 628.093 : 621.398

О.Г.ГРИБ, д-р техн. наук, В.Н.ГАРЯЖА, В.А.САЛТЫКОВ, канд. техн. наук,
В.Ф.ХАРЧЕНКО, канд. техн. наук

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ КРИВЫХ СИЛЫ СВЕТА СВЕТИЛЬНИКОВ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ГОРОДОВ

Предлагается математическая модель кривых силы света светильников наружного освещения городов.

Светильники являются одной из основных частей уличных осветительных установок и устройств освещения городов. Их светотехнические свойства: характер светораспределения, значения КПД и коэффициентов использования, определяют количественные и качественные показатели установки, а также расход электроэнергии. Основной

характеристикой светильника любого назначения является тот или иной вид выражений распределения силы света. Светильник для освещения улиц строится с расчетом на направление и распределение возможно большей части потока источника света на сравнительно не широкую и длинную поверхность проезжей части улицы. Это назначение уличного светильника определяет необходимость несимметричного светораспределения.

Кривая распределения силы света в вертикальной плоскости, проходящей через направление максимальной силы света $I_{\text{макс.}}$, является основной светотехнической характеристикой светильников и служит признаком их светотехнической классификации. В зависимости от положения направления максимальной силы света светораспределение уличных светильников подразделяют на:

- ограниченное (направление $I_{\text{макс.}}$ лежит ниже $\alpha = 65^\circ$ – требование МКО), кривая тока типа Л по общей классификации светильников;
- полуограниченное (направление $I_{\text{макс.}}$ лежит ниже $\alpha = 75^\circ$), кроме типа Ш;
- неограниченное.

Характер светораспределения первых двух типов дополнительно уточняется требованиями к распределению силы света в направлениях, лежащих выше и ниже направления $I_{\text{макс.}}$.

При выполнении светотехнических расчетов (расчет яркости дорожного покрытия, показателя ослепленности) возникает необходимость определения значений силы света в направлениях, определяемых угловыми координатами α в вертикальной и β в горизонтальной плоскостях. При этом вертикальная плоскость, в которой строится вертикальная кривая распределения силы света может быть проведена как через направление $I_{\text{макс.}}$, так и через направление с углом $\beta = 90^\circ$. Характеристикой распределения светового потока в боковых направлениях может служить кривая распределения силы света, построенная, на поверхности конуса, образующей которого является направление $I_\alpha = \text{const}$. Для удобства представления эту кривую дают в проекции на горизонтальную плоскость и называют кривой светораспределения в горизонтальной плоскости. Однако в связи с отсутствием в паспортных данных светильников указанной горизонтальной кривой распределения силы света возникают затруднения в определении

$I_{\alpha, \beta}$ в различных меридиональных плоскостях.

В работах [1, 2] предложено аппроксимировать кривые силы света классов Л и Ш зависимостью:

$$I_{\alpha} = I_0 \left[\frac{\cos \alpha}{\cos(\theta \sin^n c \alpha)} \right], \quad (1)$$

где $\theta = 70^\circ$ для кривой Л и 85° для кривой Ш; $n = 1, 2$ для кривой Л и 1, 5 для кривой Ш; $c = 1, 7$ для кривой Л и 1, 2 для кривой Ш.

Эта формула может применяться для аппроксимации кривых силы света указанных классов, при наличии одной или двух плоскостей симметрии. У светильников наружного освещения форма кривых силы света может значительно отличаться от формы, полученной в результате данной аппроксимации. Например, для отечественных светильников типа РКУ03-250-001-У1 в четырех плоскостях сечений кривые имеют вид (рис.1) [1].

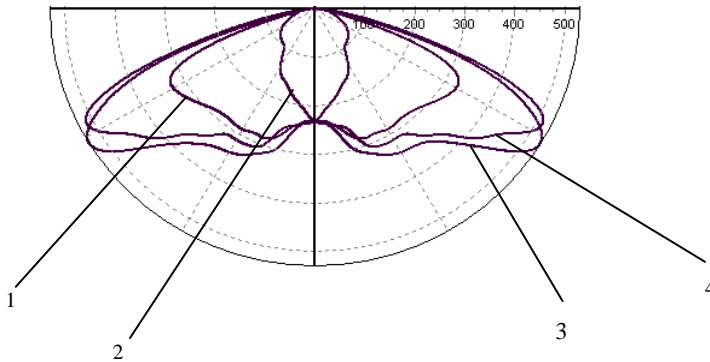


Рис.1 – Кривые силы света светильников типа РКУ03-250-001-У1 для углов:
1 – $\beta = 90^\circ$; 2 – $\beta = 0^\circ$; 3 – $\beta = 70^\circ$; 4 – $\beta = 80^\circ$.

