



УДК 624.042.41:624.014:624.97

Ю. Д. МАРКИНА, канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики; Н. А. РОССОВА, студент; А. В. ДОРОНОВА, студент; В. А. БЕЛОВА, студент

ВЛИЯНИЕ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ ОТ НАРУЖНЫХ КОММУНИКАЦИЙ НА РАБОТУ ТРУБЧАТЫХ ОПОР

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-54-96; эл. почта: tstm@nngasu.ru, poluektoff@bk.ru

Ключевые слова: детализация расчетной модели, схема передачи нагрузок, технологическое оборудование, НДС, ветровая нагрузка, столбы, опоры двойного назначения, фидерные трассы, МКЭ.

В статье рассматривается влияние ветровой нагрузки от наружных коммуникаций на работу трубчатых опор. Для сплошностенчатых антенно-мачтовых сооружений кабели могут прокладываться либо внутри несущего ствола, либо снаружи – по лестнице, кабельросту или кабельным полкам. При внутренней прокладке кабели создают дополнительную весовую нагрузку, но не формируют ветровую нагрузку; при наружной прокладке они становятся протяженным обдуваемым элементом и создают дополнительную ветровую нагрузку. Исследование выполнено методом конечных элементов в ПК SCAD Office на примере трех эксплуатируемых опор. Для каждого объекта рассмотрены два расчетных варианта: с учетом и без учета ветра от наружной кабельной трассы при сохранении массы кабелей. Выполнено сопоставление горизонтальных перемещений, изгибающих моментов, продольных сил и опорных реакций. Показано, что ветровая нагрузка от кабельных трасс практически не влияет на осевую работу ствола, но существенно увеличивает параметры, связанные с поперечным изгибом. Доказано, что наружные кабельные трассы должны учитываться при проверочных расчетах как самостоятельный источник распределенной ветровой нагрузки, а размещение кабелей внутри несущего ствола может существенно снизить ветровую нагрузку на сооружение и уменьшить расчетные перемещения, изгибающие моменты и горизонтальные реакции основания.

Введение

Антенно-мачтовые сооружения (АМС) входят в широкий класс конструкций, у которых высота существенно превышает размеры в плане. По характеру статической работы к АМС относятся башни и столбы, работающие как консольные системы, мачты с оттяжками, в которых ствол опирается на систему гибких связей [1–3]. По конструктивному решению АМС могут быть решетчатыми, сплошностенчатыми и комбинированными [4, 5]. Широко применяются опоры двойного назначения круглого сечения, предназначенные для совместного размещения оборудования связи, освещения, видеонаблюдения и других инженерных систем [6–8]. Они имеют ряд эксплуатационных преимуществ: компактность в плане, возможность размещения в плотной городской застройке, технологичность изготовления из трубчатых секций, сравнительно высокую коррозионную стойкость замкнутых сечений и удобство компоновки оборудования [9–11].

В процессе эксплуатации антенно-мачтовые сооружения регулярно модернизируются: изменяется состав оборудования, прокладываются новые кабельные линии [12, 13]. Кабели могут размещаться внутри несущего ствола и снаружи: по лестнице, кабельросту или кабельным полкам. В первом случае они учитываются как весовая нагрузка, но не увеличивают наружную ветровую поверхность. Во втором случае кабельная трасса становится протяженным обдуваемым элементом и передает на опору дополнительную распределенную ветровую нагрузку. В инженерной практике эта составляющая может восприниматься как второстепенная, особенно по сравнению с ветровой нагрузкой на несущий ствол, антенны и радиомодули, но ее приложение по значительной части высоты способно влиять на перемещения, изгибающие моменты и реакции основания.

Действующие нормативные документы задают общий порядок определения ветровой нагрузки на строительные конструкции и отдельные конструктивные элементы [14–16]. Специализированная расчетная зависимость для наружных кабельных трасс в нормативной методике не выделена. Детальное аэродинамическое моделирование каждой эксплуатируемой опоры с фактическим набором кабелей, лестниц, площадок, кабельростов и оборудования затруднительно для массовых поверочных расчетов по трудоемкости. Поэтому для инженерной практики актуальна оценка того, насколько существенным является влияние наружных кабельных трасс при использовании воспроизводимого упрощенного способа задания их ветровой нагрузки.

