

STRUCTURAL AND PARAMETRIC DESCRIPTION OF CONTACT LINES SYSTEMS AND THE CONNECTION OF POLES WITH THE RELIABLE OPERATION OF THE CONTACT SUSPENSION

Bayanov I.N. Badretdinov T.N.

Tashkent state transport university (Tashkent, Uzbekistan)

Abstract: When studying the interaction of the current collector and the contact suspension, they are considered as an oscillatory system. The calculation of such a system is very complicated. The application of force to any point of a simple suspension causes waves to appear in the wire, which are reflected from its suspension points in whole or in part. The reverse waves are superimposed on the straight ones, greatly complicating the process. With movable points of suspension of the wire, reflection occurs partially. The contact wire of the chain suspension is suspended on strings, which practically do not limit the upward deviation and somewhat delay the downward deviation. In both cases, vibrations also occur in the carrier cable, which are transmitted through the strings to the contact wire. It is not yet possible to take into account the entire complex process of fluctuations. The difficulties encountered in solving this problem force researchers to make significant simplifications when constructing the initial model. The suspension response to pressing the pantograph consists of two parts — static and dynamic. The dynamic calculation of the interaction between the suspension and the pantograph is very complicated, and, apparently, this is the beginning of the way to solve it.

Key words: interaction, contact suspension, pantograph, span, pressing, aerodynamic component, quality criteria

МЕТОД ВЕРОЯТНОСТИ В ИЗУЧЕНИИ ТОКОСЪЕМА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ КОНТАКТНОГО ПРОВОДА И ТОКОПРИЕМНИКА

Баянов И.Н., Бадретдинов Т.Н.

Ташкентский государственный транспортный университет (Ташкент, Узбекистан)

Аннотация: При исследовании взаимодействия токоприемника и контактной подвески, они рассматриваются как колебательная система. Расчет такой системы весьма сложен. Приложение силы к какой-либо точке простой подвески вызывает возникновение волн в проводе, которые отражаются от точек подвеса его полностью или частично. Обратные волны накладываются на прямые, сильно усложняя процесс. При подвижных точках подвеса провода отражение происходит частично. Контактный провод цепной подвески подвешен на струнах, которые практически не ограничивают отклонение вверх и несколько задерживают отклонение вниз. В обоих случаях, в несущем тросе также возникают колебания, которые через струны передаются контактному проводу. Учесть весь сложный процесс колебаний пока не представляется возможным. Трудности, встречающиеся при решении этой задачи, заставляют исследователей вносить существенные упрощения при построении исходной модели. Реакция подвески на нажатие токоприемника состоит из двух частей — статической и динамической. Динамический расчет взаимодействия подвески и токоприемника весьма сложен, и, видимо, это начало пути его решения.

Ключевые слова: взаимодействие, контактная подвеска, токоприемник, пролет, нажатие, аэродинамическая составляющая, критерии качества

Введение. Контактные подвески являются эластичными конструкциями. Эластичность — это свойство контактных подвесок упруго реагировать (сопротивляться) на воздействие внешних сил, изменяя при этом свою геометрию и положение в пространстве, и возвращаться в исходное

положение, которое они занимали до воздействия внешних сил, после прекращения воздействия. Возвращение подвески в исходное положение представляет собой колебательный процесс, скорость затухания которого зависит от конструктивных особенностей. Взаимодействие токоприемника с контактной подвеской представляет собой очень сложный колебательный процесс. В этом процессе участвуют две колебательные системы с распределенными параметрами – электроподвижной состав и контактная подвеска. Локомотивы и токоприемники представляют собой системы с условно сосредоточенными параметрами. При движении электроподвижного состава точка контакта токоприемника с контактным проводом совершает колебания, которые обусловлены периодическим изменением параметров подвески (например, эластичности в пролете), а также колебанием локомотива из-за неровности пути в плане и профиле. Кроме того, вдоль контактной подвески в обе стороны от точки контакта каждого токоприемника с контактного провода распространяются волны колебаний, влияющие на взаимодействие других токоприемников с контактной подвеской [3]. Поэтому процесс взаимодействия токоприемника с контактной подвеской очень сложен и носит вероятностный характер.