Для светильников зарубежного производства, например фирмы Philips, кривые силы света имеют не только характерную кривизну, но еще и несимметрию относительно оптической оси светильника (рис.2, а), причем в меридиональной плоскости светильник представлен четырьмя плоскостями в соответствии с рис.2, б [3].

Целью данной работы является разработка и применение современных методов расчета при моделировании кривых силы света светильников наружного освещения.

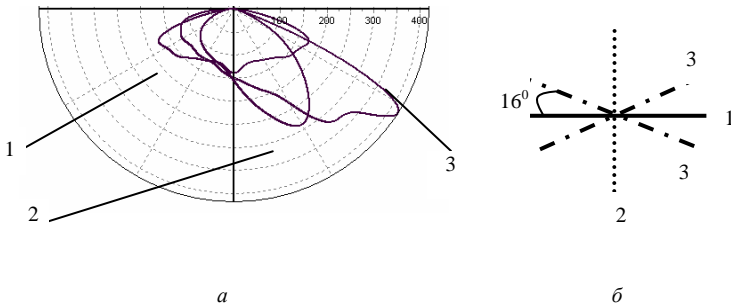


Рис.2 – Кривые силы света светильника типа HGS 203 фирмы Philips:
a – кривые силы света в меридиональной плоскости: 1 – плоскость параллельная оси дороги; 2 – плоскость перпендикулярная оси дороги; 3 – плоскость максимальной силы света; *б* – расположение меридиональных плоскостей в пространстве.

Современные методы расчета и применение быстродействующих вычислительных машин позволяют в настоящее время разработать алгоритм моделирования и оценки показателей наружного освещения городов. В последнее время в качестве математического моделирования используется теория кусочно-полиномиальных приближений. Это направление было разработано и развивалось американскими учеными [4], но в последнее время появились многочисленные работы в Украине и ближнем зарубежье [5, 6]. Кусочно-полиномиальные приближения или как их еще называют сплайн-приближения имеют ряд преимуществ перед обычными полиномиальными приближениями, в частности при решении задач на быстродействующих вычислительных машинах.

При решении задачи аппроксимации с помощью сплайнов применяют интерполяцию, наилучшее равномерное приближение, равномерное приближение с заданной точностью, наилучшее среднеквадратичное приближение. Поскольку кривые силы света светильников получают экспериментально с помощью пространственных измерительных приборов, то можно рассматривать функцию, заданную со случайными погрешностями, поэтому целесообразно применить наилучшее среднеквадратичное приближение.

Пусть требуется аппроксимировать достаточно гладкую функцию $I(\alpha)$ в полярной системе координат на отрезке $L_1 \leq \alpha \leq L_2$. Функция задана своими приближенными значениями в J точках:

$$\tilde{I}_j \approx I(\xi_j) \pm \sigma_j, \quad \xi_j \in [L_1, L_2], \quad j=1, \dots, J. \quad (2)$$

Погрешности задания функции, как это принято для экспериментальных измерений, предлагаются случайными величинами с гауссовым распределением, а $\sigma_j > 0$ суть их стандарты (неодинаковые в разных точках).

Выбираем некоторую сетку узлов сплайна $L_1 = \alpha_0 < \alpha_1 < \alpha_2 \dots < \alpha_N = L_2$. На этой сетке можно записать сплайн p -й степени дефекта 1 в глобальной форме:

$$S(\alpha) = \sum_{k=0}^p a_k (\alpha - \alpha_0)^k + \sum_{n=1}^{N-1} b_n [(\alpha - \alpha_n)_+]^p, \quad (3)$$

где $\varphi_+ = \frac{1}{2}(\varphi + |\varphi|)$.

