

О. А. СИДОРОВ, В. В. СВЕШНИКОВ, С. Ю. СОСНОВСКИЙ (ОМГУПС)

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Омский государственный университет путей сообщения», пр. Маркса, 35, Омск, Россия, 644046, тел 8-960-998-50-30, эл. почта: [sergey.omgups@gmail.com](mailto:sergey.omgups@gmail.com)

## ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ТОКОПРИЕМНИКА СКОРОСТНОГО ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Надежность является одним из самых важных показателей деталей и устройств современной техники. От нее зависят такие характеристики, как качество, эффективность, безотказность, риск, готовность, живучесть. Техника может быть эффективной только при условии, если она имеет надежность [1].

В случае отказа токоприемника прекращается обеспечение подвижного состава электрической энергией. Это может привести к временным, экономическим или материальным потерям. Чтобы избежать этого, необходимо точно определять ресурс токоприемника и его элементов, а так же назначать текущие и капитальные ремонты.

В статье рассчитана надежность конструкции токоприемника и составляющих его элементов и подсистем для оценки показателей надежности, обеспечивающих надежный, экономичный и экологичный токосъем.

Объектом исследования является токоприемник, предназначенный для применения на линиях с модернизированной инфраструктурой системы токосъема.

Исследуемый токоприемник разрабатывается в рамках проекта «Разработка и организация высокотехнологичного производства нового магистрального токоприемника для применения на линиях с модернизированной инфраструктурой системы токосъема» (договор № 13.G25.31.0034 от «07» сентября 2010 г.) реализуемого при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

Конструкция токоприемника представляет собой асимметричный пантограф, предназна-

ченный для установки на электровозы: ЧС2, ЧС4, ЧС6, ЧС7, ВЛ10, ЭП9, ЭП1, ЭМ2, ЭМ4, ЭП200, ЭП2К, ЭП10. Наибольшая допустимая скорость токоприемника – 160 км/ч.

Расчет надежности токоприемника ведется методом структурных схем. Этот метод применяется для простых систем при следующих условиях:

- элементы систем рассматриваются как одноотказные;
- система представляется в виде единой структурной схемы, состоящей из суммы последовательных и параллельных соединений элементов, подсистем;
- в структурной схеме одно и то же событие должно представляться в виде одного элемента, подсистемы, то есть должна соблюдаться ординарность.

Методика построения структурной схемы включает следующие основные этапы:

- составление принципиальной схемы на основе изучения конструкции функциональной системы;
- составление структурной схемы, на которой прямоугольником обозначается событие безотказной работы элемента, а соединяющая линия обозначает связь - последовательность реализации событий безотказной работы системы в целом (последовательное или параллельное соединение);
- составляется уравнение для оценки вероятности безотказной работы системы.

Для расчета показателей надежности составляется структурная схема токоприемника в общем виде (рис. 1).

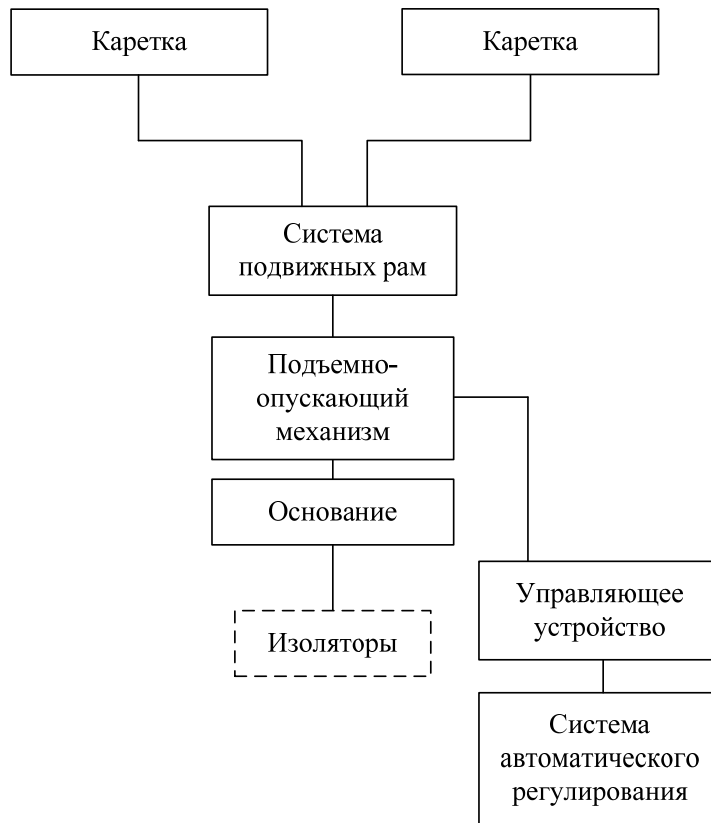


Рис. 1. Структурная схема токоприемника

Для определения времени безотказной работы токоприемника используем формулу:

$$P_{тк}(t) = P(t)_{кар} \cdot P(t)_{спр} \cdot P(t)_{пом} \cdot P(t)_{осн} \cdot P(t)_{изол} \cdot P(t)_{у.у} \cdot P(t)_{сар}, \quad (1)$$

где  $t$  – расчетное время,  $t = 8760$  ч [2]. Время  $t$  выбрано исходя из методики расчета. Результаты расчетов приведены на время, большее срока службы токоприемника;

$P_{тк}(t)$  – вероятность безотказной работы токоприемника;

$P_{кар}(t)$  – вероятность безотказной работы подсистемы «каретка»;

$P_{спр}(t)$  – вероятность безотказной работы подсистемы «система подвижных рам»;

$P_{пом}(t)$  – вероятность безотказной работы подсистемы «подъемно-опускающий механизм»;

$P_{осн}(t)$  – вероятность безотказной работы подсистемы «основание»;

$P_{изол}(t)$  – вероятность безотказной работы изолятора;

$P_{у.у}(t)$  – вероятность безотказной работы подсистемы «система автоматического регулирования»;

$P_{сар}(t)$  – вероятность безотказной работы подсистемы «система автоматического регулирования».

Для расчета показателей надежности токоприемника необходимо рассчитать показатели надежности всех подсистем. Таким образом, необходимо отдельно рассмотреть каждую подсистему и построить для нее структурную схему. На рисунке 2 показана структурная схема каретки.

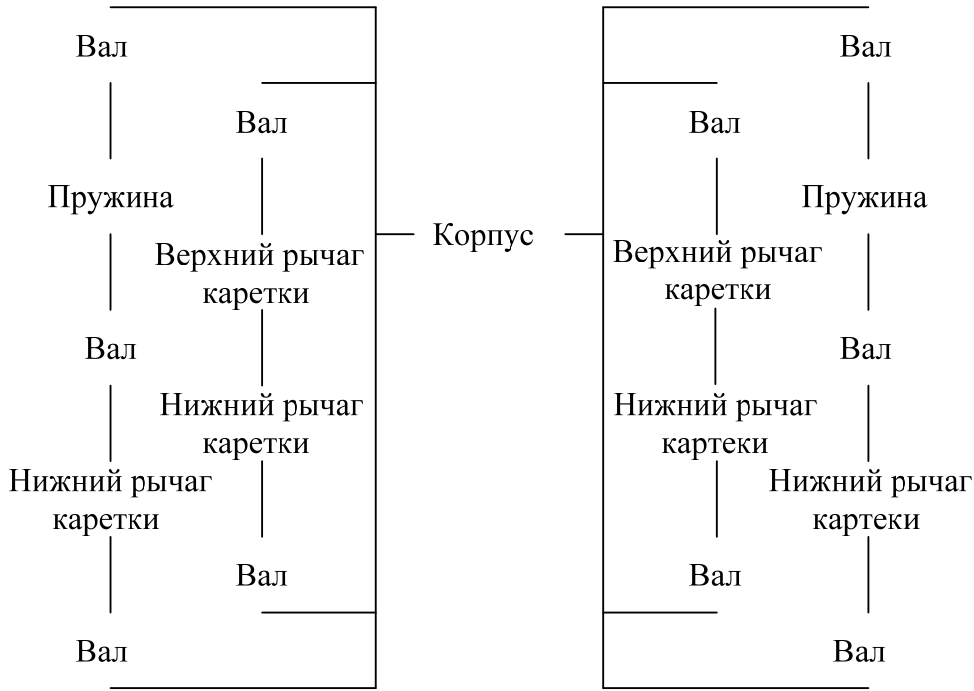


Рис. 2. Структурная схема каретки

Каретка состоит из следующих элементов: вал, корпус, верхний рычаг каретки, нижний рычаг каретки, пружина. В схеме присутствуют

как последовательные, так и параллельные соединения элементов [3]. Интенсивности отказов элементов представлены в таблице 1[4].

