

LIKHACHYOVA Svetlana Yurevna, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics; POZDEEV Maksim Leonidovich, student

THE CRITERION OF THE STRENGTH OF MASONRY UNDER THE ACTION OF SHEAR STRESSES

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering 65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96; e-mail: lihsvetlana@yandex.ru, maksim.leon.pz@yandex.ru *Key words:* masonry, biaxial compression, shear stress, strength criterion, strength figure, orthotropic material.

The article describes the criterion of strength of masonry in the area of the cut. The generalization of approaches to the description of the strength of masonry on the action of tangential stresses is carried out based on the results of experimental data and proposed author's and normative methods. The analysis of their applicability in engineering practice is carried out.

REFERENCES

1. SP 15.13330.2020 Kamennye i armokamennye konstruktsii [Stone and reinforced stone structures] : utverzhd. prikazom Min-va stroit. i zhilischno-kommun. khoz-va RF ot 30 dekabrya 2020 g. № 902/pr : aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-22-81*: data vved. 1 iyulya 2021 g. – URL: https://docs.cntd.ru/document/573741258 (data obrascheniya: 20.10.2021).

2. Geniev G. A., Kurbatov A. S., Samedov F. A. Voprosy prochnosti i plastichnosti anizotropnykh materialov [Problems of strength and plasticity of anisotropic materials]. – Moscow: Interbuk, 1993. – 187 p.: il. - ISBN 5-7664-0991-5.

3. Page A.W. The biaxial compressive strength of brick masonry. Proc. Jnst. Civ. Eng., Part 2, 1981, 71, Sept. – P. 893–906.

© С. Ю. Лихачева, М. Л. Поздеев, 2022

Получено: 24.01.2022 г.

УДК 624.042.41+533.6.011

Н. Ю. ТРЯНИНА, канд. техн. наук, проф. кафедры теории сооружений и технической механики; Е. Н. ОБЛЕТОВ, аспирант, асс. кафедры теории сооружений и технической механики; И. А. САМОХВАЛОВ, ст. преп. кафедры строительных конструкций

АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПАНЕЛЬНЫЕ АНТЕННЫ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96; эл. почта: tstm@nngasu.ru, evg.obletov@gmail.com

Ключевые слова: панельная антенна, ветровой поток, коэффициент лобового сопротивления, число Рейнольдса, эффективная площадь сопротивления. Представлены результаты численного исследования влияния угла атаки ветровой нагрузки и числа Рейнольдса (Re) на изменение аэродинамических характеристик панельных антенн. Проведено сравнение нормативных и предложенных значений коэффициента лобового сопротивления. Предложена методика минимизации ветрового воздействия на опору, путем подбора антенн с хорошей обтекаемостью.

По мере расширения услуг беспроводной связи и повышения скорости обмена данными поставщики развертывают все больше базовых станций и увеличивают количество оборудования на них для удовлетворения растущего спроса. В результате антенные опоры (башни, мачты, триподы и т. д.) приближаются к пределу своей грузоподъемности. Поэтому важно оценить характер и величину влияния каждой антенны на общую загруженность сооружения.

Антенны базовых станций увеличивают нагрузку на опоры не только за счет их массы, но и за счет дополнительной ветровой нагрузки, которую они воспринимают. В зависимости от аэродинамических характеристик конкретной антенны ветровая нагрузка может значительно изменяться.

Согласно СП «Нагрузки и воздействия» [1] при определении компонентов основной ветровой нагрузки следует учитывать соответствующие значения аэродинамических коэффициентов, в том числе коэффициента лобового сопротивления (КЛС) c_x . Для призматических сооружений и конструктивных элементов (к которым можно отнести антенны) аэродинамический коэффициент представлен в приложении В.1.13 [1], он постоянный для всех форм и видов антенн и равен $c_x = 1,4$. Кроме того, в атласе [2] и работе [3] можно найти результаты продувки форм, близких с рядом антенн. Однако коэффициенты сопротивления, основанные на стандартах и применяемые для схожих форм, не могут учитывать уникальные профили антенн. Работа [3] посвящена исследованию форм летательных аппаратов и искомые коэффициенты представлены для скоростей, неактуальных для строительства.

