

О. И. Поддаева, П. С. Чурин, А. Н. Федосова, Ю. С. Грибач, А. А. Локтев, Л. А. Илларионова

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОБЪЕКТЫ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Аннотация. Развитие транспортной инфраструктуры происходит по нескольким направлениям. Одним из основных является совершенствование внеуличного транспорта, что связано с высотой плотности организации пространства современного города. Перспективным является проектирование строительства канатных дорог, эксплуатация которых связана с необходимостью решения ряда научных задач. Одной из ключевых задач является обеспечение безопасности и комфорта пассажиров, а также устойчивости и надежности конструкций. Специфика такого транспорта базируется на свободных и вынужденных колебаниях, одной из причин которых является ветровое воздействие, носящее во многом случае случайный характер. Для учета этого фактора предлагается использовать аппарат статического анализа.

Ключевые слова: аэродинамика, аэродинамическая труба, ветровое воздействие, случайные процессы, обработка результатов эксперимента, перспективный транспорт.

Для цитирования: Экспериментальные исследования ветрового воздействия на объекты транспортной инфраструктуры / О. И. Поддаева, П. С. Чурин, А. Н. Федосова [и др.] // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 4. – С. 138–145. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_4_138.

Введение

Строительство новых и реконструкцию существующих транспортных систем современных городов связано, с одной стороны, с увеличением площади дорог и магистрали, а с другой – с политикой сохранения естественного ландшафта, объектов культурного наследия, а также существующих зданий и сооружений. Таким условиям наиболее соответствуют канатные дороги, для которых необходимы выделения участков под строительство терминов и промежуточных опор, а трассировка между этими элементами проходит на значительной высоте и не мешает существующему укладу.

Основная часть

В 2015 году Россия и Китай подписали соглашение о строительстве первой в мире трансграничной канатной дороги между городами Благовещенск и Хэйхэ через реку Амур. Проект подвесной трассы, соединяющей две страны, является одним из приоритетных ввиду возможности решения ряда задач, связанных с развитием транспортной доступности, экономической составляющей стран, туристического направления, а также экологической безопасностью.

Проектирование и строительство подвесной канатной дороги осуществляется совместно с сопутствующей инфраструктурой. Одной из важнейших частей воздушного моста являются наземные терминалы. Здание, располагаемое на территории Российской Федерации, представляет собой современное общественное пространство с пропускными пунктами, смотровыми площадками, конференц-залами, магазинами и офисами. По замыслу архитекторов, которые вдохновились сложной формой льдин при замерзании реки Амур, четырехэтажный терминал имеет уникальную конструктивную форму на каждом уровне (рис. 1). По проекту фасад станции будет выполнен из двухслойной светопрускающей оболочки. Высота объекта достигает 30 метров, а общая площадь превышает 20 тыс. м².



Рис. 1. Исследуемый объект

Назначение и форма объекта объясняют необходимость проведения исследований по определению ряда параметров здания: сложная геометрия терминала не позволяет применить данные из нормативных источников по назначению ветровых нагрузок на фасады. В соответствии с положениями свода правил с целью определения аэродинамических коэффициентов требуется проведение модельных испытаний в аэродинамических трубах.

Сотрудниками Национального исследовательского Московского государственного строительного университета при участии сотрудников Российского университета транспорта была разработана методика проведения экспериментальных исследований ветрового воздействия на здания в Большой исследовательской градиентной аэродинамической трубе [1, 2].

Значения ветровой нагрузки на фасады здания зависят от климатических условий района застройки. В ходе проведения климатического анализа были определены преобладающие направления ветра: северо-западное, западное и северное. Среднегодовая скорость ветра в городе Благовещенск равна 2,4 м/с, а наибольшая скорость ветра в порывах была зафиксирована летом и составила 35 м/с. Для экспериментальных исследований была разработана и изготовлена из фанеры модель исследуемого объекта в масштабе 1:150 (рис. 2). На поверхности модели были размещены точки сбора давления. От каждого отверстия по медным, а затем по силиконовым трубкам передается давление на дифференциальные датчики давления, показания которых регистрируются для каждого исследуемого угла модели [3, 4].