Таблица 1

**Интенсивности отказов элементов каретки**

Элемент	Интенсивность отказов, $\lambda_i, 10^{-6}$ 1/ч
Вал	0,020
Корпус	0,005
Верхний рычаг каретки	0,004
Нижний рычаг каретки	0,004
Пружина	0,012
Шунт	2,200

При расчете вероятности безотказной работы используем формулу для внезапного отказа:

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t}, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – интенсивность отказов,  $10^{-6}$  1/ч.

Для учета влияния динамики подвижного состава и климатических воздействий вводим в формулу (2) коэффициенты  $k_d$  и  $k_t$ . Для всех систем принимаем коэффициент влияния динамики подвижного состава  $k_d = 1,54$  и коэффициент климатических воздействий  $k_t = 2$  [3]. Получаем уточненную формулу:

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t \cdot k_d \cdot k_t}. \quad (3)$$

Вероятность безотказной работы корпуса:

$$P_{кор}(t) = e^{-0,005 \cdot 10^{-6} \cdot 8760 \cdot 1,54 \cdot 2} = 0,999865105$$

Далее рассчитываем последовательное соединение элементов: вал – верхний рычаг – нижний рычаг – вал. Согласно формуле:

$$P_1(t) = P_{вал}(t) \cdot P_{в.р.к}(t) \cdot P_{н.р.к}(t) \cdot P_{вал}(t), \quad (4)$$

где  $P_{вал}(t)$  - вероятность безотказной работы вала;

$P_{в.р.к}(t)$  - вероятность безотказной работы верхнего рычага каретки;

$P_{н.р.к}(t)$  - вероятность безотказной работы нижнего рычага каретки.

Следовательно, вероятность безотказной работы вала:

$$P_{вал}(t) = e^{-0,020 \cdot 10^{-6} \cdot 8760 \cdot 1,54 \cdot 2} = 0,999460529$$

Вероятность безотказной работы верхнего рычага каретки:

$$P_{н.п.к}(t) = e^{-0,004 \cdot 10^{-6} \cdot 8760 \cdot 1,54 \cdot 2} = 0,999892082.$$

$$P_{в.п.к}(t) = e^{-0,004 \cdot 10^{-6} \cdot 8760 \cdot 1,54 \cdot 2} = 0,999892082.$$

Вероятность безотказной работы нижнего рычага каретки:

После получения промежуточных результатов можно вычислить  $P_1(t)$ :

$$P_1(t) = 0,999460529 \cdot 0,999892082 \cdot 0,999892082 \cdot 0,999460529 = 0,998705758.$$

Производим расчет последовательного соединения элементов: вал – пружина – вал – нижний рычаг каретки – вал.

где  $P_{np}(t)$  – вероятность безотказной работы пружины.

$$P_2(t) = P_{вал}(t) \cdot P_{np}(t) \cdot P_{вал}(t) \cdot P_{н.п.к}(t) \cdot P_{вал}(t), (5)$$

$$P_{np}(t) = e^{-0,012 \cdot 10^{-6} \cdot 8760 \cdot 1,54 \cdot 2} = 0,999676282,$$

$$P_2(t) = 0,999460529 \cdot 0,999676282 \cdot 0,999460529 \cdot 0,999892082 \cdot 0,999460529 = 0,997951557.$$

Формула для расчета вероятности безотказной работы  $n$  параллельно соединенных элементов:

$n$  – количество параллельно соединенных элементов.

$$P_{\parallel}(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i(t)), (6)$$

Затем определяем вероятность безотказной работы двух параллельных ветвей: вал – верхний рычаг каретки – нижний рычаг каретки – вал и вал – пружина – вал – нижний рычаг каретки – вал.

