

УДК 621.332.33

Игорь Григорьевич Дутов, аспирант кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург,  
Александр Васильевич Ефимов, кандидат технических наук, профессор кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург,  
Денис Александрович Ефимов, старший преподаватель кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

## ДВОЙНОЙ ГИБКИЙ ФИКСАТОР КОНТАКТНОЙ ПОДВЕСКИ

UDC 621.332.33

Igor Grigorievich Dutov, graduate student, Department of Transport Power Supply, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg,  
Alexander Vasiliyevich Efimov, PhD in Engineering, Professor, Department of Transport Power Supply, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg,  
Denis Alexandrovich Efimov, Senior Lecturer, Department of Transport Power Supply, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg

## Double flexible catenary latch

### Аннотация

В статье проанализированы условия функционирования типового сочлененного фиксатора контактной подвески и выявлены его основные недостатки. Предложены новые конструкции устройств для фиксации контактного провода, приведены их параметры, рассмотрены достоинства и недостатки. Дано описание методики экспериментального исследования предлагаемых устройств, изложены его результаты. Выполнено сравнение характеристик предлагаемых конструкций и типового фиксатора. Сделаны выводы о целесообразности применения предлагаемых конструкций, сформулированы пути их совершенствования.

**Ключевые слова:** фиксатор, эластичность, контактный провод, контактная подвеска, нажатие токоприемника, износ струны, гибкий фиксатор, дополнительный стержень, центр тяжести, натяжение.

### Summary

The paper analyzes operating conditions of a typical articulated catenary latch and identifies its main drawbacks. New designs of the device locking the contact wire are proposed, their parameters are given, advantages and disadvantages discussed. The methodology of experimental research of the proposed devices is described, and its results are discussed. Performance of the proposed devices is compared with standard latch. Conclusions are made about the appropriateness of the proposed designs, and ways to improve them are formulated.

**Keywords:** latch, elasticity, contact wire, catenary, pantograph press force, wear, strings, flexible latch, extra rod, center of gravity, tension.

На сегодняшний день опыт Германии, Франции, Японии, Италии и ряда других стран доказывает, что развитие высокоскоростных железнодорожных магистралей является мощным стимулом экономического роста не только отдельных регионов, но и государства в целом.

В России реконструкция действующих линий с целью организации скоростного движения (до 250 км/ч), а также строительство высокоскоростных магистралей (ВСМ), на которых будет осуществляться движение поездов со скоростью до 350 км/ч, предусмотрены Стратегией развития железнодорожного транспорта до 2030 г., принятой правительством Российской Федерации в 2008 г. [1]. Реализация приоритетного пилотного проекта ВСМ Москва — Казань планируется в 2018 г. [2].

В техническом переоснащении железнодорожных линий важную роль играет создание инфраструктуры для высокоскоростного движения, в том числе и системы токосъема, основным элементом которой является контактная сеть. Ключевое направление совершенствования высокоскоростных контактных сетей — разработка равноэластичных и равномассовых подвесок, поскольку при повышении скоростей движения ужесточаются требования к качеству токосъема.

Как известно, наибольшая эластичность контактного провода наблюдается в середине пролета, а наименьшая — в точке фиксации [3, 4]. Увеличивать жесткость подвески в середине пролета нецелесообразно и затруднительно, поэтому рассмотрим один из способов снижения жесткости фиксаторного узла.

Немалое влияние на эластичность контактной подвески в опорной зоне оказывает дополнительный стержень фиксатора КС-109, так как он выполняется из стальных или алюминиевых сплавов и имеет массу от 1,9 до 2,7 кг [5]. Основная его задача — обеспечивать заданное положение контактного провода относительно оси пути.

63

Октябрь – Декабрь

На рис. 1 приведена схема крепления фиксирующего зажима КС-049 к дополнительному фиксатору КС-109.

