

А. С. Чиркова<sup>1</sup>, В.П. Ступицкий<sup>1</sup>, В.А. Тихомиров<sup>1</sup>, Т.Т. Улыбин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Иркутский информационно – вычислительный центр – структурное подразделение главного вычислительно-го центра – филиала ОАО «РЖД», г. Иркутск, Российская Федерация

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИИ ВЕТРОВЫХ ОТКЛОНЕНИЙ ПРОВОДОВ КОНТАКТНОЙ СЕТИ

**Аннотация.** Основной целью данной работы является совершенствование аэродинамических показателей проводов контактной сети с учетом различных факторов, действующих в эксплуатации. Разработана модель расчёта силового воздействия ветра на контактных провод и несущий трос, реальной геометрии проводов и физических свойств воздуха, зависящих от условий окружающей среды. Разработано решение проблемы, связанной с ветровым воздействием на провода контактной сети.

Рассматриваемая в данной работе модель создана в программе моделирования мультифизических процессов Comsol Multiphysics 5.2 а. Все физические процессы в программе описываются дифференциальными уравнениями в частных производных. Далее задачи решались методом конечных элементов.

Проведенные исследования показали, что за счет данной конструкции отклонение контактного провода уменьшается значительно, по сравнению с отклонением контактного провода без данной системы. Также можно утверждать, что при любом ветре, конструкция на время воздействия ветра примет свое конечное положение, в котором она перестанет двигаться, то есть примет другое положение состояния равновесия.

**Ключевые слова:** аэродинамическая компенсация, ветровые воздействия, расчетная модель, влияние ветра на контактный провод и несущий трос, система гашения ветровых воздействий.

A. S. Chirkova<sup>1</sup>, V. P. Stupitsky<sup>1</sup>, V. A. Tikhomirov<sup>1</sup>, T. T. Ulybin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

<sup>2</sup> Irkutsk information and Computing Center – a structural subdivision of the main computing center – a branch of Russian Railways, Irkutsk, the Russian Federation

## DEVELOPMENT OF METHODS AND TECHNICAL MEANS OF AERODYNAMIC COMPENSATION OF WIND DEVIATIONS OF CONTACT NETWORK WIRES

**Abstract.** The main purpose of this work is to improve the aerodynamic performance of the wires of the clock network taking into account various factors operating in operation. A model has been developed for calculating the sea effect of wind on the contact wire and the load-bearing cable, the real geometry of wires and the physical properties of air, depending on environmental conditions. A solution has been developed to the problem of direct impact on the wires of the contact network.

The model discussed in this work was created in the modeling program of multiphysical processes Comsol Multiphysics 5.2 a. All physical processes in the program are described by partial differential equations. Further, the problems were solved by the method of final elements.

Studies have shown that due to this design, the deviation of the contact wire is significantly reduced compared to the deviation of the contact wire without this system. It can also be argued that with any wind, the structure will take its final position at the time of the wind, in which it will stop moving, that is, it will take a different position of the equilibrium state.

**Keywords:** aerodynamic compensation, wind impacts, design model, wind impact on contact pro-water and bearing track, wind impact quenching system.

### Введение

Контактные подвески скоростного движения характеризуются повышенными динамическими нагрузками от воздействия токоприемников. Кроме-того в условиях континентального климата России возникают дополнительные нагрузки на устройства компенсации натяжения проводов и тросов, так и опорно-поддерживающие сооружения, из-за значительных продольных перемещений проводов. Значительные ветровые нагрузки на открытых пространствах вызывают появление автоколебаний и вибрации проводов. [1]

Нормальное взаимодействие токоприемника с контактным проводом при ветре может быть нарушено вследствие больших горизонтальных отклонений контактного провода от оси полоза токоприемника, длительных устойчивых вертикальных колебаний проводов цепных подвесок в пролетах, больших отжатых контактных проводов токоприемниками у фиксаторов. При сильном ветре может произойти обрыв или вследствие касания заземленных конструкций пережог питающих и других проводов. [3]

При высокоскоростном движении значительными становятся аэродинамические силы, воздействующие, в том числе, на контактную сеть. Кроме того, совершенствование способов расчёта аэродинамических сил, воздействующих на провода, требуется для борьбы с вибрацией и галопированием контактных подвесок, наблюдаемых в некоторых районах страны.

Совершенствование существующих методик аэродинамических расчётов проводов контактной сети необходимо для организации технического обслуживания контактной сети по состоянию. Для этого нужно создавать методы прогнозирования срока службы её элементов, в которых требуется учитывать, в том числе, аэродинамические воздействия на провода на разных этапах жизненного цикла.

### **Разработка модели в программном комплексе и определение воздействия ветра на провод**

Основные существующие методы и системы гашения колебаний проводов контактной сети и ВЛ делятся на два основных:

1. Механические методы;
2. Аэродинамические методы.

