

УДК 624.97

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2\[41\]-18-28](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2[41]-18-28)

EDN: CQQMAP

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ АНАЛИЗА АЭРОДИНАМИКИ ОПОР ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С АНТЕННАМИ, УСТАНОВЛЕННЫМИ НА НИХ

Т.А. БЕЛАШ¹, д-р техн. наук

Р.Р. САФИН^{1,2,✉}

¹АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская Федерация

²Группа компаний «Новые башни», ул. Маши Порываевой, д. 34, г. Москва, 107078, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Особенность опор двойного назначения в том, что помимо размещения на них оборудования оператора сотовой связи они выполняют функцию опоры освещения. Так как опоры двойного назначения расположены на центральных улицах города, конструкции имеют минимальные габариты и запасы по прочности. С каждым годом количество опор двойного назначения в городах растет, и правильный их расчет весьма актуален для обеспечения безопасной эксплуатации.

Цель: анализ изменения ветровой нагрузки на опору двойного назначения с установленными на ней панельными антеннами и влияние ее на прочность конструкции опоры.

Для реализации поставленной цели были сформулированы следующие задачи: определить зависимость аэродинамического коэффициента и величины ветровой нагрузки от размера панельных антенн и их расположения; сформулировать рекомендации по установке панельных антенн на верхней секции опоры двойного назначения диаметром 114 мм.

Материалы и методы. Рассматривается анализ изменения ветровой нагрузки и аэродинамического коэффициента конструкций секции опоры двойного назначения диаметром 114 мм с установленными на ней панельными антеннами в зависимости от размера антенн и их расположения.

Результаты. Установлено, что аэродинамический коэффициент уменьшается с увеличением вылета панельных антенн от трубостойки вне зависимости от их размера. Чем больше панельные антенны прижаты к трубостойке, тем ближе они находятся к соседним антеннам, тем самым затрудняя продувания сечения в центре. Несмотря на то что аэродинамический коэффициент уменьшается от увеличения вылета от трубостойки, величина ветровой нагрузки практически не меняется.

Выводы. При проектировании панельных антенн на трубостойке диаметром 114 мм необходимо руководствоваться размером сечения панельных антенн. Если ширина панельной антенны более 350 мм, а толщина более 150 мм, то рекомендуется проектировать установку таких панельных антенн как можно ближе к рассматриваемой трубостойке, чтобы уменьшить ветровую нагрузку на опору двойного назначения. В остальных случаях вылет панельных антенн не окажет существенного влияния на изменение ветровой нагрузки.

Ключевые слова: сооружения сотовой связи, антенно-мачтовые сооружения, мачты связи, опоры двойного назначения

Для цитирования: Белаш Т.А., Сафин Р.Р. Моделирование ветровой нагрузки для анализа аэродинамики опор двойного назначения с антеннами, установленными на них. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2024;41(2):18–28. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2\[41\]-18-28](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2[41]-18-28)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 27.02.2024

Поступила после рецензирования 19.03.2024

Принята к публикации 21.03.2024

WIND LOAD SIMULATION FOR THE ANALYSIS OF THE ANTENNA DUAL-PURPOSE POLES AERODYNAMICS

T.A. BELASH¹, Dr. Sci. (Engineering)

R.R. SAFIN^{1,2,✉}

¹ JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russian Federation

² GC Novye bashni, Masha Poryvaeva str., 34, Moscow, 107078, Russian Federation

Abstract

Introduction. In addition to the location of cellular communication equipment, dual-purpose poles perform the function of a lighting pole. Since dual-purpose pole are located on the central streets of the city, they have strength margins and minimum dimensions. The growing number of urban dual-purpose poles makes the correct calculation very relevant for ensuring their safe operation.

Aim. Analysis of the change in the wind load on the dual-purpose pole with panel antennas and its effect on the strength of the dual-purpose pole structure. In order to achieve this, the following tasks were formulated: to determine the dependence of the aerodynamic coefficient and the magnitude of the wind load on the dimensions of panel antennas and their location; to formulate recommendations for the installation of panel antennas on the upper dual-purpose pole section with a diameter of 114 mm.