Рис. 2. Макет исследуемого объекта

Измеренное с помощью тензо-датчиков давление на поверхности модели исследуемого объекта в дренажных точках позволяет судить о распределении по фасадам объекта аэродинамического давления при углах атаки потока воздуха от 0 до 360° с шагом 20°.

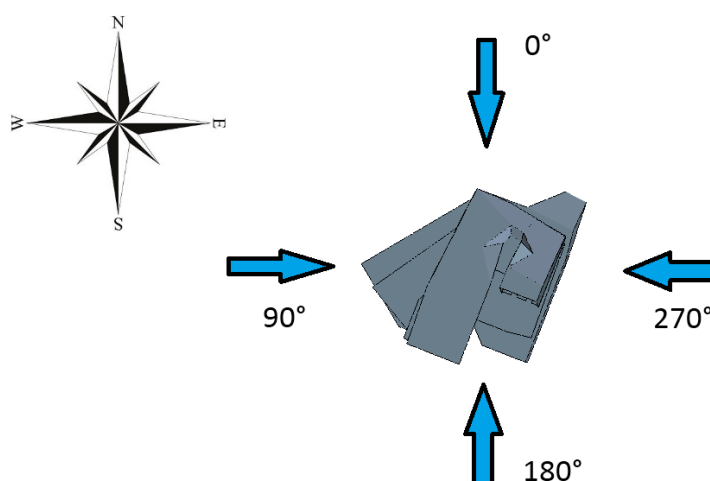


Рис. 3. Направление ветра

Сложная конфигурация исследуемого объекта приводит к образованию многочисленных отрывных и струйно-вихревых зон, которые взаимодействуют между собой и формируют картину неомонотонного распределения ветрового давления на фасадах исследуемого объекта (рис. 3).

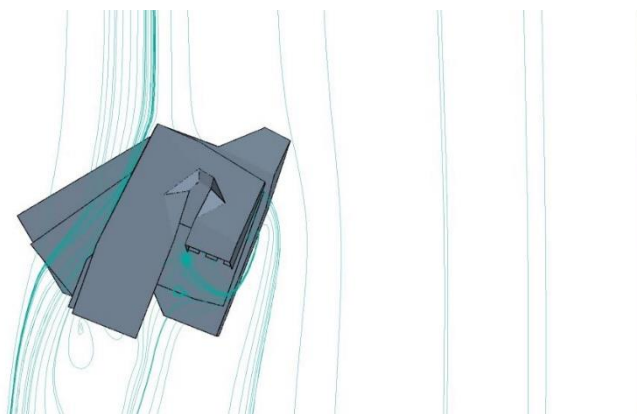


Рис. 4. Линии тока при угле обтекания 0°

На основании результатов экспериментальных исследований установлено, что наиболее неблагоприятными (критическими) направлениями ветрового потока, с точки зрения основной ветровой нагрузки, являются направления 0 и 150° (рис. 4). В таблице представлены выборочные средние значения аэродинамических коэффициентов давления в контрольных точках на поверхности фасадов исследуемого объекта, необходимые для расчета средней составляющей основной ветровой нагрузки для данных направлений [6].

Средние значения аэродинамических коэффициентов давления в контрольных точках на поверхности фасадов исследуемого объекта для углов 0 и 150 градусов

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	-0,58	-0,25	-0,55	-0,44	-0,08	-0,10	0,13	0,35	-0,15	-0,64	-1,07	-0,78
150	-0,48	-0,73	-0,98	-0,78	-0,52	-0,54	-0,43	-0,44	-0,48	-0,47	-0,64	-0,59
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0,67	0,53	0,37	0,53	0,42	0,46	0,05	0,12	0,54	0,24	0,05	0,94
150	0,37	0,05	0,87	0,97	0,86	0,66	0,67	0,51	0,44	0,40	0,21	0,56
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
0	0,60	0,53	0,59	0,48	0,50	0,47	0,48	0,54	0,62	0,06	0,49	0,44
150	0,25	0,01	0,09	0,28	0,30	0,96	0,05	0,49	0,14	0,29	0,85	0,56
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
0	0,55	0,48	0,63	0,54	0,64	0,15	0,19	0,59	1,11	0,21	1,12	0,80
150	0,32	0,44	0,76	0,65	0,64	0,84	0,72	0,63	0,73	0,72	0,53	0,73
	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
0	0,75	0,68	0,62	0,19	0,24	0,08	0,58	0,51	0,53	0,55	0,61	0,56
150	0,73	0,69	0,17	0,20	0,15	0,78	0,53	0,26	0,43	0,35	0,21	0,02