Этот процесс характеризуется главным образом траекторией точки контакта токоприемника с контактным проводом и изменением контактного нажатия относительно оптимального значения. В идеальном случае эта траектория должна представлять собой прямую линию, а контактное нажатие должно быть постоянным и равным оптимальному значению, при котором износ контактного провода и токосъемных пластин токоприемника минимально возможный. В реальных условиях траектория точки контакта криволинейна и контактное нажатие непостоянно [4,5].

Критерием оптимального качества токосъема являются минимальные суммарные приведенные затраты на контактную сеть и токоприемники, позволяющие обеспечить при их взаимодействии заданные режимы работы всех устройств электрической тяги [2,6,7].

Вероятностный подход к изучению токосъема. Если мы зададим величину нажатия пантографа на контактный провод в подвеске с определенными параметрами и скоростью перемещения, то сможем (в пределах точности, которую обеспечивает используемый метод расчета) построить траекторию точки контакта. Результат будет только один, поскольку взаимосвязь между исходными данными и результатом расчета является детерминированной, т.е. существует четкая причинно-следственная связь. Также будет получен один определенный результат, если давление задано некоторой функциональной зависимостью под линией пролета, например, в виде дифференциального уравнения, включающего величины, зависящие от скорости и ускорения точки контакта в вертикальной плоскости.

Многие величины, включенные в расчет, являются случайными. К ним относят статическое нажатие токоприемника, скорость и направление ветра, а, следовательно, аэродинамическую составляющую нажатия. Следовательно, каждое из этих значений, а отсюда, и нажатие самого токосъемника, может быть представлено некоторым законом распределения. По-видимому, здесь найдет применение закон нормального распределения.

Выбирая ту или иную случайную величину статического нажатия (включая аэродинамическую составляющую, которая имеет определенную вероятность) и считая ее постоянной по всей длине пролета, можно для этих условий построить кривые траектории контакта и нажатия на провод. Такие кривые будут иметь ту же вероятность, что и исходное нажатие, поскольку все остальные влияющие факторы будут вводиться как детерминированные величины (т.е. не случайные). При таком подходе мы получим серию кривых с различными вероятностями, соответствующих ряду начальных условий. На эти кривые могут влиять вибрации провода и токоприемника, вызванные, в частности, вибрациями локомотива. Все эти значения также могут быть представлены как случайные. В соответствии с этим будут получены новые кривые, каждая из которых имеет свою собственную вероятность (или, для непрерывных случайных величин, свою плотность вероятности). Такой подход позволит построить график

распределения давления в заданной точке провода и его отклонений от исходного положения.

Таким образом, например, можно при разработке критериев качества и норм принят во внимание те результаты, вероятность выхода за пределы которых очень незначительна.

Такой подход, конечно, был бы более правильным, чем при расчете для определенных значений. Однако это не исчерпывает вопроса, т.е. является очень условным. Дело в том, что в приведенных выше рассуждениях хотя и учитывалось случайное значение нажатия (статическое), но одинаковое для всего пролета. На самом деле рассматриваемые исходные случайные величины непрерывно изменяются, т.е. пока локомотив движется по пролету, они принимают разные значения. Случайная природа явления проявляется здесь в форме процесса. Сам ход изменения начального, а, следовательно, и конечного значения с точки зрения времени перемещения токоприемника в пролете является случайным. Важно, чтобы качество контакта зависело не только от значений начальных величин в данный момент времени, но и от их значений в предыдущие моменты, поскольку они уже создали определенную ситуацию (подъем провода, его скорость, ускорение и т.д.). Сама связь исходных значений в предыдущие моменты времени с этими значениями на данный момент также случайна, т.е. каждый раз их соотношение может быть разным.