Materials and methods. An analysis of changes in the wind load and aerodynamic coefficient of the dual-purpose pole section, 114 mm in diameter, with panel antennas, installed thereon, depending on the dimensions of antennas and their location.

Results. The aerodynamic coefficient was established to decrease at an increase in the projection of the panel antennas beyond the pipe rack, regardless of their dimensions. The more the panel antennas are pressed against the pipe rack, the closer they are to the neighboring antennas, thereby making it difficult to blow the cross-section in the center. Despite the fact that the aerodynamic coefficient decreases with an increase in the projection beyond the pipe rack, the value of the wind load remains almost constant.

Conclusions. Panel antennas on a pipe rack with a diameter of 114 mm must be designed taking into account the cross-section dimensions of panel antennas. If the panel antenna width and thickness exceed 350 and 150 mm, respectively, the installation of such panel antennas should be as close as possible to the considered pipe rack in order to reduce the wind load on the dual-purpose pole. In other cases, the projection of panel antennas will have no significant effect on the change in the wind load.

Keywords: cellular communication structures, antenna mast structures, communication masts, dual-purpose poles

For citation: Belash T.A., Safin R.R. Wind load simulation for the analysis of the antenna dual-purpose poles aerodynamics. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2024;41(2):18–28. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2\(41\)-18-28](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2(41)-18-28)

Authors contribution statement

All authors made equal contributions to the study and the publication.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 27.02.2024

Revised 19.03.2024

Accepted 21.03.2024

Введение

В наши дни сотовая связь проникла практически во все сферы повседневной жизни. Она нам дает мобильность – главное свойство сегодняшней действительности. С учетом того, что рынок телекоммуникационных услуг находится в зрелой стадии развития, он продолжает испытывать значительные преобразования, связанные с более высокими требованиями современного общества. Начиная с 2012 года в России стали развиваться сети четвертого поколения (4G), без которых пользователи на сегодня не представляют комфортной жизни. Для организации правильной работы сетей 4G оборудование необходимо устанавливать на высоте 9–30 метров от уровня земли, а расстояние между базовыми станциями (комплекса радиооборудования, установленного на одной опоре) должно быть не более 500 метров, но в связи с ограничением мощности передачи данных из-за ограничения Роспотребнадзора расстояние между базовыми станциями необходимо уменьшать вдвое. Поэтому возникает необходимость формирования в крупных городах хорошо организованной инфраструктуры для размещения оборудования сотовой связи и обеспечения требуемой пропускной способности сети. В Москве для решения подобной задачи начали использовать инфраструктуру Моссвета, надстраивая существующие конструкции до необходимой высоты. Совмещение опор освещения и коммуникационного оборудования создало новый вид сооружения под названием опора двойного назначения (ОДН). В Москве насчитывают более 5 тыс. опор двойного назначения. Данный вид сооружения набирает популярность и в других городах России.

По данным компании «Новые башни», которая является лидером среди владельцев инфраструктуры для размещения оборудования сотовой связи, на башни и мачты отводится не более 10% от общего числа строящихся коммуникационных сооружений. На 2022 год на балансе компании находится более 32 000 объектов.

С каждым годом сети операторов становятся все более чувствительными, и для уменьшения помех требуется уменьшать высоту подвеса оборудования и быть ближе к передатчику и приемнику. В наши дни в области развития сотовой связи более популярными сооружениями связи являются ОДН. Преимущества ОДН в том, что они занимают меньшую площадь земли, а фундаменты можно устроить между подземными коммуникациями.

Внешний вид ОДН показан на рис. 1 [1]. Данные конструкции могут изготавливаться из конической стальной оболочки, многогранной стальной оболочки либо из цилиндрических труб. Основная особенность опор в том, что помимо размещения на ней оборудования

оператора сотовой связи они выполняют функцию опоры освещения. ОДН отличаются от остальных столбов связи более высокой гибкостью и соответственно более высокими показателями по перемещениям. На сегодняшний день к ОДН предъявляют следующие требования:

- конструкции должны быть менее заметные;
- высота должна быть не более 30 и не менее 9 метров;
- фундаменты должны быть минимальными, так как работы проводятся в стесненных условиях городской застройки;
- кабели для подключения оборудования должны быть расположены внутри тела опоры.