где  $P_i(t)$  – вероятность безотказной работы параллельно соединенных элементов;

$$P_{(1-2)}(t) = 1 - (1 - P_1(t)) \cdot (1 - P_2(t)), (7)$$

$$P_{(1-2)}(t) = 1 - (1 - 0,998705758) \cdot (1 - 0,997951557) = 0,999997348.$$

Так как каретка имеет симметричное строение, вероятность безотказной работы для двух параллельных ветвей  $P_{(1-2)}(t)$  вычисляем как:

$$P_{(1-2)\parallel}(t) = 1 - (1 - P_{(1-2)}(t)) \cdot (1 - P_{(1-2)}(t)),$$

$$P_{(1-2)\parallel}(t) = 1 - (1 - 0,999997348) \cdot (1 - 0,999997348) = 0,999999999.$$

Вероятность безотказной работы каретки рассчитываем по формуле:

$$P_{кар}(t) = P_{кар}(t) \cdot P_{(1-2)\parallel}(t),$$

$$P_{кар}(t) = 0,999865105 \cdot 0,999999999 = 0,999865104.$$

В конструкции токоприемника предусматривается две каретки. Расчет производится, учитывая параллельное соединение:

$$P_{кар\parallel}(t) = 1 - (1 - 0,999865104) \cdot (1 - 0,999865104) = 0,999999981.$$

Аналогично рассчитанные показатели надежности для всех элементов и подсистем токоприемника приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

**Рассчитанные параметры элементов токоприемника**

Элемент	Интенсивность отказов, $\lambda_i \cdot 10^{-6}$ 1/ч	Вероятность безотказной работы, P	Время наработки на отказ, T, ч
Вставка	1,110	0,97049533	900900
Накладка	0,001	0,999973019	$10^9$
Каркас	0,025	0,999325707	$4 \cdot 10^7$
Шунт	2,200	0,942369566	454454
Вал	0,020	0,999460529	$5 \cdot 10^7$
Подшипник	0,875	0,976668293	1142857
РКЭ	9,000	0,784407047	111111
Демпфер	0,030	0,999190903	33333333
Изолятор	0,050	0,998651869	$2 \cdot 10^7$
Основание	0,005	0,999865105	$2 \cdot 10^8$
Рычаг	0,004	0,999892082	$250 \cdot 10^6$
Пружина	0,012	0,999676282	83333333
Корпус	0,005	0,999865105	$2 \cdot 10^8$
Цепная пер.	2,175	0,999993301	459770
Воздушный фильтр	0,200	0,994618373	$5 \cdot 10^6$
Пневморегулятор	2,100	0,944915588	476190
Электропневматический клапан	0,900	0,976009733	1111111
Пневматический дроссель	0,800	0,978646641	$1,25 \cdot 10^6$
Датчик скорости	0,400	0,989265708	$2,5 \cdot 10^6$
Датчик искрения	0,100	0,997305556	$1 \cdot 10^7$
Блок управления	0,800	0,978646641	$1,25 \cdot 10^6$

Согласно таблице 2 элементами, обладающими наименьшей надежностью, являются резинкордный элемент, цепная передача и пнев-

морегулятор. При эксплуатации токоприемника этим элементам следует уделять повышенное внимание.

Таблица 3

**Рассчитанные параметры подсистем токоприемника**

Подсистема	Вероятность безотказной работы, P	Время наработки на отказ, T, ч
Каретки	0,999999981	$1,4 \cdot 10^{12}$
Система подвижных рам	0,996526765	2517762
Подъемно-опускающий механизм	0,780906458	109102
Управляющие устройства	0,967495305	816327
Система автоматического регулирования	0,968113656	832592

В результате расчетов, проведенных для всех элементов и подсистем токоприемника, определяем вероятность безотказной работы токоприемника:

$$P_{TK}(t) = P_{кар||}(t) \cdot P_{срп}(t) \cdot P_{ном}(t) \cdot P_{дем||}(t) \cdot P_{ш||}(t) \cdot P_{изо||}(t) \cdot P_{у.у}(t) \cdot P_{срп}(t), \quad (11)$$

$$P_{TK}(t) = 0,999999981 \cdot 0,996526765 \cdot 0,780906458 \cdot 0,999999345 \cdot 0,996678733 \cdot 1 \cdot 0,967495305 \cdot 0,968113656 = 0,750398136.$$

По результатам выполненной работы построены графики функции надежности для каждой подсистемы и функция надежности то-

коприемника. Функция надежности токоприемника приведена на рисунке 3.