Для ограниченного количества антенн коэффициенты c_x представлены в мануалах, но для большинства они вообще отсутствуют. Некоторые ведущие производители антенн предоставляют методику определения КЛС в аэродинамических трубах, но это не выполнимо при массовом строительстве базовых станций и растущем количестве различного рода панельных антенн. В тех работах, где описаны методики исследования с использованием *CFD*-технологий, определяемым параметром является максимально допустимая ветровая нагрузка на антенны, а не КЛС [4, 5, 6].

Поэтому данное исследование, направленное на определение уточненных аэродинамических характеристик антенн базовых станций, является несомненно актуальным, своевременным, отвечающим на запросы потребителей и проектировщиков, а также имеющим практическую ценность.

В данной работе представлены уточненные значения лобового c_x и поперечного c_y коэффициентов сопротивления для панельных антенн различной формы в зависимости от угла атаки и числа Рейнольдса.

Объектом исследования являются панельные приемо-передающие антенны: 742270 "Kathrein" (рис. 1a), TQB-172718DEH-65Fv02 "Tongyu Communication" (рис. 1б) и MB4B/MF/MF-65-16/18/18DE-IN "MOBI Antenna Technologies" (рис. 1в). Ниже в качестве названия антенны используются названия фирм-производителей.



Рис. 1. Сечения исследуемых антенн: *a* – "Kathrein", *б* – "Tongyu", *в* – "MOBI"

Применяемый программный комплекс SolidWorks Flow Simulation позволяет решать комплекс задач, в том числе внешние задачи аэромеханики, используя при этом математическую модель Навье-Стокса движения вязкой по Ньютону жид-кости [7].

Условия и начальные параметры задачи: тип задачи – внешняя; текучая среда – воздух; тип течения – ламинарное и турбулентное; число Рейнольдса изменяется в зависимости от угла атаки и скорости набегающего потока; шероховатость антенн – 20 мкм; атмосферное давление – 101 325 Па; температура – 293,2 К; плотность воздуха – 1,204 кг/м³; скорость набегающего потока изменяется от 0,1 до 40 м/с.

Для решения поставленной задачи были созданы 39 моделей исследуемых антенн и подгружены в *SolidWorks*. Были назначены начальные условия, сгенерирована пространственная сетка с общим количеством контрольных объемов ~5,4×10⁶ (из них 1,9×10⁶ на границе раздела сред), задано параметрическое исследование, в котором переменный параметр – скорость набегающего потока. Общее количество проанализированных вариантов – 468.

Результаты исследования представлены на графиках зависимости (рис. 2), а распределение скорости потока, давления и картины обтекания представлены в графическом приложении (рис. 1–5 цв. вклейки).



Рис. 2. Антенна "Tongyu", угол атаки 90°. График зависимости КЛС от числа Рейнольдса

Как видно, с увеличением числа Рейнольдса происходит уменьшение КЛС, а затем стабилизация у одного значения. Такая же картина прослеживается и в остальных вариантах исследования. Коэффициент же поперечной силы c_y практически постоянен при выбранном диапазоне чисел Рейнольдса и в целом мало важен при сборе ветровой нагрузки и проектировании антенных опор.

Важным результатом исследования является получение зависимости коэффициента лобового сопротивления c_x от угла атаки модели антенны ветровыми потоками. Угол атаки 0° соответствует действию ветрового потока в лицевую плоскость антенны, а 180° – в тыльную. Шаг изменения угла атаки 15° (рис. 3). Искомые значения c_x представлены на графике (рис. 4).