Рассмотрим данные методы более подробно.

К механическим методам относятся:

- создание лесных защитных полос вдоль электрифицированных линий;
- ремонт контактной подвески в ромбовидную [2];
- замена контактного провода МФ на МФО.

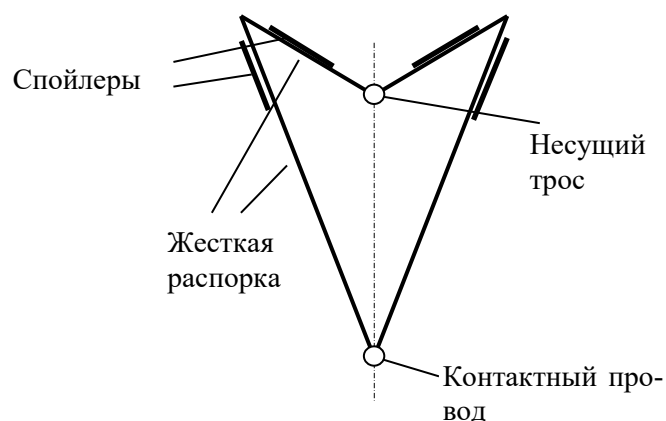
А к аэродинамическим методам относятся:

- установка аэродинамических стабилизаторов;
- установка виброгасителей.

Данные методы не являются полностью эффективными, поэтому была разработана система аэродинамической компенсации и проведены исследования в программном комплексе.

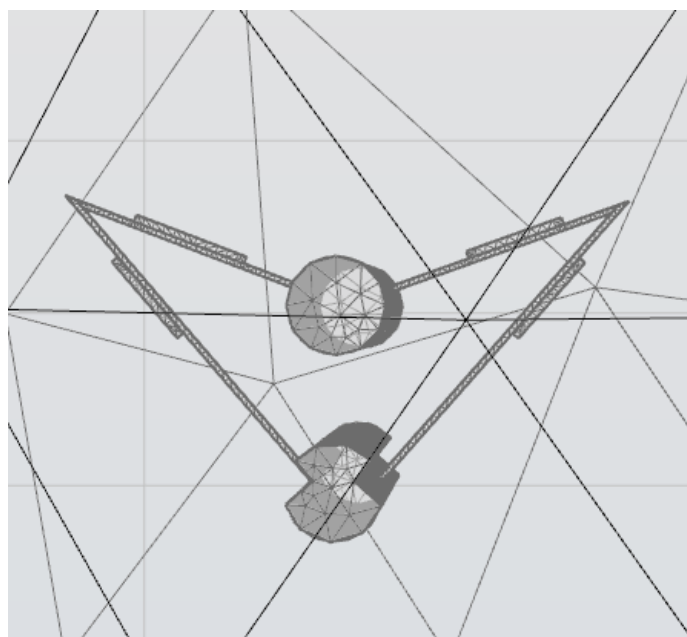
Основные этапы построения модели в программном комплексе Comsol Multiphysics[4]:

1. выбор режима моделирования, т.е. нужного физического процесса с соответствующим ему дифференциальным уравнением;
2. построение геометрии;
3. задание свойств и параметров расчётной области (построенной геометрии), а также необходимых функций, констант и различных зависимостей;
4. выбор или задание граничных условий;
5. построение расчетной сетки;
6. задание параметров решателя;
7. расчет, обработка и визуализация полученных результатов.



**Рис. 1 Модель аэродинамической компенсации**

Докажем это с помощью математической модели. Построим приблизительное отклонение конструкции при воздействии ветра. Вся остальная конструкция будет испытывать изгибающий момент, возникающий за счёт разных коэффициентов лобового сопротивления. При этом возьмём идеальный случай, когда ветер совпадает по направлению с осью ординат.



**Рис. 2. Расчетная модель аэродинамической компенсации в программном комплексе**

В ходе работы были проведены, следующие расчеты, при разных условиях:

1. распорки и спойлеры из титана;
2. распорки и спойлеры из алюминия;
3. угол между распорками  $30^\circ$ , длина боковой распорки 0,95 м.;
4. угол между распорками  $30^\circ$ , длина боковой распорки 1,2 м.;
5. угол между распорками  $45^\circ$ , длина боковой распорки 1,2 м.;
6. угол между распорками  $45^\circ$ , длина боковой распорки 0,95 м.;
7. разная скорость ветра;
8. разная площадь спойлеров;
9. распределение ветра при контактных проводах МФ-120 и МФО-120;

10. разное сечение распорок;
11. система с двумя распорками.

Далее на рисунках 3,4 показаны результаты расчета для первого условия, когда распорки и спойлеры из титана.