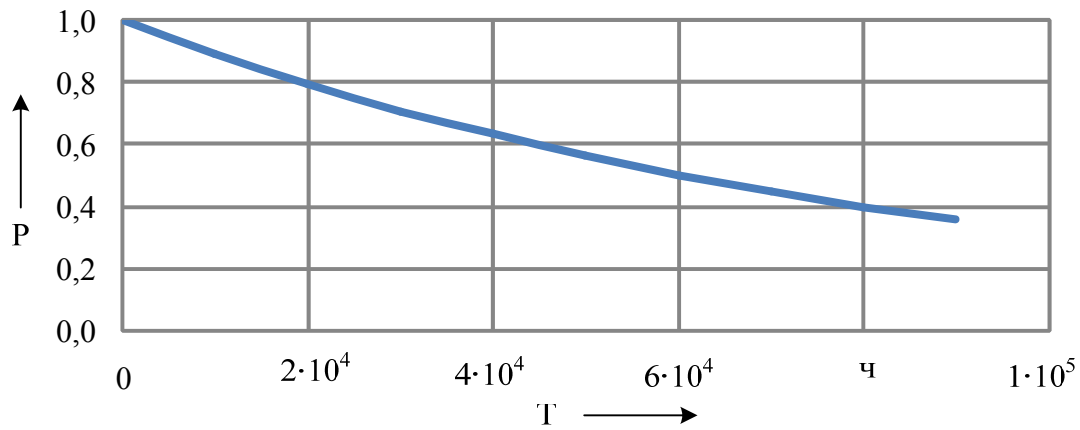


Рис. 3. Функция надежности токоприемника

### Выводы

Таким образом, средняя наработка на отказ рассмотренного токоприемника составляет 10000 ч при вероятности безотказной работы токоприемника 90%, что соответствует техни-

ческим требованиям, предъявляемым к разрабатываемому токоприемнику.

Элементами, имеющими наименьшее время наработки на отказ при вероятности безотказной работы 90%, являются: резинокордный элемент – 3800 ч, цепная передача – 15728 ч и пневморегулятор – 16289 ч.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Половко, А. М. Основы теории надежности [Текст] / А. М. Половко, С. В. Гуров. – 2-е издание – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 704 с.
2. Половко, А. М. Основы теории надежности. Практикум [Текст] / А. М. Половко, С. В. Гуров – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 560 с.
3. Сидоров, О. А. Оценка влияния диссипативных характеристик амортизаторов на работу устройств токосъема [Текст] / О. А. Сидоров, В. В. Томилов, А. В. Беккер // Актуальные проблемы проектирования и эксплуатации контактных подвесок и токоприемников электрического транспорта / Омский гос. ун-т путей сообщения – Омск, 2011. – 237 с.
4. Половко, А. М. Сборник задач по теории надежности [Текст] / А. М. Половко, И. М. Маликова. – М., 1972. – 345 с.

### REFERENCES

1. Polovko, A. M. Gurov S. V. *Osnovy teorii nadezhnosti*[Fundamentals of reliability theory]. Saint Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2008. 704 p.
2. Polovko, A. M. Gurov S. V. *Osnovy teorii nadezhnosti. Praktikum* [ Fundamentals of reliability theory]. Saint Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2006. 560 p.
3. Sidorov, O. A., Tomilov V. V., Bekker A. V. *Otsenka vliyaniya dissipativnykh kharakteristik amortizatorov na rabotu ustroystv tokos"ema. Aktual'nye problemy proektirovaniya i ekspluatatsii kontaknykh podvesok i tokopriemnikov elektricheskogo transporta* [Assessing the impact of the dissipative characteristics of the shock absorbers on the operation of the devices current collection. Actual problems of design and operation of overhead lines and current collectors of electric vehicles.]. Omsk, Omskiy gos. un-t putey soobshcheniya Publ., 2011. 237 p.
4. Polovko, A. M., Malikova I. M *Sbornik zadach po teorii nadezhnosti* [Problems in the theory of reliability] Moscow, 1972. 345 p.

Поступила в печать 12.02.2013.

Статья рекомендована к печати д.т.н., профессором Г. К. Гетьманом

Стабильность токосъема на железных дорогах зависит от множества факторов, в том числе, от характеристик контактной сети и токоприемника. Взаимодействие контактной подвески и токоприемника является сложным процессом, особенно, на высоких скоростях. Для обеспечения непрерывного качественного токосъема контактная сеть и токоприемник должны обладать надежностью.

В случае отказа токоприемника прекращается обеспечение подвижного состава электрической энергией. Это может привести к временным, экономическим или материальным потерям. Чтобы избежать этого, необходимо точно определять ресурс токоприемника и его элементов, а так же время проведения текущих и капитальных ремонтов.