К СТАТЬЕ Н. Ю. ТРЯНИНОЙ, Е. Н. ОБЛЕТОВА, И. А. САМОХВАЛОВА «АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПАНЕЛЬНЫЕ АНТЕННЫ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ»



Рис. 1. Картина скорости потока около антенны "*Tongyu Communication*". Угол атаки $\alpha = 0^{\circ}$. Скорость потока v = 22,5 м/с



Рис. 2. Распределение относительного давления по поверхности антенны "*Tongyu Communication*". Угол атаки $\alpha = 0^{\circ}$. Скорость потока v = 22,5 м/с



Рис. 3. Картина обтекания антенны "Tongyu Communication". Угол атаки $\alpha = 0°$. Скорость потока v = 22,5 м/с



Рис. 4. Картина обтекания антенны "Tongyu Communication". Угол атаки $\alpha=90°$. Скорость потока $v=22,5~{\rm M/c}$



Рис. 5. Картина скорости потока около антенны *"Tongyu Communication"*. Угол атаки $\alpha = 0^{\circ}$. Скорость потока $\nu = 0,1$ м/с



Рис. 6. Картина обтекания антенны "*Kathrein*". Угол атаки $\alpha = 0^{\circ}$. Скорость потока $\nu = 0,1$ м/с



Рис. 7. Картина обтекания антенны *"Kathrein"*. Угол атаки $\alpha = 0^{\circ}$. Скорость потока $\nu = 0,1$ м/с



Рис. 8. Картина скорости потока около антенны "*MOBI*". Угол атаки $\alpha = 30^{\circ}$. Скорость потока $\nu = 40$ м/с



Рис. 9. Картина обтекания антенны "*MOBI*". Угол атаки $\alpha = 30^{\circ}$. Скорость потока $\nu = 40$ м/с



Рис. 3. Схема изменения направления ветрового воздействия v



Рис. 4. Антенна "Kathrein". График зависимости КЛС с. от угла атаки при v = 0,1 м/с

Существенные изменения значения коэффициента лобового сопротивления c_x обусловлены изменением площади проекции и формой антенны в зависимости от направления ветра.

Наименьший c_x соответствует варианту ветровой нагрузки в ребро антенны, поскольку в этом случае возникает непротяженная отрывная зона, обусловленная незначительным отрывом пограничного слоя (рис. 3 цв. вклейки). Обратные процессы происходят при воздействии в тыльную часть антенны (рис. 5 цв. вклейки).

Для того чтобы определить, какой же c_x принимать для той или иной антенны, необходимо, во-первых, выбрать скорость при которой определяется искомый коэффициент, во-вторых, выбрать угол атаки, при котором антенна получает наибольшее нагружение.

При определении скорости предлагается использовать соответствующую скорость ветровых районов. Согласно п. 11.1.4 [1] нормативное значение ветрового давления определяется по формуле 11.3. Зная давление в конкретном ветровом районе, можно определить величину нормативной скорости v_{50} . Например, для I ветрового района $v_{50} = 23,1$ м/с.

Для выбора наихудшего варианта ветрового воздействия на антенну в зависимости от угла атаки предлагается ввести коэффициент WCA (Worst Case Attack), определяемый по формуле:

$$WCA = b \cdot c_{r},\tag{1}$$

где b – ширина проекции антенны, c_x – коэффициент лобового сопротивления в зависимости от угла атаки.



Таблица 1

Угол атаки α, °	C _x	Ширина проекции <i>b</i> , м	WCA	Высота <i>h</i> , м	Площадь проекции <i>А</i> , м ²	<i>EDA</i> , м
0	0,96	0,62	0,595	1,36	0,843	0,809
15	1,0	0,625	0,625	-	0,850	0,850
30	0,91	0,593	0,540	-	0,806	0,734
45	0,9	0,515	0,464	-	0,700	0,630
60	0,78	0,402	0,314	-	0,547	0,426
75	0,76	0,255	0,194	-	0,347	0,264
90	0,36	0,16	0,058	-	0,218	0,078
105	0,71	0,255	0,181	-	0,347	0,246
120	0,78	0,402	0,314	-	0,547	0,426
135	0,91	0,503	0,458	-	0,684	0,623
150	0,93	0,593	0,551	-	0,806	0,750
165	1,04	0,625	0,650	-	0,850	0,884
180	1,14	0,62	0,707	-	0,843	0,961