Так как опоры двойного назначения расположены на центральных улицах города, оборудование оператора сотовой связи должно располагаться максимально компактно. Чем выше установлено оборудование, тем большая доля воздействия ветровой нагрузки на опору. Верхняя секция в большинстве конструктивов компании «Новые башни» выполнена из трубы диаметром 114 мм, поэтому анализ опоры с оборудованием, расположенным именно на этой секции, наиболее важен. В данной работе рассматривается анализ изменения ветровой нагрузки и аэродинамического коэффициента конструкций секции ОДН диаметром 114 мм с установленными на ней панельными антеннами в зависимости от размера антенн и их расположения относительно секции.

Среди всех типов антенн наиболее распространены панельные антенны. Они используются как секторные антенны, предназначенные для организации покрытия в заданной области. Именно через них излучается сигнал к мобильным станциям абонентов и принимается от них. Внешний вид панельных антенн показан на рис. 2 [2].

Цели

- Проанализировать изменение ветровой нагрузки на ОДН с установленными на ней панельными антеннами и влияние на прочность и устойчивость конструкции ОДН.
- Определить зависимость аэродинамического коэффициента от размера панельных антенн и их расположения относительно секции.
- Определить зависимость величины ветровой нагрузки от размера панельных антенн и их расположения относительно секций.
- Получить рекомендации по установке панельных антенн на верхней секции ОДН диаметром 114 мм.

Материалы и методы

Для решения поставленной задачи была использована программа SolidWorks, модуль Flow Simulation. SolidWorks – программный комплекс САПР для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства. Flow Simulation – семейство дополнительных модулей по газо- и гидродинамическим расчетам. Позволяет моделировать течение жидкостей и газов, управлять расчетной сеткой, использовать типовые физические модели жидкостей и газов, выполнять комплексный тепловой расчет, газо- и гидродинамические и тепловые модели технических устройств, нестационарный анализ, расчет вращающихся объектов [3].