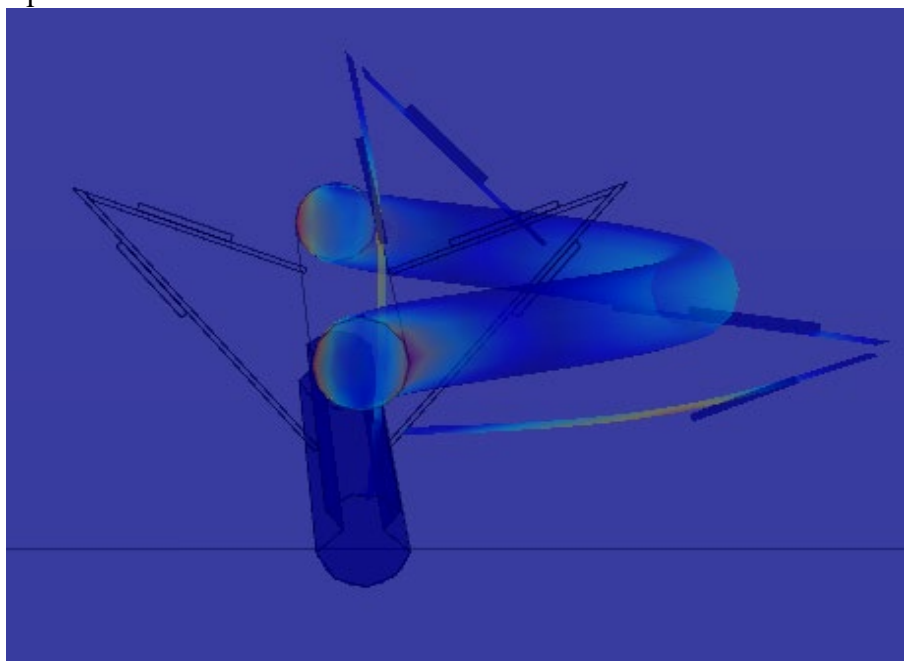


Рис. 3. Отклонение системы про воздействие ветра 30 м/с

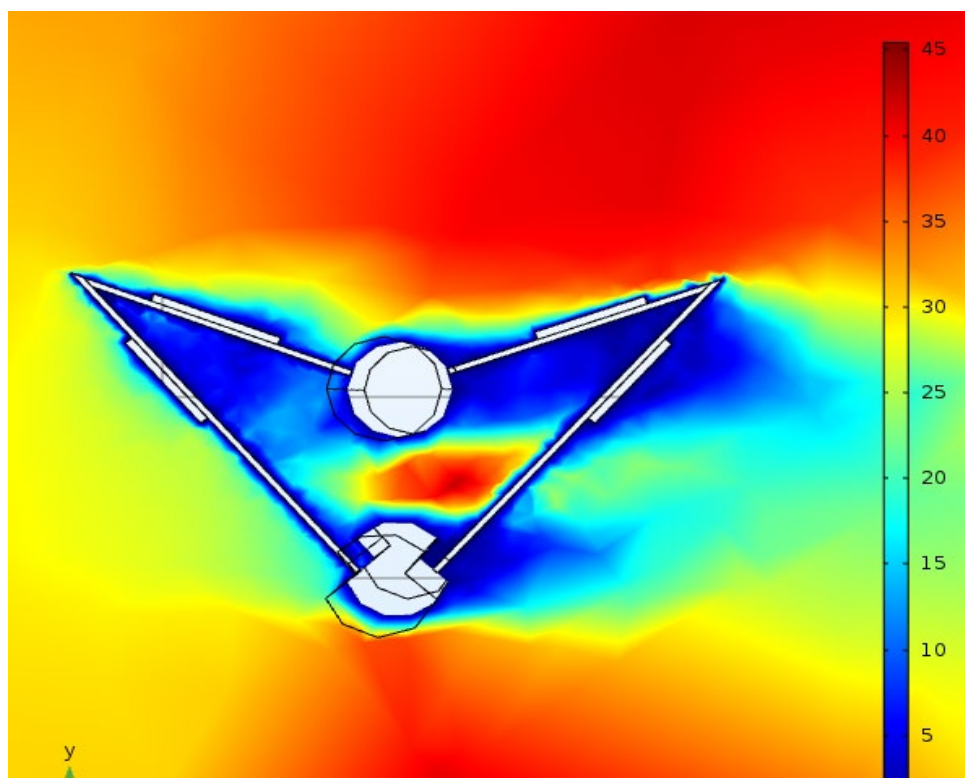


Рис. 4. Поле скорости ветра  $u=u(x,y)$

### Заключение

Результаты исследований приведены в таблице 1

Табл.1 – Результаты исследований

№ иссл.	L пр, м	V, м/с	S <sub>сп</sub> , м	L°	а <sub>расп.</sub>	материал	Отклонения, %		
							к.п.	н.т.	спойл.
1	40	30	51	30	Квадрат	Титан	10	520	50
2	40	30	51	30	Квадрат	Алюминий	10	520	60
3	20	30	51	30	Квадрат	Титан	15	550	50
4	40	30	51	30	Квадрат	Титан	10	500	50
5	20	30	51	45	Квадрат	Титан	12	510	50
6	40	30	51	45	Квадрат	Титан	15	540	50
7	20	10	51	30	Квадрат	Титан	2	200	15
		20	51	30	Квадрат	Титан	5	350	30
8	20	30	94	30	Квадрат	Титан	8	450	40
9	40	30	51	30	Квадрат	Титан	5	400	50
10	40	30	51	30	Круг	Титан	4	420	45
11	60	30	51	30	Круг	Титан	8	450	40

Из таблицы видно на сколько отклонялся контактный провод относительно своего диаметра в %, также как и несущий трос и система компенсации.

Следовательно, в ветровых районах целесообразно использовать контактных провод марки МФО, т.к. данный провод допускает на 10% больший длительный ток, чем фасонный провод той же площади сечения, благодаря лучшим условиям охлаждения из-за увеличенного периметра профиля; он обладает также меньшим аэродинамическим сопротивлением боковому ветру, что позволяет при его применении допускать большие длины пролетов исходя из условий необходимой ветроустойчивости контактной сети. Также материал распорок и спойлеров лучше брать титан, т.к. система будет более жесткой и менее подвержена деформации из-за ветра.

Рекомендовано, использовать такую систему, у которой распорки и спойлеры состоят из титана, угол между распорками 30 °С, площадь спойлеров лучше выбирать больше минимальной, а также сечение распорок окружностью для более эффективной работы системы и аэродинамической компенсации ветровых отклонений. А систему из двух распорок рекомендовано использовать на участках, где длина пролета от 40 м до 70м, для более эффективной работы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Насретдинов Р.Ф. Повышение качества токосъема скоростного движения подвижного состава. 2015. С. 6.