Результаты определения коэффициентов *WCA* и *EDA* для антенны *"Tongyu*" при v = 22,5 м/с

Наибольший коэффициент *WCA* соответствует углу атаки 180 ° и равен 0,707 м. Следовательно, принимаем $c_x = 1,14$ для антенны *TQB-172718DEH-65Fv02* "Tongyu Communication".

Использование наибольшего полученного c_x корректно не для всех случаев, например, при размещении антенны на фасаде здания ветер попросту не воздействует на тыльную плоскость антенны, а поиск наибольшего c_x ограничивается углами атаки 0–90°. В этом случае коэффициент WCA = 0,625, а $c_x = 1,0$, а при сборе ветровой нагрузки полученный коэффициент следует умножать на соответствующую площадь проекции антенны (табл. 1).

В автомобильной и авиационной промышленности эквивалентная площадь пластины *EFA* (*Equivalent Flat Plate Area*) используется для сравнения аэродинамической эффективности одного автомобиля или самолета с другой. В телекоммуникациях *EFA* может использоваться таким же образом для сравнения форм антенн. Кроме того, возможно использовать *EFA* для описания грузоподъемности конкретной башни. *EFA* для антенны представляет собой площадь гипотетической плоской поверхности, перпендикулярной потоку текучей среды, которая создает то же сопротивление, что и анализируемая антенна [4, 8]:

 $0,5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A_a \cdot c_x^{\ a} = 0,5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A_{fp} \cdot c_x^{\ fp}$, (2) где A_a – площадь проекции антенны, $c_x^{\ a}$ – коэффициент лобового сопротивления антенны, A_{fp} – площадь эквивалентной плоской пластины, $c_x^{\ fp}$ – коэффициент лобового сопротивления эквивалентной плоской пластины.

Более общепринятой практикой является предположение, что эквивалентная плоская пластина имеет коэффициент сопротивления $c_x^{fp} = 1,0$, поэтому эквивалентная площадь плоской пластины равна коэффициенту сопротивления антенны, умноженному на площадь проекции антенны, перпендикулярную направлению ветра [8]:



$$EDA = A_a \cdot c_x^a$$
,

где *EDA* (*Effective Drag Area*) – эффективная площадь сопротивления. Сравним исследуемые антенны по критерию *EDA* (табл. 2).

Таблица 2

(3)

Антенна	C _x	Ширина проекции <i>b</i> , м	Высота <i>h</i> , м	Площадь проекции <i>A</i> , м ²	$EDA,$ M^2 ,
Kathrein	1,07	0,262	1,49	0,39	0,42
Tongyu	1,14	0,62	1,36	0,843	0,96
Mobi	1,0	0,399	2,0	0,798	0,80

Сравнение *EDA* антенн при угле атаки $\alpha = 180^{\circ}$ и v = 22.5 м/с

Чем выше удобообтекаемость объекта и меньше площадь проекции, тем меньше эффективная площадь сопротивления. Очевидно, что выгодной с точки зрения минимизации ветрового воздействия на опору является антенна *Kathrein*.

В заключение можно отметить, что найденные значения коэффициентов сопротивления c_x панельных антенн варьируются в широком диапазоне (достигают 3-кратного изменения) в зависимости от угла атаки ветровой нагрузки. Коэффициент поперечной силы c_y практически постоянен при выбранном диапазоне чисел Рейнольдса.

С увеличением числа Рейнольдса происходит уменьшение КЛС, а затем стабилизация у одного значения.

Наибольший полученный КЛС в исследовании $c_x = 1,16$, что в 1,2 раза меньше, чем предлагаемое значение 1,4 в СП 20 Приложение В.1.13 [1] для конструкционных профилей. Использование коэффициентов сопротивления для схожих форм может привести к переоценке или недооценке истинных ветровых нагрузок.