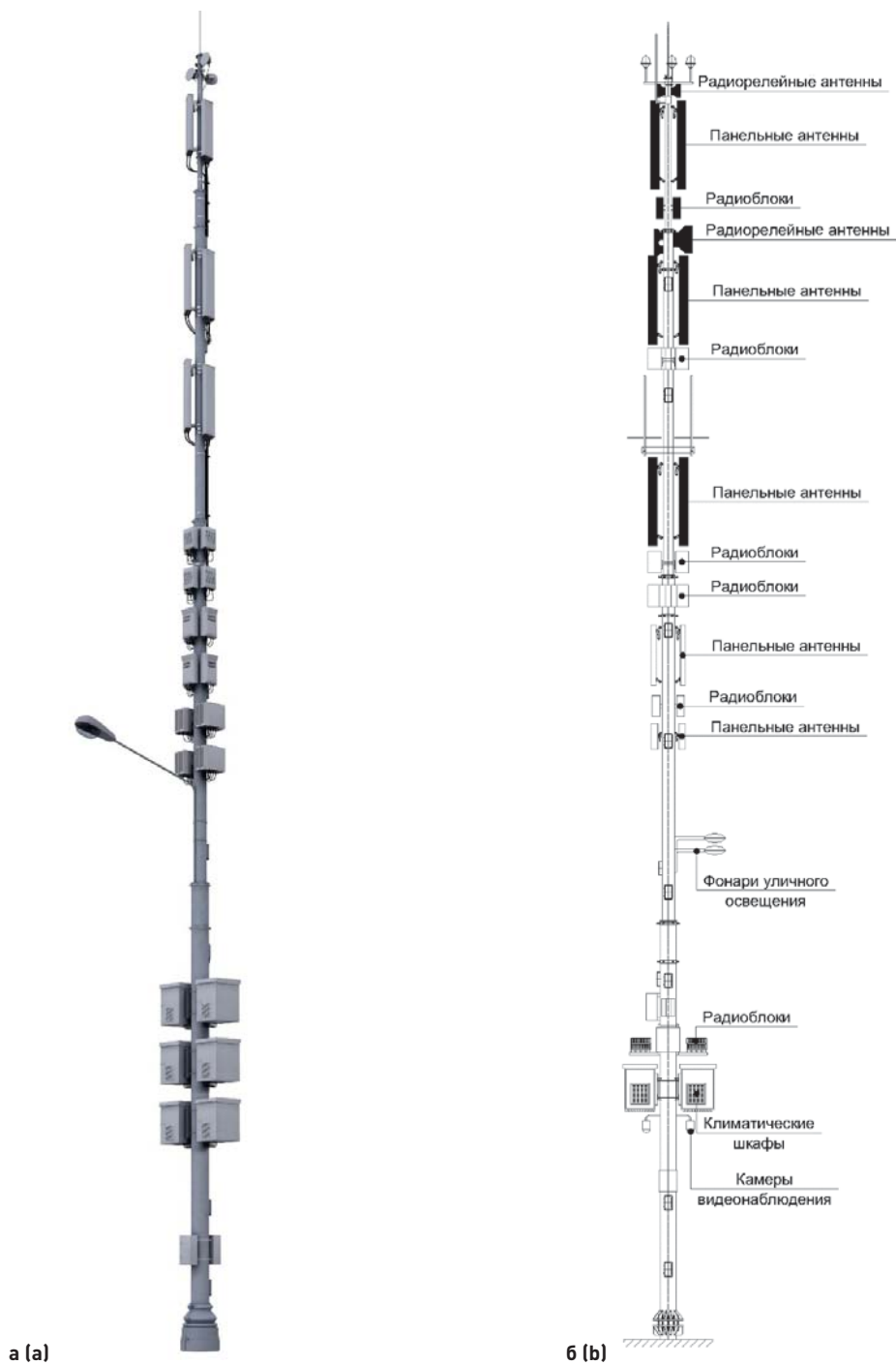


Рис. 1. Изображение опор двойного назначения (ОДН) (а) [1], схема оборудования (б)
Fig. 1. Image of a dual-purpose pole (DPP) (a) [1] and equipment scheme (b)



Рис. 2. Три панельные антенны на металлическом столбе на здании [2]

Fig. 2. Three panel antennas on a metal pole of the building [2]

В SolidWorks Flow Simulation ветровая нагрузка моделируется с использованием функции «внешние потоковые условия». В программе возможно задать скорость и направление ветра, а также выбрать модель турбулентности для более точного моделирования поведения воздушного потока. После настройки параметров ветра выполняется анализ воздушных потоков и получаются результаты, такие как распределение давления и силы на модель.

На первом этапе исследования была произведена верификация граничных условий виртуальной аэродинамической трубы. В качестве модели для верификации было принято прямоугольное сечение размерами 200×100 мм. Расчет аэродинамического коэффициента для такого сечения рассчитывается по Приложению В.1.13 [4]. Аэродинамические коэффициенты лобового сопротивления призматических сооружений определяются по формуле

$$c_x = k_\lambda \times c_{x\infty}.$$

Значение коэффициента k_λ в зависимости от относительного удлинения λ_e элемента определяется по Приложению В.1.15 [4]. В данной статье мы будем определять только $c_{x\infty}$, так как антенны могут быть разной длины, и учесть изменение возможно с помощью коэффициента, определенного по [4]. Значения коэффициента $c_{x\infty}$ для прямоугольных сечений приведены на рис. В.19 [4]. Для прямоугольного сечения размерами 200×100 мм аэродинамический коэффициент получается 2,2. На рис. 3 изображено получение данного результата. По оси абсцисс принято значение 0,5, что является отношением толщины прямоугольника к его ширине.