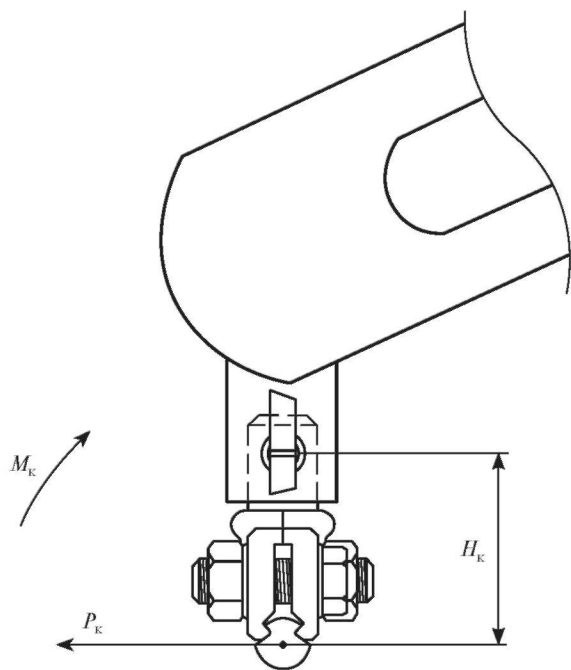


Рис. 1. Схема крепления фиксирующего зажима к дополнительному стержню фиксатора

Усилие  $P_k$ , вызванное зигзагообразным расположением контактного провода относительно оси пути, приложено к центру тяжести контактного провода. Точка крепления фиксирующего зажима КС-049 к дополнительному стержню фиксатора КС-109 находится на высоте  $H_k \approx 45$  мм. Это расстояние, по сути, является плечом приложения силы  $P_k$ . Следовательно, крутящий момент  $M_k$ , который направлен на поворот контактного провода вместе с зажимом КС-049, равен

$$M_k = P_k \cdot H_k, \quad (1)$$

Усилие от зигзагообразного положения провода  $P_k$  на прямом участке пути при одинаковых по абсолютным значениям разносторонних зигзагах  $Z_{\text{кп}}$  и одинаковых длинах смежных пролетов  $L$  определяется из выражения [6]

$$P_k = 4K \cdot Z_{\text{кп}} / L, \quad (2)$$

где  $K$  — натяжение контактного провода, Н.

Таким образом, при натяжении контактного провода  $K = 10$  кН, принятом для скоростных контактных подвесок [7], длине пролета  $L = 60$  м и зигзаге контактного провода  $Z_{\text{кп}} = 0,3$  м усилие  $P_k$  составит 200 Н, а  $M_k = 9$  Н·м. Этим обусловлено требование к высокой жесткости дополнительного стержня фиксатора.

Помимо большой приведенной массы недостатком данной детали является то, что в процессе подъема дополнительного стержня фиксатора под воздействием токоприемника фик-

сирующий зажим вместе с контактным проводом поворачивается на некоторый угол  $\Delta\alpha$  (рис. 2), который при допустимом подъеме фиксатора 250 мм равен примерно  $12^\circ$ .

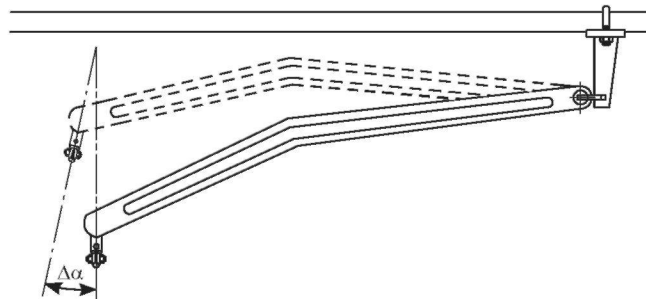


Рис. 2. Изменение положения фиксатора КС-109

Еще одной проблемой, вызванной жесткостью дополнительного стержня фиксатора, является то, что под воздействием большой ветровой нагрузки, направленной в сторону, противоположную действию силы  $P_k$ , на фиксатор начинают действовать сжимающие усилия, и не исключено его «раскрытие».