Одним из наименее развитых видов транспорта, занимающих чаще всего нишу туристических или внутрипроизводственных объектов, являются канатные дороги. Вместе с тем современное развитие агломераций, частое соседство жилых и производственных объектов, транспортных и коммунальных магистралей заставляет проектировщиков и инженеров использовать различные многоуровневые системы для развязки пассажира и грузопотоков. В этом соотношении канатная дорога имеет существенные перспективы развития, особенно в населенных пунктах со сложным рельефом, наличием естественных высотных и водных преград, парковых зон и т. д.

Важной особенностью такого вида транспорта является восприимчивость к кинематическим воздействиям: ветровым потокам, температурным перепадам, гололедной нагрузке и т. д. Значительная часть таких воздействий имеет лучистый характер и может моделироваться в некоторых доверительных интервалах с использованием методов системного анализа по массиву случайных величин. Для

корректирования функциональных параметров, характеризующих динамическое поведение основных элементов конструкций, требуется проведение численных или физических экспериментов, причем физические эксперименты могут проводиться как в континуальном виде, если объёмы уже существуют, так и с помощью модели, воздействие на которую осуществляется в аэродинамической трубе.

Практически любые исследования связаны с проведением экспериментов, как натуральных, так и основанных на физических макетах, с использованием методов статистического анализа по обработке данных, содержащих последовательность случайных или псевдослучайных величин. Метод, используемый в статистическом анализе, требует адаптации для инженерных задач с учетом специфики проведения экспериментов.

Зафиксированный результат действия случайного процесса называют его реализацией. При другом испытании – другая реализация. $\xi(t)$ называют случайным процессом, если значение этого процесса в любой фиксированный момент времени является случайной величиной $\xi(t_1)$.

Также случайный процесс можно представить следующим образом, если имеется совокупность реализаций: $x^1(t), x^2(t), \dots$. Тогда случайный процесс $\xi(t)$ есть набор реализаций $\xi(t) = \{x(t)\}$, а в результате опыта из множества реализаций случайным образом извлекается одна из реализаций.

Первое определение позволяет строить описание случайного процесса традиционными методами. Второе определение больше соответствует физическому понятию случайного процесса.

Приведем классификацию случайных процессов. Из первого определения можно выделить классификацию по характеристикам: математическое ожидание, дисперсия, корреляционная функция и т. д. Из второго вида – по виду (множеству) возможных реализаций.

Когда есть зависимость некоторого скаляра от одной переменной $\xi(t)$, то будем считать, что речь идет о случайном процессе. Если мы имеем зависимость скаляра от нескольких переменных (от вектора) $\xi(\vec{t})$, то такую конструкцию будем называть скалярным случайным полем (одна случайная величина зависит от совокупности неслучайных величин). Зависимость вектора от скаляра будем называть векторным случайным процессом $\vec{\xi}(t)$. Таким образом, считаем: 1-1 – случайный процесс, 1- N – скалярное случайное поле, N -1 – векторный случайный процесс, N_1 - N_2 – векторное случайное поле.

Из множества имеющихся случайных процессов необходимо выделить класс последовательностей, как более подходящих и условиям получения и первичной обработки величин, получаемых при продувке образца в аэродинамической трубе [7].

Пусть имеется случайный процесс $\xi(t) = \{x(t)\}$.

1 Множество значений аргумента и функции дискретно и счетно. В этом случае процесс называется дискретной случайной последовательностью. Число значений конечно или бесконечно. Но, даже если оно бесконечно, то оно счетно. Реализацию случайного процесса можно изобразить точками.

2 Если аргумент изменяется дискретно, а функция определена на континуальном множестве, то имеем случайную последовательность.

3 Аргумент непрерывен, а функция дискретна на каком-либо множестве. В этом случае имеем дискретный случайный процесс.