Возможность минимизировать ветровую нагрузку на антенную опору – ключевой фактор, помогающий операторам беспроводной связи и владельцам опор снизить стоимость аренды, обеспечивая надежность эксплуатации и качество обслуживания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 20.13330.2016. – Нагрузки и воздействия : свод правил : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 3 декабря 2016 года № 891/пр : актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85* : дата введения 2017-06-04 : [редакция от 28 января 2019 года]. – URL: http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=STR; n=21021#0494065318720567 (дата обращения : 15.03.2021). – Режим доступа : Консультант-Плюс. Законодательство. ВерсияПроф. – Текст : электронный.

 Березин, М. А. Атлас аэродинамических характеристик строительных конструкций / М. А Березин, В. В. Катюшин. – Новосибирск : Олден-Полиграфия, 2003 – 130 с. – ISBN 5-94905-002-9. – Текст : непосредственный.

3. Петров, К. П. Аэродинамика тел простейших форм / К. П. Петров. – Москва : Факториал, 1998. – 432 с. – ISBN 5-88688-014-3. – Текст : непосредственный.

4. Ferris, M. Wind Loading On Base Station Antennas / M. Ferris. – URL: https://www. cosconor.fr/GSM/Divers/Equipment/Andrew/White%20papers/Wind%20loading.pdf (date of treatment: 01.11.2021).

5. Wind Load Test and Calculation of the Base Station Antenna. – URL: https://carrier. huawei.com/~/media/CNBGV2/download/products/wireless-network/antenna/White-Paper-for-



the-Wind-Load-Test.pdf (date of treatment: 24.10.2021).

6. Wind load testing methodology for measuring drag coefficient of aerodynamically efficient base station antenna profiles. – URL: https://www.surfboard.com/globalassets/ digizuite/3502-wind-load-testing-for aerodynamically-efficient-bsa-wp-112534-en.pdf (date of treatment: 27.10.2021).

7. Алямовский, А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation : монография / А. А. Алямовский. – Москва : ДМК Пресс, 2010. – 464 с. – ISBN 978-5-94074-586-0. – Текст : непосредственный.

8. Engineering Standard: TIA-222-G. Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas : revision of TIA/EIA-222-F. – Arlington (U.S.A.) : Telecommunications Industry Association Standards and Technology Department, 2006 (date of treatment: 27.10.2021).

TRYANINA Nadezhda Yurevna, candidate of technical sciences, professor of the chair of theory of structures and technical mechanics; OBLETOV Evgeny Nikolaevich, postgraduate student, assistant of the chair of theory of structures and technical mechanics; SAMOKHVALOV Ivan Aleksandrovich, senior teacher of the chair of building structures

AERODYNAMIC IMPACT ON PANEL ANTENNAS OF BASE STATIONS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering 65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96; e-mail: tstm@nngasu.ru; evg.obletov@gmail.com *Key words:* panel antenna, wind flow, drag coefficient, Reynolds number, effective drag area.

The article presents the results of a numerical study of the influence of the angle of attack of the wind load and the Reynolds number (Re) on the change in the aerodynamic characteristics of panel antennas. Comparison of the standard and proposed values of the drag coefficient is carried out. A technique is proposed to minimize the wind effect on the support by selecting antennas with good streamlining.

REFERENCES

1. SP 20.13330.2016. Nagruzki i vozdeystviya [Loads and impacts] : svod pravil : izdanie ofitsialnoe : utverzhdyon i vvedyon v deystvie Prikazom Ministerstva stroitelstva i zhilischnokommunalnogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii ot 3 dekabrya 2016 roda № 891/ pr : data vvedeniya 2017-06-04 : aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.01.07-85*: [red. ot 28 yanvarya 2019 goda]. – URL: http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;bas e=STR;n=21021#0494065318720567 (data obrascheniya : 15.03.2021). – Rezhim dostupa : KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf.