Для определения данного коэффициента с помощью программы SolidWorks были приняты следующие исходные данные:

Аэродинамический коэффициент определен по формуле 2 [5]:

$$c_{x\infty} = \frac{F}{0,5 \times \rho \times V^2 \times A}$$

где F – лобовое аэродинамическое сопротивление, Н;

A – площадь проекции тела поперек воздушного потока, м^2 ;

ρ – плотность воздуха, кг/м^3 (принята $1,2041 \text{ кг/м}^3$ при температуре 20°C);

V – скорость воздушного потока, м/с (принята 150 км/ч , или $41,67 \text{ м/с}$). Данная скорость ветра приведена в справочниках на антенны. Изменение скорости ветра в меньшую сторону незначительно влияет на аэродинамический коэффициент, в пределах 5 %, так как с уменьшением скорости ветра уменьшается и лобовое аэродинамическое сопротивление.

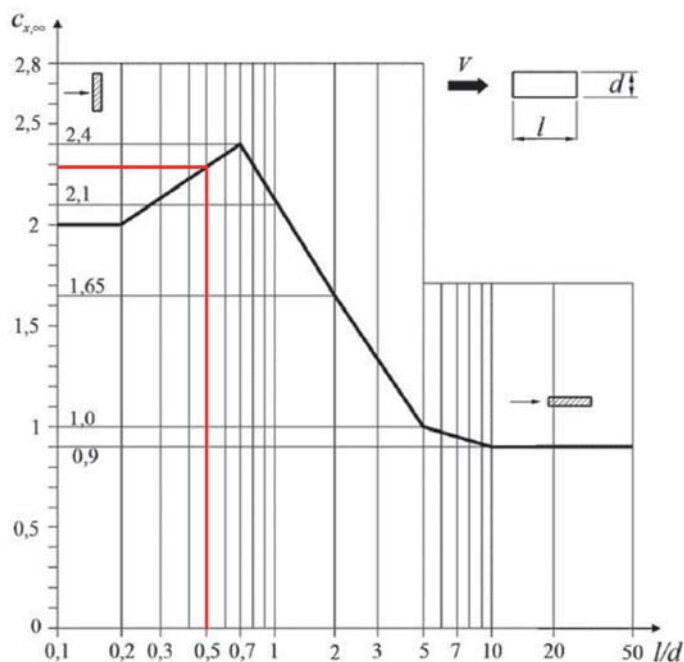


Рис. 3. График определения аэродинамического коэффициента для сечения 200×100 мм по рис. В.19 [4]
Fig. 3. Plot for determining the aerodynamic coefficient for a section of 200×100 mm according to Fig. В.19 [4]

Тип течения – ламинарное и турбулентное.

Шероховатость – 1 мм.

Тип расчетной области – двумерный, для определения $c_{x\infty}$.

Сетка выставлена автоматически.

Третий уровень адаптации сетки.

В результате расчета были получены следующие данные:

Среднее значение лобового аэродинамического сопротивления составляет 509 Н. Эпюра изменения скорости ветрового потока показана на рис. 4. Аэродинамический коэффициент сечения 200×100 мм равен 2,43. Погрешность значений, полученных с помощью рис. В.19 [1] и программы SolidWorks, составляет 10 %.

Исходные данные для расчета аэродинамических характеристик антенн приняты аналогичными. Схема модели для расчета показана на рис. 5. Был произведен расчет 125 моделей различных размеров. Вылет антенны изменялся от 100 до 200 мм с шагом 25 мм, ширина антенны изменялась от 200 до 400 мм с шагом 50 мм, толщина антенны изменялась от 100 до 200 мм с шагом 25 мм.

Результаты

Некоторые результаты расчета лобового аэродинамического сопротивления занесены в табл. 1.

Эпюра изменения скорости ветрового потока расчетной модели показана на рис. 6.

По полученным значениям были построены графики зависимости аэродинамического коэффициента от вылета панельных антенн (рис. 7). Аналогично были получены графики зависимости произведения аэродинамического коэффициента и ветровой ширины от вылета панельных антенн (рис. 8). Величина произведения аэродинамического коэффициента на ветровую ширину отображает величину ветровой нагрузки, передаваемую на ствол опоры двойного назначения.