4 Аргумент и функция непрерывны:

а) непрерывнозначный случайный процесс. Слово «непрерывнозначный» говорит о том, что функция принимает значения из некоторого непрерывного множества. При этом допускаются скачки первого рода;

б) непрерывный процесс. Функция изменяется на непрерывном множестве, и сама реализация непрерывна.

5 Случайные потоки (точечные случайные процессы). Важно, произошло явление или нет.

6 Квазидетерминированные случайные процессы.

Детерминированная функция: можем предсказать значение в любой момент времени. Например, $s(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$ при известных A, ω, φ . Пусть теперь фаза φ – случайная величина. Тогда получаем квазидетерминированный случайный процесс.

Таким образом, если процесс $\xi(t) = \xi(t, \vec{\lambda})$ представляет собой известную функцию, зависящую от одного или нескольких случайных параметров, то он называется квазидетерминированным [8, 9].

Предположим, что мы можем получить столько реализаций случайного процесса, сколько нам надо. Пусть у нас имеется набор N идентичных источников случайных колебаний.

Зафиксируем момент времени t_1 . Тогда процесс в этом сечении будет представлять собой случайную величину, значения которой $x^1(t_1), x^2(t_1), \dots, x^N(t_1)$. Пусть x_1 – некоторое число из области определения случайной величины. Пусть $n_1 = n(x_1, t_1)$ – число тех реализаций случайного процесса, для которых справедливо

$$x^i(t_1) < x_1. \quad (1)$$

Тогда $n(x_1, t_1)/N$ – доля тех реализаций, для которых справедливо (1). Вспоминаем аксиому измерений и делаем вывод, что $P[\xi(t_1) < x_1] \approx n(x_1, t_1)/N$.

Если теперь рассмотреть вероятность как функцию от x_1 при фиксированном t_1 , то получим функцию распределения $P[\xi(t_1) < x_1] = F_1(x_1; t_1)$.

Особенность: зависит от параметра t_1 (времени). Функция распределения (одномерная зависит от одного x , а одномоментная – от одного t) является одной из наиболее общих характеристик случайных процессов.

С точки зрения удобства, иногда целесообразнее использовать не саму функцию распределения, а ее производную $w_1(x_1; t_1) = dF_1(x_1; t_1)/dx_1$, которая называется плотностью вероятности.

Одномерной плотности вероятности недостаточно, так как она не дает описания изменения процесса во времени. С этой целью вводят двумерную плотность вероятности. Выделим моменты времени t_1, t_2 и некоторые значения x_1, x_2 из области возможных значений случайного процесса $\xi(t)$.

Посчитаем количество реализаций $n_2 = n(x_1, x_2; t_1, t_2)$ таких, что $x^i(t_1) < x_1, x^i(t_2) < x_2$. Причем $n_2 \leq n_1$. Тогда n_2/N – относительная частота или доля тех реализаций, для которых выполняется условие (4). По аксиоме измерения $n_2/N \approx P[\xi(t_1) < x_1, \xi(t_2) < x_2]$.

Если рассматривать последнее выражение, как функцию x_1, x_2 , то получим двумерную (и двухмоментную) функцию распределения: $n_2/N \approx P[\xi(t_1) < x_1, \xi(t_2) < x_2] = F_2(x_1, x_2; t_1, t_2)$. В этом случае «мерность» и «моментность» совпадают.

Аналогично, если продифференцировать $F_2(x_1, x_2; t_1, t_2)$ по переменным x_1, x_2 , то можно ввести двумерную плотность вероятности $w_2(x_1, x_2; t_1, t_2) = \partial^2 F_2(x_1, x_2; t_1, t_2) / \partial x_1 \partial x_2$.

Принципиально, что она зависит от двух моментов времени t_1 и t_2 , что позволяет судить в какой-то степени (хотя и недостаточной) о временной зависимости случайного процесса.

Наиболее полную информацию содержит в себе n -мерная (n -моментная) функция распределения. Вводим n моментов времени t_1, t_2, \dots, t_n , относительную частоту и аналогично получаем $P[\xi(t_1) < x_1, \xi(t_2) < x_2, \dots, \xi(t_n) < x_n]$.