В настоящее время данная проблема решается установкой на фиксаторе ветровой струны [8].

Однако в этом случае при большой ветровой нагрузке значительно уменьшается эластичность контактной подвески в точке фиксации, что негативно сказывается на качестве токосъема и ведет к увеличению интенсивности износа контактных проводов. Статические исследования, проведенные на одном из участков Южно-Уральской железной дороги с явно выраженной розой ветров, показали, что за 10 лет разница в степени износа контактных проводов под прямыми и обратными фиксаторами составила порядка 20%.

С целью увеличения эластичности фиксаторного узла дополнительный стержень фиксатора, обладающий большой жесткостью и приведенной массой, целесообразно исключить из конструкции. Заменить его можно, например, двумя гибкими струнами, одна из которых выполняет роль фиксирующей, а другая — ветровой. В этом случае для предотвращения поворота фиксирующего зажима вместе с контактным проводом под действием момента  $M_k$  необходимо обеспечить такое соединение струн с фиксирующим зажимом, чтобы линия, на которой лежит вектор силы реакции фиксирующей струны, проходила через центр тяжести контактного провода.

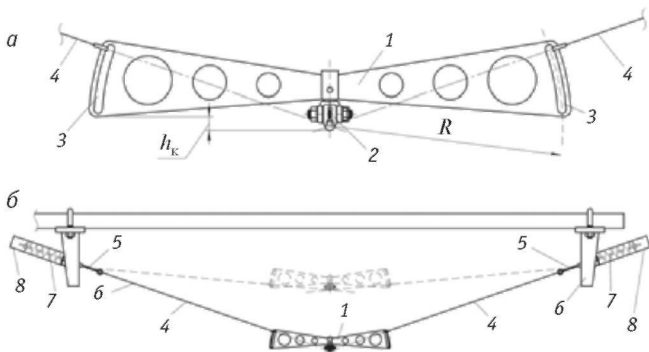
Поскольку нижняя поверхность контактного провода в процессе эксплуатации изнашивается, ординату центра тяжести целесообразно отсчитывать от верхней точки сечения. Ее значения для фасонных контактных проводов, выпускаемых промышленными предприятиями Российской Федерации [9], приведены в табл. 1.

Таблица 1

Ординаты центров тяжести контактных проводов

Номинальное сечение провода, мм <sup>2</sup>	85	100	120	150
$y_c$ , мм	5,64	6,24	6,88	7,82

Зная положение центра тяжести контактного провода в сечении, мы можем определить конструкцию и параметры устройства для крепления гибких струн к фиксирующему зажиму КС-049. Первый вариант конструкции такого устройства был разработан специалистами УрГУПС. Назовем его фиксатором со скользящими струнами. Его схематическое изображение приведено на рис. 3.



**Рис. 3. Фиксатор со скользящими струнами:**

*а* — устройство для крепления струн к фиксирующему зажиму;  
*б* — общая схема установки фиксатора со скользящими струнами