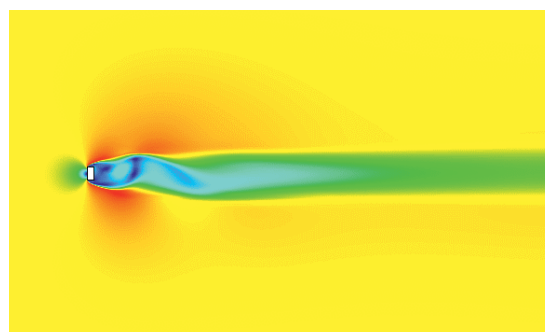


Рис. 4. Эпюра изменения скорости ветрового потока
Fig. 4. Diagram of a change in the wind flow velocity

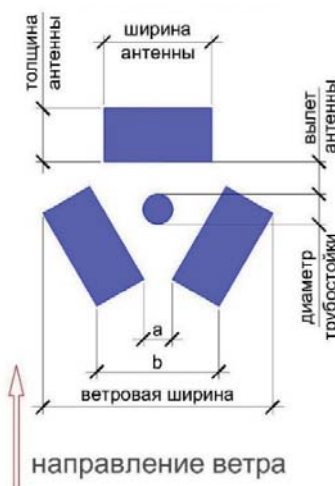


Рис. 5. Схема расчетной модели
Fig. 5. Scheme of the computational model

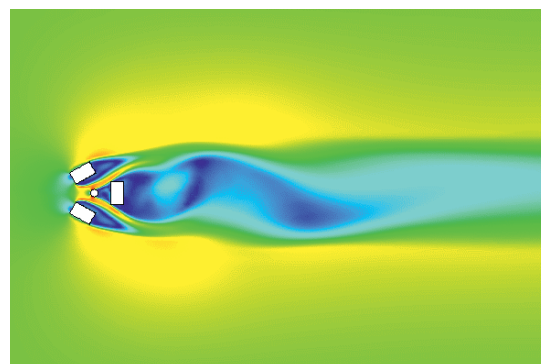


Рис. 6. Эпюра изменения скорости ветрового потока расчетной модели
Fig. 6. Diagram of the change in the wind flow velocity of the computational model

Таблица 1

Результаты виртуальных испытаний

Table 1

Virtual test results

Диаметр трубостой- ки, мм	Вылет антенны, мм	Размер антенны		Ветровая ширина, м	a, м	b, м	Лобовое аэродина- мическое сопротивле- ние при на- правлении ветра, Н	Аэродина- мический коэффици- ент при на- правлении ветра	Произведе- ние ветровой ширины и аэ- родинамиче- ского коэффи- циента, м
		ширина, мм	толщи- на, мм				между ан- теннами	между ан- теннами	
114	100	200	200	0,72	0,17	0,52	710	0,95	0,679
	100	250	200	0,74	0,15	0,49	838	1,08	0,802
	100	300	200	0,77	0,12	0,47	1023	1,27	0,979
	100	350	200	0,79	0,10	0,44	1079	1,30	1,032
	100	400	200	0,82	0,07	0,42	1096	1,28	1,048
	125	200	200	0,76	0,22	0,56	796	1,00	0,761
	125	250	200	0,79	0,19	0,54	892	1,08	0,853
	125	300	200	0,81	0,17	0,51	868	1,02	0,830
	125	350	200	0,84	0,14	0,49	1193	1,36	1,141
	125	400	200	0,86	0,12	0,46	1219	1,35	1,166
	150	200	200	0,80	0,26	0,60	842	1,00	0,805
	150	250	200	0,83	0,23	0,58	876	1,01	0,838
	150	300	200	0,85	0,21	0,55	1029	1,15	0,984
	150	350	200	0,88	0,18	0,53	1035	1,13	0,990
	150	400	200	0,90	0,16	0,50	1268	1,34	1,213
	175	200	200	0,85	0,30	0,65	778	0,88	0,744
	175	250	200	0,87	0,28	0,62	934	1,02	0,893
	175	300	200	0,90	0,25	0,60	999	1,06	0,956
	175	350	200	0,92	0,23	0,57	1018	1,05	0,974
	175	400	200	0,95	0,20	0,55	1219	1,23	1,166
	200	200	200	0,89	0,35	0,69	767	0,82	0,734
	200	250	200	0,92	0,32	0,67	878	0,92	0,840
	200	300	200	0,94	0,30	0,64	1029	1,05	0,984
	200	350	200	0,97	0,27	0,62	1178	1,17	1,127
	200	400	200	0,99	0,25	0,59	1264	1,22	1,209