Если эту вероятность рассматривать как функцию аргументов x_1, x_2, \dots, x_n при фиксированных значениях параметров t_1, t_2, \dots, t_n , то получаем n -мерную (и n -моментную) функцию распределения $P[\xi(t_1) < x_1, \xi(t_2) < x_2, \dots, \xi(t_n) < x_n] = F_n(x_1, x_2, \dots, x_n; t_1, t_2, \dots, t_n)$.

Если $F_n(x_1, x_2, \dots, x_n; t_1, t_2, \dots, t_n)$ дифференцируема, то имеем n -мерную (и n -моментную) плотность вероятности $w_n(x_1, x_2, \dots, x_n; t_1, t_2, \dots, t_n) = \partial^n F_n(x_1, x_2, \dots, x_n; t_1, t_2, \dots, t_n) / \partial x_1 \partial x_2 \dots \partial x_n$.

Получается, что

$$w_n(x_1, x_2, \dots, x_n; t_1, t_2, \dots, t_n) dx_1 dx_2 \dots dx_n = P[x_1 \leq \xi(t_1) < x_1 + dx_1, x_2 \leq \xi(t_2) < x_2 + dx_2, \dots, x_n \leq \xi(t_n) < x_n + dx_n]$$

Чем больше n , тем с большей точностью мы описываем случайный процесс. Для непрерывных случайных процессов определить n , чтобы получить точное описание случайного процесса, крайне сложно (если не невозможно).

Выводы

Описание последовательности получаемых данных в ходе проведения эксперимента с помощью функции распределения и моментных функций дает исследователю возможность увеличения точности при представлении результатов экспериментов и вместе с тем не перегруженности алгоритма обработки, с точки зрения вычисляемой сложности.

Дополнительно определены пиковые значения аэродинамических коэффициентов, необходимые для определения пиковой ветровой нагрузки на ограждающие (фасадные) конструкции. Согласно результатам исследования, пиковые значения аэродинамических коэффициентов находятся в диапазоне от $-2,48$ до $1,34$. Максимальные по модулю значения аэродинамических коэффициентов характерны для угловых зон фасадных конструкций.

Необходимо отметить, что канатная дорога является надежным, быстрым и устойчивым видом общественного транспорта. Поэтому строительство подвесных трасс является перспективным направлением [10].

В рамках настоящего исследования получены экспериментальные данные необходимые для определения ветровой нагрузки на объект повышенного уровня ответственности уникальной формы. Таким образом, выполнены требования Федерального закона N 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», Градостроительного кодекса Российской Федерации и других нормативных документов, и обеспечена механическая безопасность объекта транспортной инфраструктуры федерального значения.

Список литературы

- 1 **Богданова, К.** Губернатор Амурской области Василий Орлов : «Запуск канатной дороги в Китай планируется в 2023 году» // Комсомольская правда : [сайт]. – 2021. – 6 апр. – URL: <https://www.kp.ru/online/news/4248339/?ysclid=1p-zgx1shvt283926029> (дата обращения: 07.02.2022).
- 2 Ветровые воздействия на объекты транспортной инфраструктуры, относящиеся к сооружениям повышенного уровня ответственности / А. А. Локтев, В. В. Королев, О. И. Поддаева [и др.] // Транспорт Урала. – 2022. – № 3(74). – С. 16–21. – DOI 10.20291/1815-9400-2022-3-16-21.
- 3 **Поддаева, О. И.** Возможности прогнозирования появления опасных зон при аэродинамическом воздействии на большепролетные мостовые конструкции / О. И. Поддаева // Наука и техника транспорта. – 2021. – № 3. – С. 100–106. – DOI 10.53883/20749325_2021_03_100.
- 4 **Казакевич, М. И.** Основы расчетов сооружений на ветровые воздействия : монография / М. И. Казакевич // Москва : Издательство МИСИ-МГСУ, 2019. – 171 с. – ISBN 978-5-7264-1932-9.
- 5 **Поддаева, О. И.** Расчетные исследования ветрового воздействия на высотные здания / О. И. Поддаева, П. С. Чурин, Ю. С. Грибач // Системотехника строительства. Киберфизические строительные системы 2019 : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 25 ноября 2019 года. – Москва : Национальный исследовательский Московский государственный строительный