2. Berezin M. A., Katyushin V. V. Atlas aerodinamicheskikh kharakteristik stroitelnykh konstruktsiy [Atlas of aerodynamic characteristics of building structures]. Novosibirsk: Olden-Poligrafiya, 2003. – 130 p. ISBN 5-94905-002-9.

3. Petrov K. P. Aerodinamika tel prosteyshikh form [Aerodynamics of bodies of the simplest forms]. Moscow : Faktorial, 1998. - 432 p. ISBN 5-88688-014-3.

4. Ferris M. Wind Loading On Base Station Antennas / M. Ferris, Andrew Solutions CommScope [Electronic resource]. – URL: https://www.cosconor.fr/GSM/Divers/Equipment/Andrew/White%20papers/Wind%20loading.pdf (date of treatment: 01.11.2021).

5. Wind Load Test and Calculation of the Base Station Antenna. – URL: https://carrier. huawei.com/~/media/CNBGV2/download/products/wireless-network/antenna/White-Paper-for-the-Wind-Load-Test.pdf (date of treatment: 24.10.2021).

6. Wind load testing methodology for measuring drag coefficient of aerodynamically



efficient base station antenna profiles. – URL: https://www.surfboard.com/globalassets/ digizuite/3502-wind-load-testing-for aerodynamically-efficient-bsa-wp-112534-en.pdf (date of treatment: 27.10.2021).

7. Alyamovsky A. A. Inzhenernye raschyoty v SolidWorks Simulation [Engineering calculations in the SolidWorks Simulation]: monogr. Moscow: DMK Press, 2010, 464 p. ISBN 978-5-94074-586-0.

8. Engineering Standard: TIA-222-G. Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas. Revision of TIA/EIA-222-F. – Arlington (U.S.A.): Telecommunications Industry Association Standards and Technology Department, 2006 (date of treatment: 27.10.2021).

© Н. Ю. Трянина, Е. Н. Облетов, И. А. Самохвалов, 2022

Получено: 25.11.2021 г.

УДК 69.059.2:726.5(470.341-25)

Ю. С. ГРИГОРЬЕВ, канд. техн. наук, проф. кафедры архитектуры; В. В. ФАТЕЕВ, ст. преп. кафедры архитектуры

ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ ЦЕРКВИ РОЖДЕСТВА ИОАННА ПРЕДТЕЧИ В НИЖНЕМ НОВГОРОДЕ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.Тел.: (831) 430-19-57; эл. почта: yus-gri@rambler.ru, valeriy-fateev@rambler.ru

Ключевые слова: здание церкви, строительные конструкции, реконструкция, ретроспективный анализ.

Приведены результаты обследований строительных конструкций и результаты ретроспективного анализа процесса реконструкции здания церкви Рождества Иоанна Предтечи в Нижнем Новгороде.

Обследование здания церкви Рождества Иоанна Предтечи, расположенной у площади Народного Единства, на подножии Кремлевского склона в Нижнем Новгороде (рис. 1–4), было выполнено авторами в 2002 году в связи с решением о необходимости проведения комплексных работ по восстановлению архитектурного ансамбля церкви, получившего с течением времени значительные повреждения в результате природных и антропогенных воздействий [1, 2].

Первоначально на этом месте была построена деревянная церковь, первые упоминания о которой относятся к XV веку. В 1683 году, вместо сгоревшей деревянной церкви, был выстроен новый 5-главый каменный храм, с алтарем, трапезной и колокольней, а в 1815 году (спустя 132 года) к стенам северного фасада был пристроен вытянутый вдоль здания каменный двухэтажный объем, в нижней части которого располагались торговые лавки, сдававшиеся в аренду, а в верхней части размещался Святодуховской каменный придельный храм. В 1883 году по «высочайшему повелению» Николая I придельный храм снесли, и вместо него над торговыми лавками устроили террасу (рис. 4, 5).