2. Федотова А.А. устройство и техническое обслуживание контактной сети. 2014. С. 233.
3. Горошков Ю.И., Бондарев Н.А. Контактная сеть. 1990 С. 137.
4. Введение в Comsol Multiphysics. 1998-2018. С. 3-49.

## REFERENCES

1. R. R. F. Improving the quality of the speed of the speed movement of moving composition. 2015. P. 6.
2. Fedotova A.A. Device and maintenance of the contact network. Pp. 233.
3. Goroshkov Yu.I., Bondarev N.A. Contact Network. 1990 p. 137.
4. Introduction to COMSOL MULTIPHYSICS. 1998-2018. P. 3-49.

## Информация об авторах

*Чиркова Алена Сергеевна* – студент, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [alena.chirkova.2016@inbox.ru](mailto:alena.chirkova.2016@inbox.ru)

*Ступицкий Валерий Петрович* – к. т. н., доцент кафедры «Электроэнергетика транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [dokasvp@mail.ru](mailto:dokasvp@mail.ru)

*Тихомиров Владимир Александрович* – доцент, заведующий кафедрой «Электроэнергетика транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [tihomirov\\_va@irgups.ru](mailto:tihomirov_va@irgups.ru)

*Улюбин Тимофей Тимофеевич* – исполняющий обязанности ведущего инженера, Иркутский информационно – вычислительный центр – структурное подразделение главного вычислительного центра – филиала ОАО «РЖД», г. Иркутск, e-mail: [ooo\\_bignet@mail.ru](mailto:ooo_bignet@mail.ru)

## Authors

*Chirkova Alena Sergeevna* - Student, Irkutsk State University of Communications, Irkutsk, E-Mail: [Alena.chirkova.2016@inbox.ru](mailto:Alena.chirkova.2016@inbox.ru)

*Stupitsky Valery Petrovich* k. T. N., Associate Professor of the Department of Electric Power Industry, Irkutsk State University of Communications, Irkutsk, E-Mail: [dokasvp@mail.ru](mailto:dokasvp@mail.ru)

*Tikhomirov Vladimir Aleksandrovich* - Associate Professor, Head of the Department of Electric Power Industry, Irkutsk State University of Communications, Irkutsk, E-Mail: [tihomirov\\_va@irgups.ru](mailto:tihomirov_va@irgups.ru)

*Ulubin Timofey Timofeevich* - Acting Lead Engineer, Irkutsk Information - Computing Center - Structural Division of the Chief Computing Center - Branch of JSC "Russian Railways, Irkutsk, E-mail: [ooo\\_bignet@mail.ru](mailto:ooo_bignet@mail.ru)