Он содержит $p + N$ свободных параметров $\{a_k; k = 0, \dots, p\}$ и $\{b_n; n = 1, \dots, N - 1\}$, а в узлах α_n ($1 \leq n \leq N - 1$) непрерывен вместе с $(p - 1)$ -ми производными. Поскольку параметры будут находиться по заданным значениям функции, должно выполняться условие $p + N \leq J$.

Нормируемые отклонения сплайна от заданных (приближенных) значений функции, отнесенные к соответствующим стандартам:

$$\delta_j = [S(\xi) - \tilde{I}_j] / \sigma_j, \quad j = 1, \dots, J. \quad (4)$$

Для всей совокупности точек доверительная вероятность определяется по среднему нормированному стандарту:

$$\delta_l = \left[\sum_{j=1}^J (\delta_j)^2 / (J - p - N) \right]^{1/2}. \quad (5)$$

В методе наименьших квадратов коэффициенты определяются из условия минимума среднего нормируемого стандарта, записываемого в виде:

$$(J - p - N)(\delta_l)^2 \equiv \sum [S(\xi) - \tilde{I}_j]^2 / \sigma_j^2 = \min. \quad (6)$$

Подставляя (3) в (6) и дифференцируя по a_k или b_k соответственно получим две группы уравнений:

$$\sum_{r=0}^p \left[\sum (\xi_{j=1} - \alpha_0)^{k+r} / \sigma_j^2 \right] a_r +$$

$$\sum_{l=1}^{N-1} \left\{ \sum_{j=1}^J (\xi_j - \alpha_0)^k [(\xi_j - \alpha_l)_+]^p / \sigma_j^2 \right\} b_l =$$

$$= \sum_{j=1}^J \tilde{I}_j (\xi_j - \alpha_0)^k / \sigma_j^2, \quad k = 0, \dots, p; \quad (7)$$

$$\sum_{r=0}^p \left\{ \sum_{j=1}^J (\xi_j - \alpha_0)^r [(\xi_j - \alpha_n)_+]^p / \sigma_j^2 \right\} a_r +$$

$$+ \sum_{i=1}^{N-1} \left\{ \sum_{j=1}^J (\xi_j - \alpha_n)_+ [(\xi_j - \alpha_i)_+]^p / \sigma_j^2 \right\} b_i =$$

$$= \sum_{j=1}^J \tilde{I}_j [(\xi_j - \alpha_n)_+]^p / \sigma_j^2, \quad n = 1, \dots, N-1. \quad (8)$$

В совокупности они образуют линейную систему $(p + N)$ -го порядка для нахождения такого же числа искоемых коэффициентов. Матрица этой системы полностью заполнена, а сама система довольно плохо обусловлена, поэтому ее целесообразно решать методом исключения Гаусса с выбором главного элемента по столбцам. Данный алгоритм может использоваться для любой степени сплайна p . В этой работе использовались сплайны первого и третьего порядка, что значительно сокращает время нахождения коэффициентов и упрощает систему линейных уравнений.

Очень важно на первом этапе выбрать оптимальные значения параметров сплайна и, прежде всего, количество узлов сплайна N . Если N очень мало, то хорошая точность возможна лишь случайно, а с другой стороны, слишком большое N тоже не желательно [6].

Доверительная вероятность того, что аппроксимацию выбранным сплайном можно считать правильной, определяется величиной (5) по обычным правилам статистики. Если $J - p - N \gg 1$, то можно пользоваться простейшим критерием интеграла ошибок: значениям $\delta_l = 0,5$ и $\delta_l = 1,0$ соответствуют доверительные вероятности 68 и 95%. Если $J - p - N$ невелико, надо пользоваться критерием Стьюдента. Поэтому на практике целесообразно подбирать такое число параметров, чтобы получить $0,5 \leq \delta_l \leq 1,0$. Если при этом выполняются неравенства

$J - p - N \gg 1$ и $|\delta_0| \ll 1$, аппроксимацию можно считать достоверной [6].

На основании изложенного строится алгоритм вычисления сплайна для кривых силы света светильников в полярной системе координат (рис.3).