Если рассматривать траекторию токоприемника или кривую нажатия как: некоторую функцию пути или времени, то получим, как это называют в теории вероятностей, случайную функцию, т. е. функцию, в каждом случае прохода токоприемника получающую определенный вид, но какой именно заранее предсказать нельзя. Каждая такая конкретная функция, полученная в результате опыта, называется реализацией случайной функции. Следовательно, каждая запись траектории полоза токоприемника или кривой нажатия есть-конкретная, уже не случайная функция, т. е. является реализацией случайной функции (именно это и записывается при проведении испытаний).

В качестве примера приводятся графики перемещения точки контакта токоприемника и контактного провода (точечный график) и изменение величины контактного нажатия $P(t)$ (сплошной график) при скорости движения поезда 160 км/ч (рис.1), 180 км/ч (рис.2), 200 км/ч (рис.3) и 220 км/ч (рис.4) на анкерном участке с натяжением несущего троса $T=18$ кН, полученные при проведении эксперимента доктора философии (PhD) по техническим наукам И.Н. Баяновым [1]. Эксперименты велись на скоростном электропоезде Talgo 250 (Afrosiyob) с токоприемником DSA 250E и длине пролета 60 м. На анкерном участке смонтирована компенсированная подвеска. ПБСМ-95+БрФ-120. Натяжение несущего троса 18 кН, контактного провода 20 кН, длина рессорных тросов 18 м, стрела провеса контактного провода 0,3 м. На рис. 5-8 те же графики при натяжении несущего троса 15 кН.

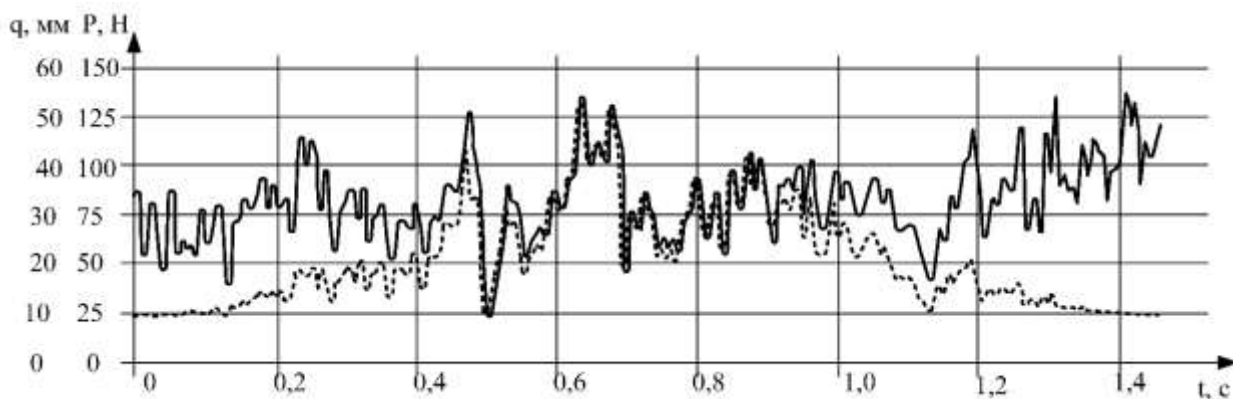


Рис.1. График перемещения точки контакта токоприемником и контактного провода $q(t)$ (точечный график) и изменение величины контактного нажатия $P(t)$ (сплошной график) при скорости перемещения $V = 160$ км/ч на анкерном участке с натяжением несущего троса $T = 18$ кН