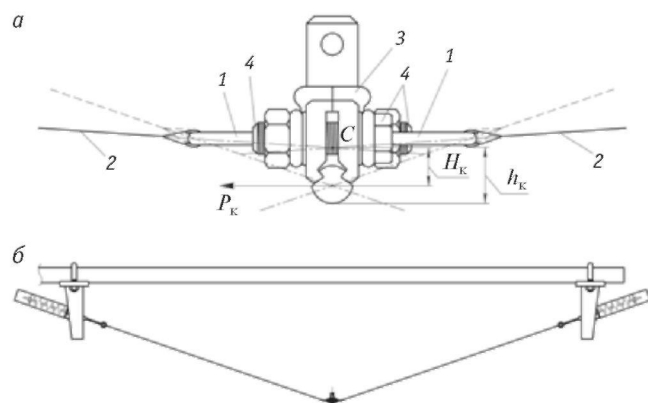
Устройство для крепления гибких струн 1 к фиксирующему зажиму 2 изготавливается из листовой стали, для уменьшения его массы в конструкции выполнены отверстия. С наружной стороны каждого «крыла» сделан паз 3 для крепления гибких струн 4 шириной 6 мм. Наружная сторона и паз имеют форму дуги, центр которой совпадает с центром тяжести контактного провода. Струны, закрепленные в пазах, соединены со штангами 5, пропущенными через отверстия в фиксирующих стойках 6. Для исключения провисания струн при их ослаблении между шайбами, расположенными на конце каждой штанги, и фиксирующими стойками установлены пружины сжатия 7, закрытые защитными кожухами 8. Эти пружины также позволяют повысить эластичность контактной подвески в опорной зоне.

Теоретически такая форма устройства для крепления гибких струн к зажиму КС-049 является оптимальной, поскольку центр тяжести контактного провода лежит на линии, совпадающей с направлением силы реакции струны, при любом изменении высоты контактного провода под фиксатором в допустимых пределах. Однако практика показала, что влияние силы трения в месте крепления струн к «крыльям» изготовленного прототипа достаточно велико, и при подъеме контактного провода одно из «крыльев» может опуститься ниже уровня контактного провода. Для того чтобы этого избежать, целесообразно сократить размеры «крыльев», но в этом случае уменьшится конструктивная высота  $h_k$  от уровня полоза токоприемника до нижней точки «крыла», что в конечном счете не увеличит надежность работы данного узла.

Еще одним возможным путем решения поставленной задачи является максимальное сокращение расстояния между точкой соединения гибкой струны с фиксирующим зажимом и центром тяжести контактного провода. В этом случае вслед-

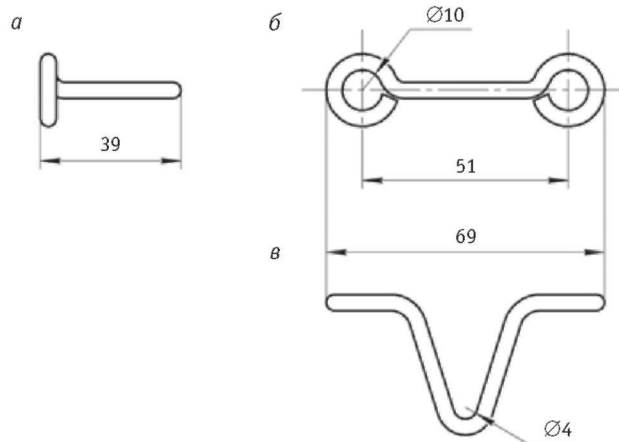
ствие уменьшения плеча прикладываемой силы отклонение контактного провода от вертикали будет не столь значительным. Один из вариантов конструктивного исполнения в виде двойного гибкого фиксатора представлен на рис. 4.

Деталь 1 для крепления струн 2 к фиксирующему зажиму 3 представляет собой петлю, установленную на него при помощи болтов 4. В остальном общая схема установки двойного гибкого фиксатора аналогична схеме фиксатора со скользящими струнами. Прототип детали для крепления струн к фиксирующему зажиму был выполнен из стальной проволоки диаметром 4 мм. Чертеж детали приведен на рис. 5, размеры указаны в мм.