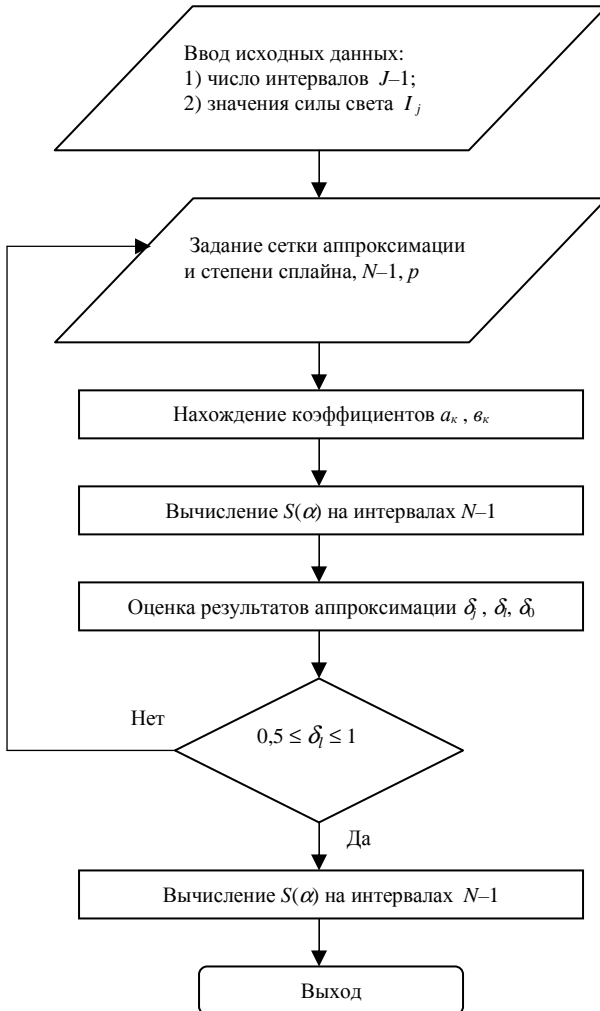


Рис.3 – Блок-схема аппроксимации кривой силы света

Построение модели и исследование параметров проводились для кривых силы света светильника типа HGS 203 фирмы Philips. Как показали исследования (рис.4-6) для кривой силы света светильника уклонение сплайна от заданных (приближенных) значений функций возрастает при уменьшении числа точек функции, однако при этом уменьшается число осцилляций, хотя амплитуда значительно увеличивается. Особенно это касается тех значений функции, где она быстро изменяется $\alpha = 320^0 - 360^0$.

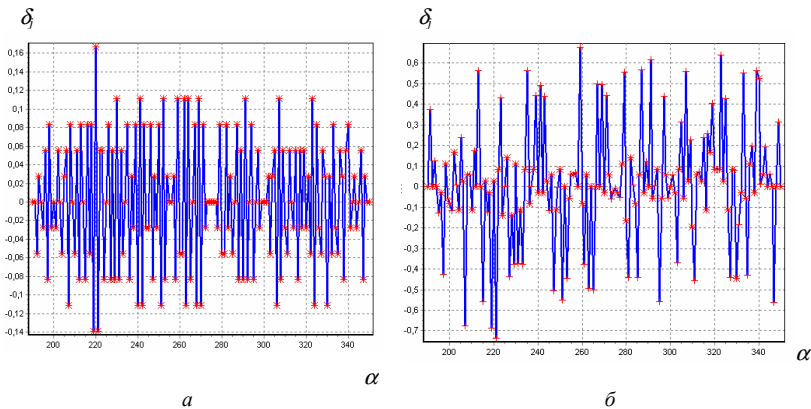


Рис.4 – Уклонение сплайна от заданных (приближенных) значений функции:
 $a - J=160, N=160$; $б - J=160, N=80$. КСС в плоскости максимальной силы света.