References

- 1 **Bogdanova, K.** Governor of the Amur region Vasily Orlov : «The launch of the cable car to China is planned in 2023» // kp.ru. – 2021. – 6th of Apr. – URL: <https://www.kp.ru/online/news/4248339/?ysclid=1p-zgx1shvt283926029> (date of access: 02/07/2022).
- 2 Wind impacts on transport infrastructure facilities related to structures of an increased level of responsibility / A. A. Loktev, V. V. Korolev, O. I. Poddaeva [et al.] // Transport of the Urals. – 2022. – No. 3(74). – P. 16–21. – DOI 10.20291/1815-9400-2022-3-16-21.
- 3 **Poddaeva, O. I.** The possibility of predicting the appearance of dangerous zones during aerodynamic impact on large-span bridge structures / O. I. Poddaeva // Transport science and technology. – 2021. – No. 3. – P. 100–106. – DOI 10.53883/20749325_2021_03_100.
- 4 **Kazakevich, M. I.** Fundamentals of calculations of structures for wind impacts : monograph / M. I. Kazakevich // Moscow : publishing house MISI-MGSU, – 2019. – P. 171. – ISBN 978-5-7264-1932-9.
- 5 **Poddaeva, O. I.** Calculated studies of wind impact on high-rise buildings / O. I. Poddaeva, P. S. Churin, U. S. Gribach. // System engineering of construction. Cyberphysical building systems 2019. Collection of materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Moscow, November 25, 2019. – Moscow : National Research Moscow State University of Civil Engineering, – 2019. – P. 419–423. – EDN RWVBEB.

университет. – 2019. – С. 419–423. – EDN RWVBEВ.

6 **Казакевич, М. И.** Ветровая безопасность конструкций. Теория и практика / М. И. Казакевич. – Москва : Ин-т Гипростроймост, 2015. – С. 153–154. – ISBN 978-5-93307-015-3.

7 Исследование мостового перехода высокоскоростной железнодорожной магистрали при аэродинамических воздействиях / А. А. Локтев, В. В. Королев, И. В. Шишкина [и др.] // Транспорт Урала. – 2022. – № 3(74). – С. 55–59. – DOI 10.20291/1815-9400-2022-3-55-59.

8 **Коган, А. Я.** Случайные процессы взаимодействия пути и подвижного состава / А. Я. Коган, Э. Д. Загитов, И. В. Полешчук // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2016. – Т. 75, № 4. – С. 195–200. – ISSN 2223-9731.

9 **Menter, F. R.** Global vs. zonal approaches in hybrid RANS-LES turbulence modelling / F. R. Menter, J. Schütze, M. Gritskevich // In Progress in Hybrid RANS-LES Modelling. – 2012. – Springer, Berlin, Heidelberg. – P. 15–28. – DOI 10.1007/978-3-642-31818-4_2.

10 **Василенко, Н. А.** Системные принципы формирования ландшафтно-рекреационной среды крупного города : специальность 18.00.01 «Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры / Н. А. Василенко ; Московский архитектурный институт. – Москва, 2009. – 26 с. – EDN NLDBER.

6 **Kazakevich, M. I.** Wind safety of structures. Theory and practice. – Moscow : Inst. Gipstroytmost, 2015. – P. 153–154. – ISBN 978-5-93307-015-3.

7 Investigation of the bridge crossing of a high-speed railway under aerodynamic influences / A. A. Loktev, V. V. Korolev, I. V. Shishkina [et al.] // Transport of the Urals. – 2022. – No. 3(74). – P. 55–59. – DOI 10.20291/1815-9400-2022-3-55-59.

8 **Kogan, A. Ya.** Random processes of interaction of the track and rolling stock / A. Ya. Kogan, E. D. Zagitov, I. V. Poleshchuk // Bulletin of the Research Institute of Railway Transport. – Vol. 75, No. 4. – P. 195–200. – ISSN 2223-9731.