Выводы

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

- Аэродинамический коэффициент уменьшается с увеличением вылета панельных антенн от трубостойки вне зависимости от их размера. Чем больше панельные антенны прижаты к трубостойке, тем ближе они находятся к соседним антеннам, тем самым затрудняя продувания сечения в центре.
- Величина произведения аэродинамического коэффициента на ветровую ширину отображает величину ветровой нагрузки, передаваемую на ствол опоры двойного назначения. Как видно

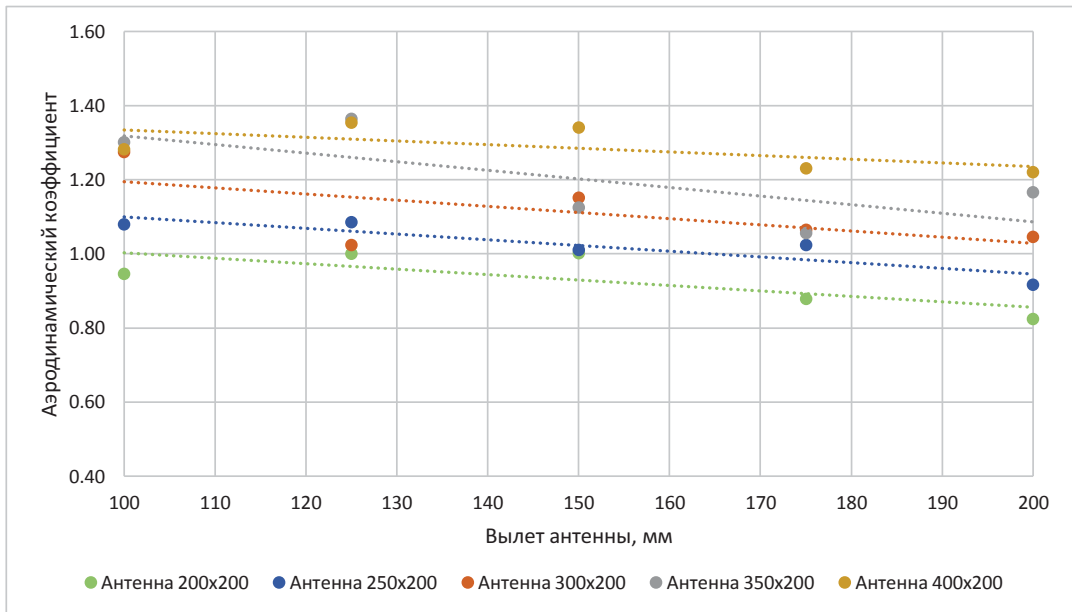


Рис. 7. Графики зависимости аэродинамического коэффициента от вылета антенн
Fig. 7. Dependence of the aerodynamic coefficient on the antenna projection