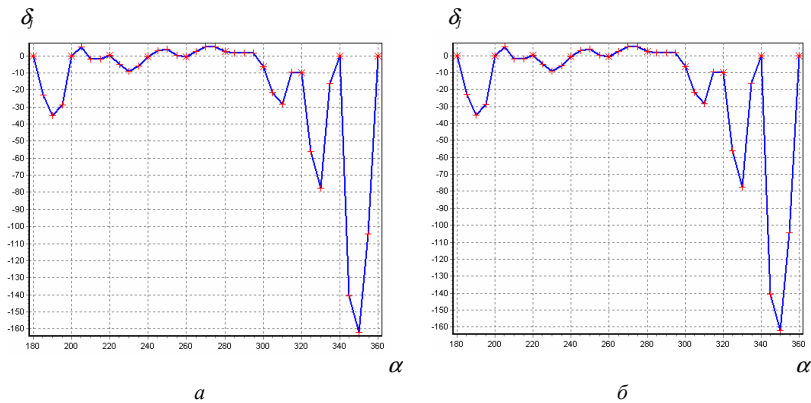


Рис.5 – Уклонение сплайна от заданных (приближенных) значений функции:
 $a - J=36, N=9$; $б - J=36, N=36$. КСС в плоскости максимальной силы света.

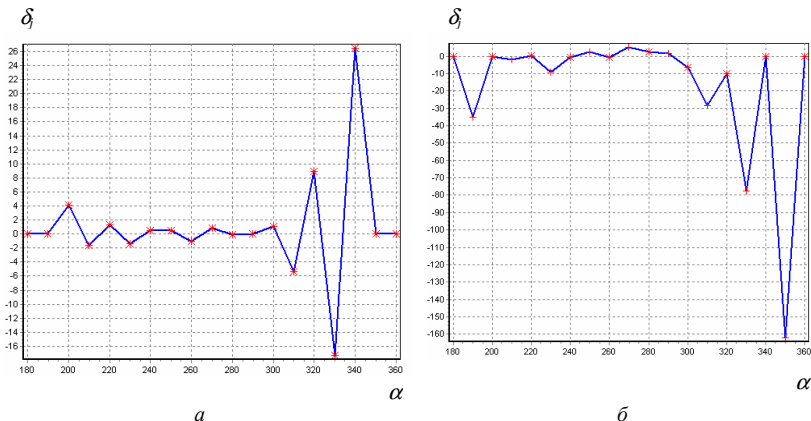


Рис.6 – Уклонение сплайна от заданных (приближенных) значений функции:
 $a - J=18, N=18$; $b - J=18, N=9$. КСС в плоскости максимальной силы света.

На рис.7 показан сплайн кривой силы света для светильника HGS 203 фирмы Philips и заданные (приближенные) значения функции. При увеличении числа значений функции с 18, что соответствует интервалу 10^0 (рис.7, a), до 36 (интервал 5^0) уменьшается уклонение сплайна от заданных значений функции.

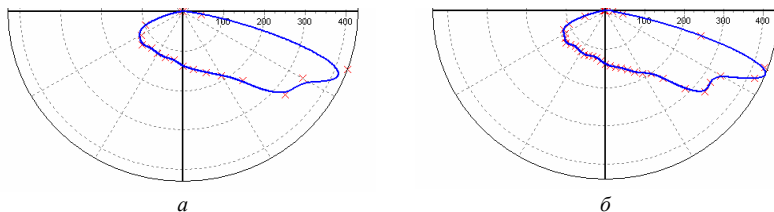


Рис.7 – Кривая силы света светильника HGS 203 фирмы Philips
 в плоскости максимальной силы света:
 a – количество значений функции $J=18$; $b - J=36$.

Построение сплайна осуществлялось для кривых силы света расположенных в меридиональной плоскости, что характеризует зависимость $I(\alpha)$ в полярной системе координат. Для функции $I(\beta)$, при $\alpha = const$, когда количество значений функции ограничено количеством меридиональных плоскостей (например, для светильника HGS 203 фирмы Philips это четыре плоскости) можно обходиться построением интерполяционного сплайна, однако при увеличении несимметрии кривых силы светильника, а следовательно, при увеличении меридио-

нальных плоскостей увеличивается количество значений заданной функции, что дает возможность построения для этих функций аппроксимирующего сплайна.

На рис.8 представлен численный пример построения как аппроксимирующего, так и интерполяционного сплайнов. Построение выполнено для светильника HGS 203 фирмы Philips, представленного на рис.2. В этом случае меридиональные плоскости расположены $\beta=90^0$ (плоскость параллельная оси дороги), $\beta=106^0$ и $\beta=254^0$ (плоскость максимальной силы света), $\beta=180^0$ (плоскость перпендикулярна оси дороги).