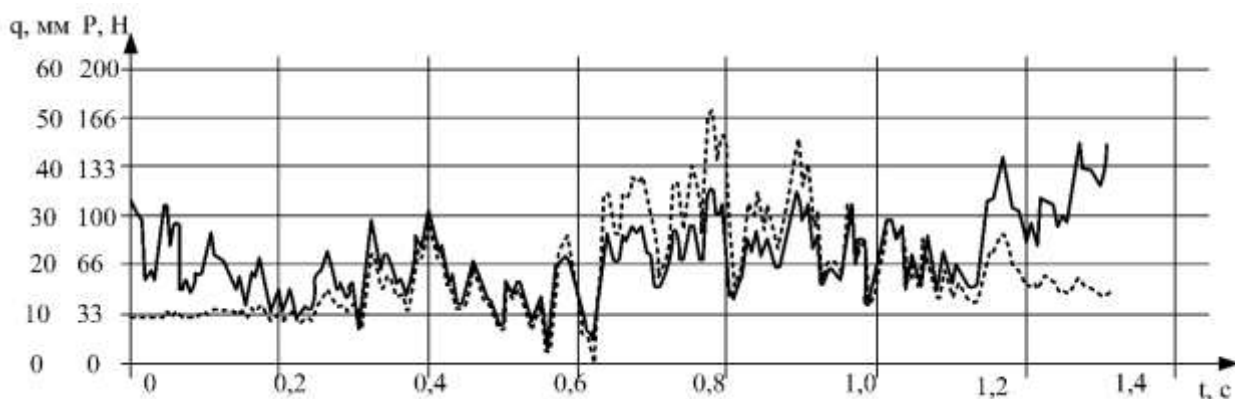


Рис.2. График перемещения точки контакта токоприемником и контактного провода $q(t)$ (точечный график) и изменение величины контактного нажатия $P(t)$ (сплошной график) при скорости перемещения $V = 180$ км/ч на анкерном участке с натяжением несущего троса $T = 18$ кН

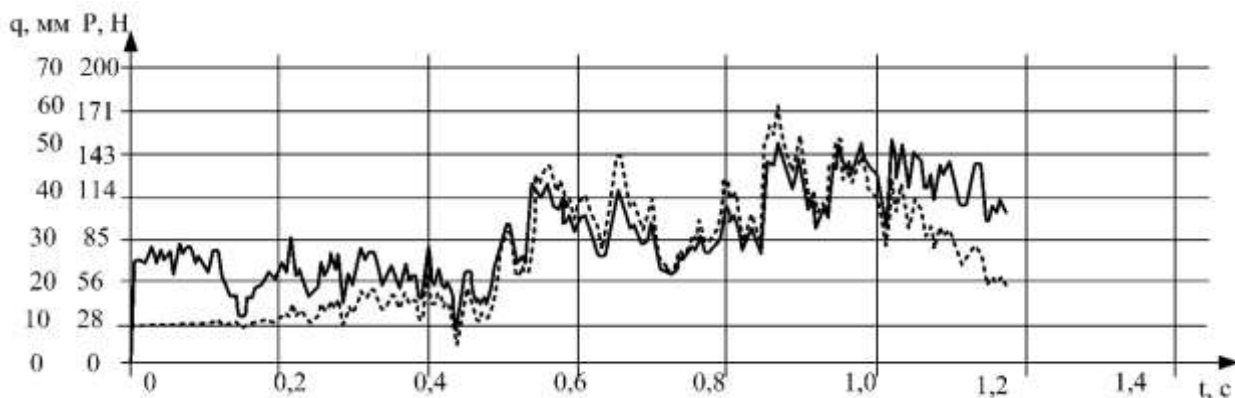


Рис.3. График перемещения точки контакта между токоприемником и контактного провода $q(t)$ (точечный график) и изменение величины контактного нажатия $P(t)$ (сплошной график) при скорости перемещения $V = 200$ км/ч на анкерном участке с натяжением несущего троса $T = 18$ кН

Кривые отличаются друг от друга, хотя сняты на одном и том же пролете и для одного и того же токоприемника, т.е. являются отдельными реализациями случайного процесса. Если наложить несколько таких траекторий друг на друга и таким же образом кривые нажатий, а затем в каждом из этих случаев взять среднее, то влияние случайных отклонений должно отпасть и получим типовые графики траектории полоза токоприемника и нажатий на контактный провод. Видимо, развитие представлений о процессе токосъема приведет к его оценке на основе вероятностных характеристик.