**Рис. 4. Двойной гибкий фиксатор:**

*а* — деталь для крепления струн, установленная на фиксирующем зажиме; *б* — общая схема установки двойного гибкого фиксатора



**Рис. 5. Петля для крепления струн к фиксирующему зажиму:**

*а* — фронтальная проекция; *б* — проекция сбоку; *в* — проекция сверху

На рис. 4а штриховыми линиями показано положение струн, когда подъемная сила токоприемника отсутствует, а фиксирующий зажим находится в низшей точке. Основными линиями показано их положение при максимально допустимом отжатии токоприемником контактного провода под фиксатором. Из рисунка видно, что при нормальном положении линии, совпадающая с направлением силы реакции струны, проходит через центр тяжести контактного провода, следовательно, крутящий

момент  $M_k = 0$ . При максимально допустимом отжатии плечо  $H_k$  приложения силы  $P_k$  в несколько раз меньше, чем для типового фиксатора КС-109. Расчет угла поворота контактного провода в сечении  $\Delta h$  для рассматриваемого случая достаточно сложен, поскольку провод находится в свободно подвешенном состоянии. Поэтому изменение значения  $\Delta h$  при отжатии провода токоприемником было определено экспериментально.

Цель эксперимента состояла в измерении угла наклона контактного провода при подъеме, определении эластичности в подпорной зоне для предлагаемых конструкций фиксаторного узла, сравнении этих характеристик и характеристик типового фиксатора с ветровой струной. Эксперимент проводился для режима без ветровой нагрузки и с ветровой нагрузкой  $P_v = 250$  Н.

Тип контактной подвески ПБСМ-95 + МФ-100, натяжение контактного провода  $K = 10\,000$  Н. В смежных с исследуемым фиксатором пролетах задано беспровесное положение контактного провода. Прототипы фиксатора со скользящими струнами и двойного гибкого фиксатора, характеристики которых были исследованы в ходе эксперимента, приведены соответственно на рис. 6 и 7.

На рис. 8а показана фиксаторная стойка для предлагаемых фиксаторов (без защитного кожуха), на рис. 8б — прототип фиксатора со скользящими струнами в сборе на основном стержне фиксатора.

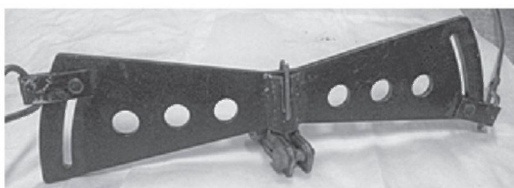


Рис. 6. Фиксатор со скользящими струнами (прототип)



Рис. 7. Фиксатор двойной гибкий (прототип)

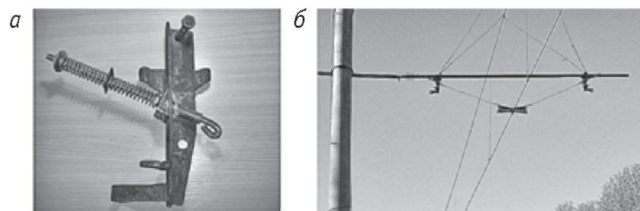


Рис. 8. Опытные образцы новых конструкций:

а — фиксаторная стойка; б — фиксатор со скользящими струнами, установленный на основной стержень

Эксперимент проводился следующим образом. Нажатие токоприемника на контактный провод и воздействие ветровой нагрузки на фиксаторный узел имитировались по схеме, приведенной на рис. 9.

При подъеме контактного провода с шагом 5 мм фиксировались значения подъемной силы и угла наклона контактного провода. Угол наклона измерялся при помощи электронного уровня Ada Pro Digit Micro #A00335 точностью измерений  $0,02^\circ$ .

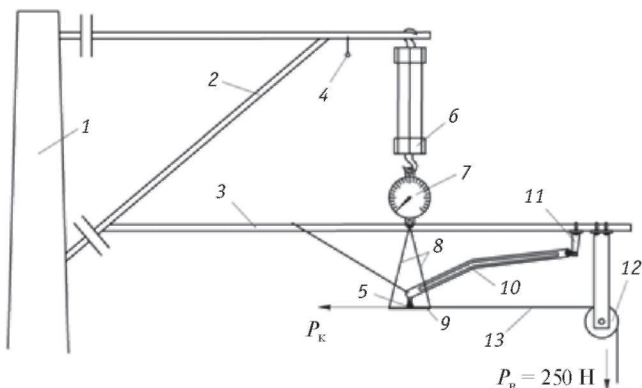


Рис. 9. Схема имитации нажатия токоприемника и ветровой нагрузки:

1 — стойка опоры; 2 — консоль; 3 — основной стержень фиксатора; 4 — несущий трос; 5 — контактный провод; 6 — блоки-полиэластики; 7 — динамометр; 8 — тросики; 9 — металлическая пластина (имитатор полоза); 10 — дополнительный стержень фиксатора КС-109; 11 — стойка; 12 — неподвижный блок; 13 — веревка

На рис. 10–12 приведены полученные в ходе эксперимента диаграммы зависимости силы нажатия токоприемника  $P_{\text{ткп}}$ , угла поворота контактного провода  $\Delta h$  и эластичности контактного провода  $\eta = \Delta H/P$  в точке фиксации от высоты подъема контактного провода. Поскольку фиксатор со скользящими струнами показал низкую эксплуатационную надежность, рассматривать его в дальнейшем не представляется целесообразным, поэтому на графиках показаны результаты только для типового фиксатора с ветровой струной и для двойного гибкого фиксатора.

Аппроксимация выполнена методом наименьших квадратов в Statsoft STATISTICA 6.

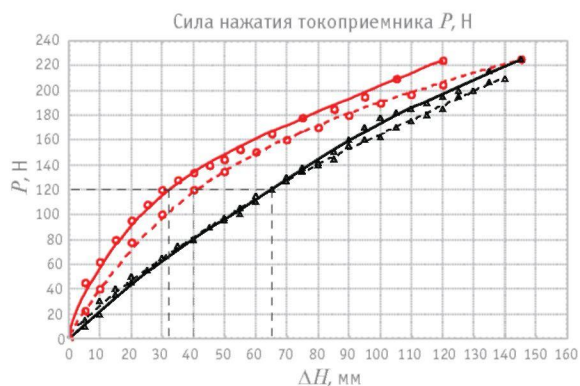
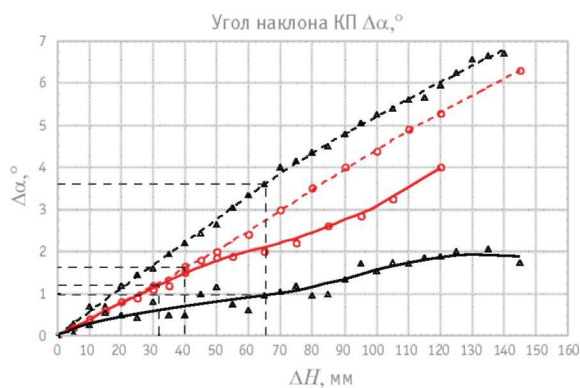


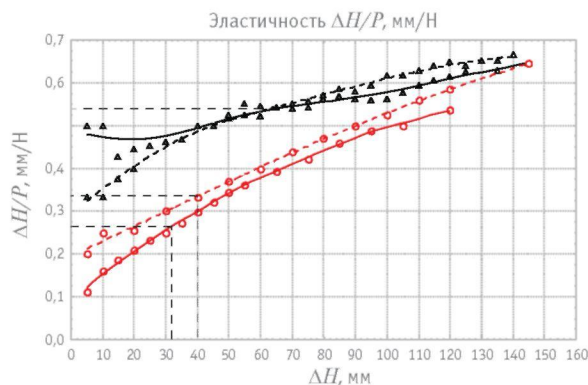
Рис. 10. Диаграмма зависимости силы нажатия токоприемника от высоты подъема контактного провода:

штриховая линия — ветровая нагрузка отсутствует; сплошная линия — при  $P_v = 250$  Н;  $\circ$  — фиксатор типовой КС-109;  $\triangle$  — фиксатор двойной гибкий