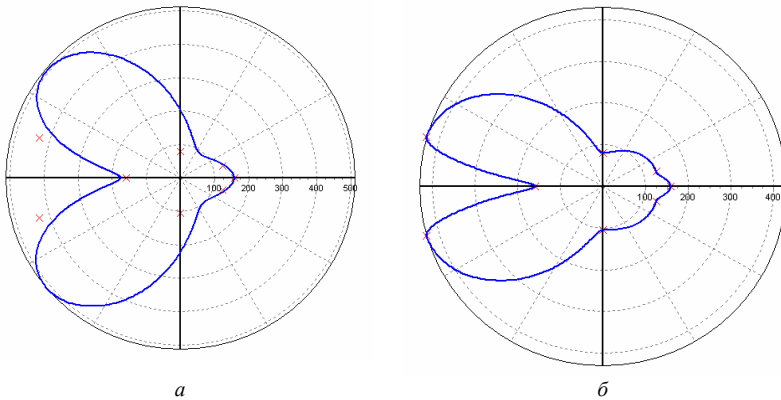


Рис.8 – Кривая силы света светильника $I(\beta)$ при $\alpha=120^0$:
 а – построение аппроксимирующего сплайна;
 б – построение интерполяционного сплайна.

Построение сплайнов для кривых силы света позволяют получить математические модели для любых светильников, включая светильники с несимметричной характеристикой. Это дает возможность использовать их в методах расчета, что позволяет более точно оценить качественные характеристики наружного освещения городов.

Таким образом, применение сплайнов в моделировании кривых силы света различных светильников с несимметричными характеристиками позволяет получить алгоритмы расчетов и оценку качественных характеристик наружного освещения городов.

1.Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г.М.Кноринг, И.М.Фадин, В.Н.Сидоров. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.

2.Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б.Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 528 с.

3.Каталог на светильники производства фирмы “ Philips Lighting “. – 2001.

4.Алберг Дж., Нильсон Э., Уолш Дж. Теория сплайнов и ее приложения. – М.: Мир, 1972. – 120 с.

5.Назаренко М. О. Изогеометричне сплайн-відновлення плоских кривих // Укр. матем. журн. – 2000. – Т. 52, № 1. – С.100-105.

6.Калиткин Н. И., Кузьмина Л. В. Среднеквадратичная аппроксимация сплайнами // Математическое моделирование. – 1997. – Т.9, №9. – С.107-116.

Получено 22.11.2004

УДК 625.03

В.П.ШПАЧУК, д-р техн. наук, А.В.КОВАЛЕНКО

Харьковская национальная академия городского хозяйства

УДАРНОЕ И ДИНАМИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТРАМВАЯ С ПРИНИМАЮЩИМ РЕЛЬСОМ В МЕСТЕ ИЗОЛИРОВАННОЙ СТЫКОВОЙ НЕРОВНОСТИ С УЧЕТОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

Рассматриваются вопросы взаимодействия колеса трамвая с принимающим рельсом в месте стыка, анализируется влияние их ударного и динамического взаимодействия на срок эксплуатации.

Нормы срока службы рельсов, определяющие периодичность их смены, являются функцией работы рельсового пути под подвижным составом, типа и мощности рельсов, характеристик верхнего строения пути, условий его эксплуатации. Наиболее слабым участком рельсового пути являются изолированные стыковые неровности, относящиеся к рельсовым стыкам. При этом деформационные характеристики балластного слоя под рельсовыми опорами (параметры упругой и остаточной осадки) регламентируют в конечном итоге технический ресурс, продолжительность его эксплуатации. Практика показывает, что наибольшая осадка балластного слоя происходит в местах стыковых неровностей под шпалами принимающего рельса. Это связано с тем, что в этих местах рельс, как правило, испытывает наибольшие динамические нагрузки ударного типа.

Вопросы взаимодействия транспортного средства с рельсовым путем в месте стыка рассматриваются в основном на основе методов экспертных оценок и теории натурного эксперимента [1, 5, 8-11].

Однако исследования показывают, что параметры ударного и динамического взаимодействия трамвая с принимающим рельсом в месте изолированной стыковой неровности являются многофакторными: зависят от механических и геометрических характеристик транспортного средства, колеса и стыка. Настоящая работа посвящена вопросам численного моделирования указанного взаимодействия при варьиро-