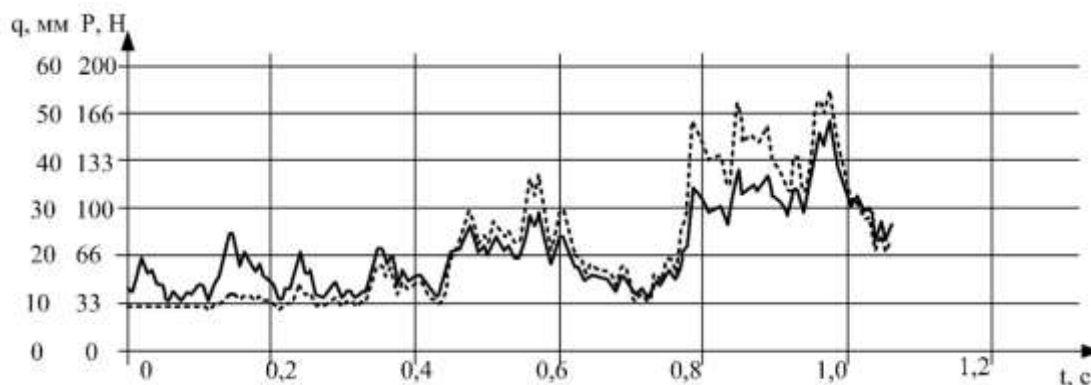


Рис.4. График перемещения точки контакта между токоприемником и контактного провода $q(t)$ (точечный график) и изменение величины контактного нажатия $P(t)$ (сплошной график) при скорости перемещения $V = 220$ км/ч на анкерном участке с натяжением несущего троса $T = 18$ кН

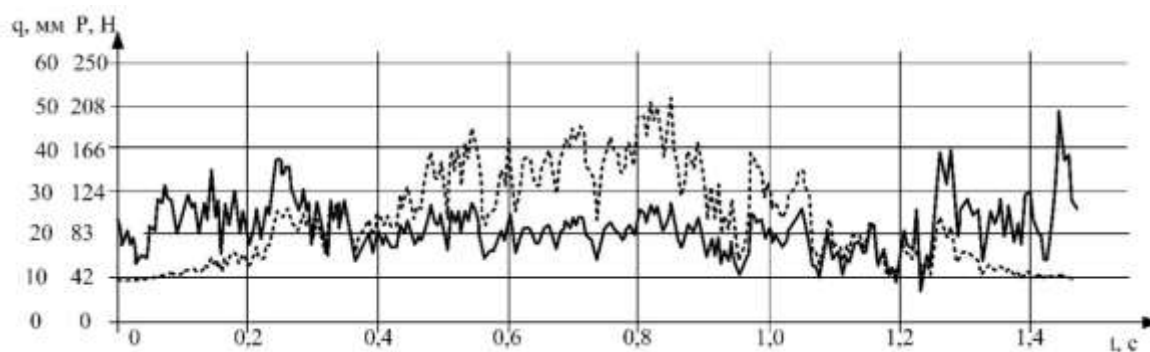


Рис.5. График перемещения точки контакта токоприемником и контактного провода $q(t)$ (точечный график) и изменение величины контактного нажатия $P(t)$ (сплошной график) при скорости перемещения $V = 160$ км/ч на анкерном участке с натяжением несущего троса $T = 15$ кН