**Рис. 11.** Диаграмма зависимости угла наклона контактного провода от высоты его подъема: штриховая линия — ветровая нагрузка отсутствует; сплошная линия — при  $P_v = 250$  Н; —○— фиксатор типовой КС-109; —△— фиксатор двойной гибкий



**Рис. 12.** Диаграмма зависимости эластичности контактной подвески в точке фиксации от высоты подъема контактного провода: штриховая линия — ветровая нагрузка отсутствует; сплошная линия — при  $P_v = 250$  Н; —○— фиксатор типовой КС-109; —△— фиксатор двойной гибкий

Как видно из диаграмм, для силы нажатия токоприемника  $P_{\text{ткп}} = 120$  Н эластичность типового фиксатора при воздействии ветровой нагрузки составляет  $\eta \approx 0,26$  мм/Н, без ветровой нагрузки  $\eta \approx 0,33$  мм/Н, а для предлагаемого двойного гибкого фиксатора при обоих режимах  $\eta \approx 0,54$  мм/Н.

Для двойного гибкого фиксатора допустимый угол отклонения составляет  $22^\circ$ . Поскольку зависимость (см. рис. 11) является практически линейной, такой угол будет наблюдаться при значении  $\Delta H \approx 450$  мм, которое больше нормативного [10] в 1,8 раза. Следовательно, запас прочности по этому показателю имеется.

## ВЫВОДЫ

1. Предлагаемая конструкция двойного гибкого фиксатора позволяет добиться значительного повышения эластичности контактной подвески в опорной зоне и, следовательно, выравнивания ее в пролете без увеличения натяжения проводов. Это говорит о целесообразности применения двойного гибкого фиксатора в качестве фиксирующего узла контактной подвески скоростных железных дорог.

2. При появлении ветровой нагрузки, направленной в сторону зигзага контактного провода, характеристики двойного гибкого фиксатора улучшаются. Для типового фиксатора наблюдается противоположная картина. Следовательно, оправданным является также применение двойного гибкого фиксатора на участках с явно выраженной розой ветров.

3. Угол отклонения контактного провода для двойного гибкого фиксатора в значительной степени зависит от режима работы пружин и от конфигурации детали крепления струн к зажиму КС-049. Точка крепления струн к зажиму должна быть расположена как можно ближе к центру тяжести контактного провода на линии приложения силы реакции струны. Для снижения угла поворота контактного провода нужно уменьшить длину петли до предельного значения, а параметры пружин следует выбирать исходя из климатических условий и особенностей местности для каждого анкерного участка.

4. Защитный кожух для пружин двойного гибкого фиксатора можно выполнить в виде пневматического демпфера для рассеивания энергии колебаний контактной подвески.

## Литература

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года / утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 17.06.08 № 877-р [Электронный ресурс]. URL: [http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE\\_ID=704&layer\\_id=5104&id=3997](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=3997) (дата обращения: 22.11.2014).
2. Мишарин А. У страны есть опыт и компетенции // Саморегулирование и бизнес. 2014. № 4 (48). С. 26–29.
3. Вологин В. А., Беляев И. А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети. М. : Транспорт, 1983. 191 с.
4. Кудряшов Е. В. Совершенствование механических расчетов контактных подвесок на основе статических конечноэлементных моделей : автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб. : ПГУПС, 2010. 16 с.

## References

1. Strategiya razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda / utv. rasporyazheniem Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 17.06.08 № 877-r [Strategy for Developing Rail Transport in the Russian Federation up to 2030 / ratified by Resolution of the Federal Government of 17.06.08 No. 877-r]. [Electronic resource]. URL: [http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE\\_ID=704&layer\\_id=5104&id=3997](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=3997) (date accessed: 22.11.2014).
2. Misharin A. U strany est opyt i kompetentsii [The country has experience and competences] // Samoregulirovanie i biznes. 2014. № 4 (48). S. 26–29.
3. Vologin V. A., Belyaev I. A. Vzaimodeystvie tokopriemnikov i kontaktnoy seti [Interaction of pantographs in contact network]. M. : Transport, 1983. 191 s.
4. Kudryashov E. V. Sovershenstvovanie mekhanicheskikh raschetov kontaktnykh podvesok na osnove staticheskikh konechnoelementnykh modeley : avto-ref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Improving of mechanical analysis of catenary based on static finite element models : abstract of PhD in Engineering Thesis]. SPb. : PGUPS, 2010. 16 s.