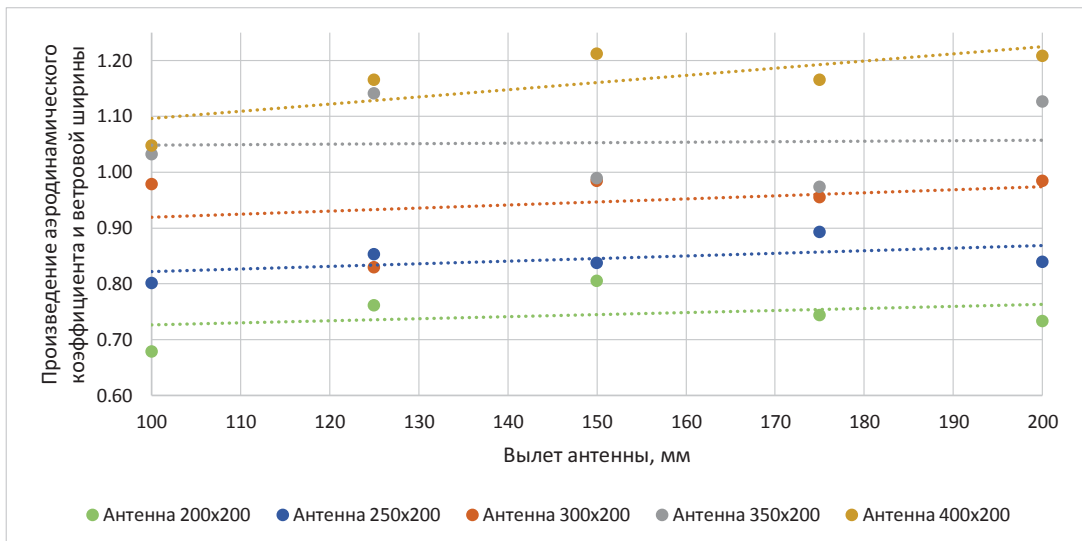


Рис. 8. Графики зависимости произведения аэродинамического коэффициента и ветровой ширины от вылета антенн
Fig. 8. Product of the aerodynamic coefficient and the wind width vs the antenna projection

из графиков зависимости, аэродинамический коэффициент уменьшается от увеличения вылета от трубостойки, величина ветровой нагрузки практически не меняется. Лишь при большой ширине и толщине антенны нагрузка в зависимости от вылета антенны увеличивается.

При проектировании панельных антенн на трубостойке диаметром 114 мм необходимо руководствоваться размером сечения панельных антенн. Если ширина панельной антенны

более 350 мм, а толщина более 150 мм, то рекомендуется проектировать установку таких панельных антенн как можно ближе к рассматриваемой трубостойке, чтобы уменьшить ветровую нагрузку на опору двойного назначения. В остальных случаях вылет панельных антенн не окажет существенного влияния на увеличение ветровой нагрузки.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства Москвы «О мерах по размещению оборудования базовых станций подвижной радиотелефонной связи и контактной сети на опорах наружного освещения в городе Москве» от 25 апреля 2023 г. № 265-РП [интернет]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1301461719>
2. Сотовая связь. История. Стандарты. Технологии [интернет]. Режим доступа: <http://celnet.ru/gal49.php> (дата доступа 09.08.2023).
3. SolidWorks. Википедия [интернет]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/SolidWorks> (дата обращения 08.09.2023).
4. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. Москва: Стандартинформ; 2018.
5. Ferris M. (June 2009). Wind Loading on Base Station Antennas [internet]. Available at: <https://www.cosconor.fr/GSM/Divers/Equipment/Andrew/White%20papers/Wind%20loading.pdf>

References

1. Order of the Government of Moscow "On measures for the placement of equipment for mobile radiotelephone base stations and a contact network on outdoor lighting poles in the city of Moscow" dated April 25, 2023 No. 265-RP [internet]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1301461719> (In Russian).
2. Cellular communication. History. Standards. Technologies [internet]. Available at: <http://celnet.ru/gal49.php> (accessed 09 August 2023). (In Russian).
3. SolidWorks. Wikipedia [internet]. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/SolidWorks> (accessed 08 September 2023). (In Russian).
4. SP 20.13330.2016. Loads and actions. Updated version of SNiP 2.01.07-85*. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).
5. Ferris M. (June 2009). Wind Loading on Base Station Antennas [internet]. Available at: <https://www.cosconor.fr/GSM/Divers/Equipment/Andrew/White%20papers/Wind%20loading.pdf>

Информация об авторах / Information about the authors

Татьяна Александровна Белаш, д-р техн. наук, советник РААСН, профессор кафедры «Строительные сооружения, конструкции и материалы», АО «НИЦ «Строительство», Москва
Tat'yana A. Belash, Dr. Sci. (Engineering), Counsellor, Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Professor, Department of Building Facilities, Structures and Materials, JSC Research Center of Construction, Moscow

Родион Романович Сафин✉, аспирант, АО «НИЦ «Строительство»; главный конструктор по новым разработкам, ГК «Новые башни», Москва
e-mail: rod1on1991@mail.ru
Rodion R. Safin✉, Postgraduate Student, JSC Research Center of Construction; Chief Designer for New Developments, GC Novye bashni, Moscow
e-mail: rod1on1991@mail.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author