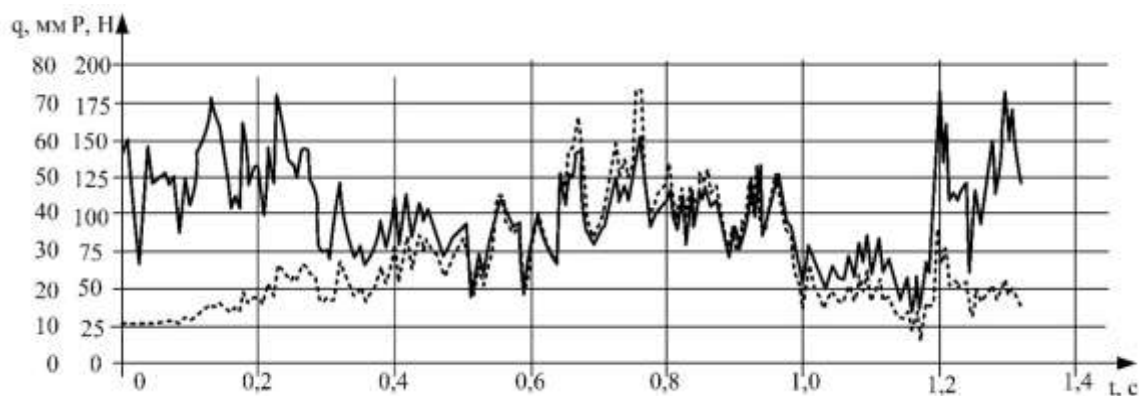


Рис.6. График перемещения точки контакта между токоприемником и контактного провода $q(t)$ (точечный график) и изменение величины контактного нажатия $P(t)$ (сплошной график) при скорости перемещения $V = 180$ км/ч на анкерном участке с натяжением несущего троса $T = 15$ кН

Основными критериями качества токосъема, определяющими надежность работы контактной сети, должны быть нажатие и отклонение провода. По износу провода в точке задача, видимо, сведется к определению некоторого постоянного (эквивалентного по износу) нажатия и некоторого эквивалентного тока, снимаемого в этой точке. Для обеспечения необходимого контакта важно знать вероятность нажатия ниже заданного предела и, в частности, нажатия,

равного нулю. Что касается отклонения провода от начального положения, то здесь необходимо знать вероятность превышения наибольшего допустимого по условиям надежности работы контактной сети и токоприемника отклонения провода.

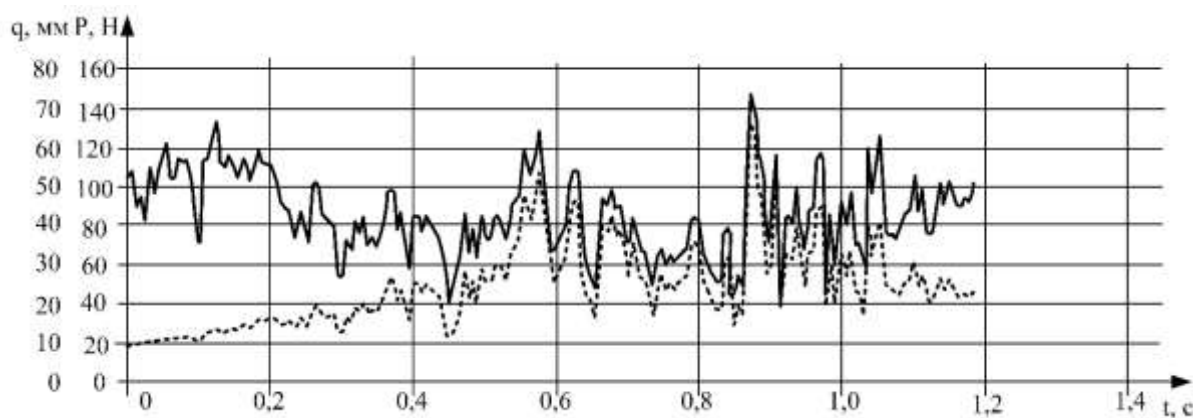


Рис.7. График перемещения точки контакта токоприемником и контактного провода $q(t)$ (точечный график) и изменение величины контактного нажатия $P(t)$ (сплошной график) при скорости перемещения $V = 200$ км/ч на анкерном участке с натяжением несущего троса $T = 15$ кН