5. Контактная сеть и воздушные линии : нормативно-методическая документация по эксплуатации контактной сети и высоковольтным воздушным линиям / Департамент электрификации и электроснабжения МПС РФ. М. : Трансиздат, 2001. 512 с.
  6. Фрайфельд А. В., Брод Г. Н. Проектирование контактной сети. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Транспорт, 1991. 335 с.
  7. Кудряшов Е. В. Разработка контактной сети для высокоскоростного движения на основе методов математического моделирования // Матер. шестого междунар. симп. «Электрификация и развитие инфраструктуры энергообеспечения тяги поездов на железнодорожном транспорте» («Элтранс-2011»). СПб. : ПГУПС, 2013. С. 215–226.
  8. Михеев В. П. Контактные сети и линии электропередачи : учебник для вузов ж.-д. трансп. М. : Маршрут, 2003. 416 с.
  9. ГОСТ 2584-86. Провода контактные из меди и ее сплавов. Технические условия. М. : Изд-во стандартов, 1986. 11 с.
  10. ЦЭ-868. Правила устройства и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог / утв. Департаментом электрификации и электроснабжения МПС Российской Федерации 11.12.01. М. : Трансиздат, 2002. 151 с.
5. Kontaktnaya set i vozdushnye linii : normativno-metodicheskaya dokumentatsiya po ekspluatatsii kontaktnoy seti i vysokovoltnym vozdushnym liniyam [Catenary system and overhead lines : normative and methodological references concerning operation of catenary system and high-voltage overhead lines] / Departament elektrifikatsii i elektrosnabzheniya MPS RF. M. : Transizdat, 2001. 512 s.
  6. Frayfeld A. V., Brod G. N. Proektirovanie kontaktnoy seti. 3-e izd., pererab. i dop. [Catenary design. 3rd ed., revised and enlarged]. M. : Transport, 1991. 335 s.
  7. Kudryashov E. V. Razrabotka kontaktnoy seti dlya vysokoskorostnogo dvizheniya na osnove metodov matematicheskogo modelirovaniya [Development of catenary system for high-speed traffic using mathematical modeling methods] // Mater. shestogo mezhdunar. simp. «Elektrifikatsiya i razvitie infrastruktury energoobespecheniya tyagi poezdov na zheleznodorozhnom transporte» («Eltrans-2011»). SPb. : PGUPS, 2013. S. 215–226.
  8. Mikheev V. P. Kontaktnye seti i linii elektroperedachi : uchebnik dlya vuzov zh.-d. transp. [Catenary systems and power lines : a textbook for railway universities]. M. : Marshrut, 2003. 416 s.
  9. GOST 2584-86. Provoda kontaktnye iz medi i ee splavov. Tekhnicheskie usloviya [Contact wires made of copper and copper alloys. Specifications]. M. : Izd-vo standartov, 1986. 11 s.
  10. TsE-868. Pravila ustroystva i tekhnicheskoy ekspluatatsii kontaktnoy seti elektrifitsirovannykh zheleznikh dorog / utv. Departamentom elektrifikatsii i elektrosnabzheniya MPS Rossiyskoy Federatsii 11.12.01 [Rules for the construction and maintenance of catenary system of electrified railways / approved by Department of Electrification and Power Supply of the Ministry of Railways of the Russian Federation on 11.12.01]. M. : Transizdat, 2002. 151 s.