9 **Menter, F. R.** Global vs. zonal approaches in hybrid RANS-LES turbulence modelling. / F. R. Menter, J. Schütze, M. Gritskevich // In Progress in Hybrid RANS-LES Modelling. – 2012. – Springer, Berlin, Heidelberg. – P. 15–28. – DOI 10.1007/978-3-642-31818-4_2.

10 **Vasilenko, N. A.** Systemic principles of the formation of the landscape and recreational environment of a large city : specialty 18.00.01 "Theory and history of architecture, restoration and reconstruction of historical and architectural heritage" : abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Architecture / N. A. Vasilenko // Moscow Architectural Institute. – Moscow, 2009. – 26 p. – EDN NLDBER.

O. I. Poddaeva, P. S. Churin, A. N. Fedosova, Yu. S. Gribach, A. A. Loktev, L. A. Illarionova

EXPERIMENTAL STUDIES OF WIND IMPACT ON TRANSPORT INFRASTRUCTURE OBJECTS

Abstract. The development of transport infrastructure takes place in several directions. One of the main is the improvement of off-street transport, which is associated with the high density of space organization in a modern city. Promising is the design of the construction of cable cars, the operation of which is associated with the need to solve a number of scientific problems. One of the key tasks is to ensure the safety and comfort of passengers, as well as the stability and reliability of structures. The specificity of such transport is based on free and forced vibrations, one of the reasons for which is the wind effect, which in many cases is random in nature. To take this factor into account, it is proposed to use a static analysis apparatus.

Keywords: aerodynamics, wind tunnel, wind impact, random processes, experimental results processing, advanced transport.

For citation: Experimental studies of wind impact on transport infrastructure objects / O. I. Poddaeva, P. S. Churin, A. N. Fedosova [et al.] // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2023. – No. 4. – P. 138–145. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_4_138.

Сведения об авторах**Поддаева Ольга Игоревна**

Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет,
Учебно-научно-производственная
лаборатория по аэродинамическим
и аэроакустическим испытаниям
строительных конструкций,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: PoddaevaOI@gmail.com

Федосова Анастасия Николаевна

Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет,
Учебно-научно-производственная
лаборатория по аэродинамическим
и аэроакустическим испытаниям
строительных конструкций,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: mgsu-misi@list.ru

Чурин Павел Сергеевич

Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет,
Учебно-научно-производственная
лаборатория по аэродинамическим
и аэроакустическим испытаниям
строительных конструкций,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: kanz@mgsu.ru

Локтев Алексей Алексеевич

Российский университет транспорта
(МИИТ),
кафедра «Транспортное строительство»,
доктор физико-математических наук,
профессор, заведующий кафедрой,
e-mail: aaloktev@yandex.ru

Илларионова Лилия Алексеевна

Российский университет транспорта
(МИИТ),
кафедра «Здания и сооружения на
транспорте»
кандидат технических наук,
доцент кафедры,
e-mail: illarionova.roat@mail.ru

Information about the authors**Poddaeva Olga Igorevna**

National Research Moscow State University of
Civil Engineering, Educational, Scientific and
Production Laboratory for Aerodynamic and
Aeroacoustic Tests of Building Structures,
Candidate of Engineering Sciences,
Associated Professor,
e-mail: PoddaevaOI@gmail.com

Fedosova Anastasia Nikolaevna

National Research Moscow State University of
Civil Engineering, Educational, Scientific and
Production Laboratory for Aerodynamic and
Aeroacoustic Tests of Building Structures,
Candidate of Engineering Sciences,
Associated Professor,
e-mail: mgsu-misi@list.ru

Churin Pavel Sergeevich

National Research Moscow State University of
Civil Engineering, Educational, Scientific and
Production Laboratory for Aerodynamic and
Aeroacoustic Tests of Building Structures,
Candidate of Engineering Sciences,
Associated Professor,
e-mail: kanz@mgsu.ru

Loktev Alexey Alekseevich

Russian University of Transport (MIIT),
Chair «Transport Construction»,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor, Head of Chair,
e-mail: aaloktev@yandex.ru

Illarionova Lilia Alekseevna

Russian University of Transport (MIIT),
Chair «Buildings and Structures in Transport»,
Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor,
e-mail: illarionova.roat@mail.ru