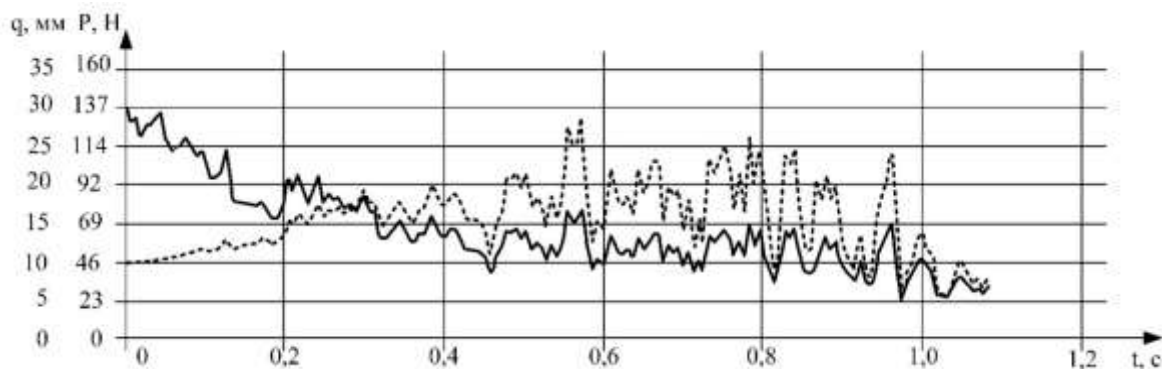


Рис.8. График перемещения точки контакта между токоприемником и контактного провода $q(t)$ (точечный график) и изменение величины контактного нажатия $P(t)$ (сплошной график) при скорости перемещения $V = 220$ км/ч на анкерном участке с натяжением несущего троса $T = 15$ кН

Заключение.

Одновременный контроль вертикального перемещения полоза и верхних шарниров подвижных рам важен для токоприемников, имеющих каретки с малой жесткостью и увеличенным свободным ходом, когда в верхнем узле могут возникать сложные колебания со значительным сдвигом по фазе. Такие явления неоднократно имели место при линейных испытаниях. К сожалению, пока не найдены совершенные пути для количественной связи имеющихся показателей с критерием качества токосъема.

Вместе с тем эффективность стабилизации нажатия около уровня, обеспечивающего минимальный износ контактных элементов токоприемников, можно оценить по результатам продолжительных эксплуатационных испытаний токоприемников с различными статическими характеристиками. Некоторую связь можно проследить между снижением инерционной составляющей контактного нажатия и результатами продолжительных испытаний на износ токоприемников. Значительное снижение интенсивности изнашивания контактных пластин наблюдается при увеличении стрел провеса несущего троса при эксплуатации нерегулируемых токоприемников, а реализация на практике нового решения (авторегулируемых

токоприемников с гидравлическими амортизаторами) позволила успешно снять проблему токосъема для высокоскоростного подвижного состава.

Таким образом, минимизация инерционной составляющей нажатия прямым образом связана с экономическим показателем — уменьшением интенсивности изнашивания контактных пластин и провода, а также с показателем, характеризующим надежность взаимодействующих систем, поскольку снижаются максимальные значения нажатия.

С учетом высказанных положений в статье представлены теоретически полученные зависимости показателем качества токосъема для скоростей от 160 до 220 км/ч с упомянутой выше подвеской при оптимальных ее параметрах и номинальных натяжениях проводов и пролетах длиной 65 м.

Из приведенных графиков следует, что при реализации максимальной скорости 220 км/ч оптимальное расстояние составляет 60 м. Таким образом, теоретически и экспериментально получен одинаковый и важный для практики вывод, а это позволило с достаточной уверенностью использовать новую методику расчета для исследования других вопросов, связанных с динамикой токосъема.

Необходима также учитывать, что возникающие в контактной подвеске автоколебания могут существенно ухудшить качество токосъема, а в отдельных случаях сделать его вообще невозможным. Вместе с тем подъем на ЭПС резервных токоприемников позволяет повысить диссипацию энергии в системе токоприемник – контактная подвеска и тем самым уменьшить амплитуды колебаний системы и целом. Наилучшие условия в подобных случаях достигаются, если не допускаются значительные амплитуды колебаний подвески до подхода к опасному участку эксплуатируемого ЭПС.