Объектом исследования является токоприемник, предназначенный для применения на линиях с модернизированной инфраструктурой системы токосъема.

Исследуемый токоприемник разрабатывается в рамках проекта «Разработка и организация высокотехнологического производства нового магистрального токоприемника для применения на линиях с модерни-

рованной инфраструктурой системы токосъема» (договор № 13.G25.31.0034 от «07» сентября 2010 г.) реализуемого при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

В статье приведен расчет надежности конструкции токоприемника скоростного электроподвижного состава. Определены показатели надежности и элементы, имеющие наименьшее время наработки на отказ, построена функция надежности токоприемника.

**Ключевые слова:** надежность, контактная сеть, токоприемник, отказ, структурная схема.

УДК 621.336

О. А. СИДОРОВ, В. В. СВЕШНИКОВ, С. Ю. СОСНОВСКИЙ (ОМГУПС)

Федеральне державне бюджетне освітня установа вищої професійної освіти «Омський державний університет шляхів сполучення», пр. Маркса, 35, Омськ, Росія, 644046, тел 8-960-998-50-30, e-mail: [sergey.omgups@gmail.com](mailto:sergey.omgups@gmail.com)

## ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ СТРУМОПРИЙМАЧІВ ШВИДКІСНОГО ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

Стабільність струмознімання на залізницях залежить від безлічі факторів, у тому числі, від характеристик контактної мережі і струмоприймача. Взаємодія контактної підвіски і струмоприймача є складним процесом, особливо, на високих швидкостях. Для забезпечення безперервного якісного струмознімання контактна мережа і струмоприймач повинні мати надійність.

У разі відмови струмоприймача припиняється забезпечення рухомого складу електричною енергією. Це може призвести до тимчасових, економічних або матеріальних втрат. Щоб уникнути цього, необхідно точно визначати ресурс струмоприймача і його елементів, а так само час проведення поточних і капітальних ремонтів.

Об'єктом дослідження є струмоприймач, призначений для застосування на лініях з модернізованою інфраструктурою системи струмознімання.

Досліджуваний струмоприймач розробляється в рамках проекту «Розробка та організація високотехнологічного виробництва нового магістрального струмоприймача для застосування на лініях з модернізованою інфраструктурою системи струмознімання» (договір № 13.G25.31.0034 від «07» вересня 2010 р.) реалізується за підтримки Міністерства освіти і науки Російської Федерації.

У статті наведено розрахунок надійності конструкції струмоприймача швидкісного електрорухомого складу. Визначено показники надійності та елементи, що мають найменший час напрацювання на відмову, побудована функція надійності струмоприймача.

**Ключові слова:** надійність, контактна мережа, струмоприймач, відмова, структурна схема.

Статтю рекомендовано до друку д.т.н, професором *Г. К. Гетьманом*

UDC 621.336

O. A. SIDOROV, V. V. SVESHNIKOV, S. Y. SOSNOVSKIY (OMGUPS)

Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Omsk State Transport University," Marx Ave 35, Omsk, Russia, 644046, phone 8-960-998-50-30, e-mail: [sergey.omgups@gmail.com](mailto:sergey.omgups@gmail.com)

## RELIABILITY EVALUATION INDICATORS PANTOGRAPH SPEED ELECTRIC ROLLING

Stability of current collection on the railways will depend on many factors, including the characteristics of the contact line and pantograph. Interaction of overhead catenary and pantograph is a complex process, especially at high speeds. To ensure continuous quality of current collection and catenary pantograph must have reliability.

In case of failure to ensure trolley stops rolling electric energy. This may lead to temporary economic or financial losses. To avoid this, you must specify the resource collector and its components, as well as the time of the current and capital repairs.

The object of study is the collector designed for use on lines with a modernized infrastructure system of current collection.

Analyzed pantograph developed within the project "Development and The Organization of a new high-tech production of the main collector for use on lines with a modernized infrastructure of current collection system" (contract № 13.G25.31.0034 from "07" September 2010), implemented with the support of the Mini Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

The paper presents a reliability design analysis of pantograph high-speed electric rolling stock. Defined reliability and elements with the smallest time between failures, the reliability function is constructed pantograph.

**Keywords:** reliability, network of contacts, the pantograph, the rejection, the block diagram.

Prof. *G. K. Getman*, D. Sc. (Tech.) recommended this article to be published