References

1. Amirov S.F. Investigation of the interaction of a current collector and a contact lines during high-speed movement of an electric rolling stock / S.F. Amirov, I.N. Bayanov. – Tashkent: Shafolat Nur Fayz, 2022 – 224p.
2. Amirov S.F., Badretdinov T.N., Bayanov I.N. “Analysis of damage to current collectors of electric rolling stock and modernization of control systems for misalignment of catenary poles” Modern technologies. System analysis. Modeling, №. 2 (70), 2021. pp. 138-145.
3. Badretdinov T.N. Problems of operation of electrified railways on the example of Uzbekistan // Universum: technical sciences. 2020. № 9-2 (78). pp. 103-105.
4. Bayanov, I., Badretdinov, T., Saydivaliev, S., Saliyev, E., & Muminov, S. Influence of misalignment of poles on arcing during current collection // Safety in Aviation and Space Technologies. – Springer, Cham, 2022. – pp. 181-190.
5. Bayanov I, Badretdinov T., Muminov S., Karimov I., Saydivaliev S, and Saliyev E. "The electric field of the sliding contact during the interaction of the pantograph and the contact wire." // In E3S Web of Conferences, vol. 264, p. 04029. EDP Sciences, 2021. doi:10.1051/e3sconf/202126404029
6. Cheng, Hongbo, et al. "A preventive, opportunistic maintenance strategy for the catenary system of high-speed railways based on reliability." Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit 234.10 (2020): pp.1149-1155.
7. Xue, L. I., W. U. Junyong, and Y. A. N. G. Yuan. "Research on optimization of catenary system maintenance schedule for high-speed railways." Journal of The China Railway Society 32.2 (2010): pp.24-30.

Литература

1. Амиров С.Ф. Исследование взаимодействия токоприемника и контактной сети при высокоскоростном движении электроподвижного состава / С.Ф. Амиров, И.Н. Баянов. – Ташкент: Shafolat Nur Fayz, 2022 – 224с.

2. Амиров С.Ф., Бадретдинов Т.Н., Баянов И.Н. "Анализ повреждений токоприемников электроподвижного состава и модернизации систем контроля разрегулировки опор контактной сети" Современные технологии. Системный анализ. Моделирование, №. 2 (70), 2021, С. 138-145.
3. Бадретдинов Т.Н. Проблемы эксплуатации электрифицированных железных дорог на примере Узбекистана // Universum: технические науки. 2020. № 9-2 (78). с. 103-105.
4. Bayanov, I., Badretdinov, T., Saydivaliev, S., Saliyev, E., & Muminov, S. Influence of misalignment of poles on arcing during current collection // Safety in Aviation and Space Technologies. – Springer, Cham, 2022. – pp. 181-190.
5. Bayanov I, Badretdinov T., Muminov S., Karimov I., Saydivaliev S, and Saliyev E. "The electric field of the sliding contact during the interaction of the pantograph and the contact wire." // In E3S Web of Conferences, vol. 264, p. 04029. EDP Sciences, 2021. doi:10.1051/e3sconf/202126404029
6. Cheng, Hongbo, et al. "A preventive, opportunistic maintenance strategy for the catenary system of high-speed railways based on reliability." Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit 234.10 (2020): pp.1149-1155.
7. Xue, L. I., W. U. Junyong, and Y. A. N. G. Yuan. "Research on optimization of catenary system maintenance schedule for high-speed railways." Journal of The China Railway Society 32.2 (2010): pp.24-30.

Сведения об авторах / Information about the authors

Баянов Ильдар Назипович – PhD, доцент кафедры «Электроснабжения», Ташкентского государственного транспортного университета e-mail: ildar-lili@yandex.ru

Бадретдинов Тимур Наильевич – PhD, и.о. доцента кафедры «Электроснабжения», Ташкентского государственного транспортного университета e-mail: tim_bad2107@mail.ru

Bayanov Ildar Nazipovich – PhD, Associate Professor of the Department of "Power Supply", Tashkent State Transport University e-mail: ildar-lili@yandex.ru

Badretdinov Timur Nailevich – PhD, acting associate professor of the Department of "Power Supply", Tashkent State Transport University e-mail: tim_bad2107@mail.ru