Целью работы является оценка влияния ветровой нагрузки от наружных кабельных трасс на напряженно-деформированное состояние сплошностенчатых антенно-мачтовых сооружений.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Рассмотрены три эксплуатируемых сплошностенчатых антенно-мачтовых сооружения, различающиеся конструктивной схемой, высотой, материалом ствола и составом верхних надстроек.
2. Для каждого объекта сформированы два расчетных варианта: с учетом ветровой нагрузки от наружной кабельной трассы и без учета этой составляющей при сохранении массы кабелей.
3. Выполнен сбор ветровой нагрузки от кабельных трасс по высотным участкам.
4. Проведено сопоставление расчетных параметров: горизонтальных перемещений, изгибающих моментов, продольных сил и опорных реакций.
5. Выявлены параметры, наиболее чувствительные к наружному размещению кабелей, сформулированы рекомендации по учету кабельных трасс в поверочных расчетах сплошностенчатых АМС.

Методы исследования

В качестве расчетной базы исследования приняты три сплошностенчатых антенно-мачтовых сооружения. Первый объект С1 (рис. 1а цв. вклейки) – металлический столб общей высотой 31,935 м, расположенный в Московской области. Несущий ствол выполнен в виде цилиндрической оболочки из трубы $\varnothing 820 \times 10$ до отметки +27,875 м; выше расположена призматическая часть с технологическими площадками и трубостойками. Крепление кабелей выполнено на клэмпах к кабельросту тетивы лестницы-стремянки. Второй объект С2 (рис. 1б цв. вклейки) – железобетонная коническая опора с металлической



надстройкой, расположенная в Ивановской области. Железобетонная стойка принята по ГОСТ 22687.1-85 как СК26.1-1.1, надстройка выполнена в виде треугольной призматической металлической конструкции; кабели закреплены к элементам кабельроста. Третий объект С3 (рис. 1 в цв. вклейки) – металлический столб высотой 34,0 м, расположенный в Калужской области. Стойка состоит из трех цилиндрических секций труб $\varnothing 530 \times 10$, $\varnothing 426 \times 10$ и $\varnothing 377 \times 10$, над ней размещена четырехгранная решетчатая надстройка. Кабели закреплены к кабельным полкам, предусмотренным на тетиве лестницы-стремянки (рис. 2 в цв. вклейки).

Расчетные модели объектов (рис. 1, рис. 3 в цв. вклейки) сформированы в ПК *SCAD Office* в виде пространственных стержневых статически неопределимых систем. Несущие элементы стволов, металлических надстроек, площадок, лестниц и вспомогательных конструкций моделировались стержневыми конечными элементами типа 5. Для каждого объекта были сформированы два расчетных варианта:

1. Фактическая эксплуатационная схема, при которой кабельные трассы расположены снаружи ствола и создают дополнительную ветровую нагрузку;

2. Условная схема, соответствующая прокладке кабелей внутри несущего ствола, при которой дополнительная наружная ветровая нагрузка от кабельной трассы не учитывается.

Для каждого объекта были сохранены одинаковые геометрические параметры, жесткостные характеристики, крепления и состав основных нагрузок, различался только способ учета ветрового воздействия от кабельной трассы, что позволяет выделить именно аэродинамическое влияние наружной кабельной трассы, не смешивая его с влиянием других параметров. Расчетные параметры опор сведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные параметры объектов исследования

	С1	С2	С3
Расположение	Московская область	Ивановская область	Калужская область
Ветровой район	I	I	I
Тип местности	B	B	B
Гололедный район	II	II	II
Вес конструкции, кгс	7112	6723	4717
Вес оборудования, кгс	1174	896	610
Суммарная ветровая нагрузка (при внешней кабельной трассе), кгс	1284	868	750
Ветровая нагрузка от кабельной трассы, кгс	369 (29 % от суммарной ветровой нагрузки)	232 (27 % от суммарной ветровой нагрузки)	139 (19 % от суммарной ветровой нагрузки)
Количество узлов в расчетной схеме	55	153	155
Количество элементов в расчетной схеме	72	235	264

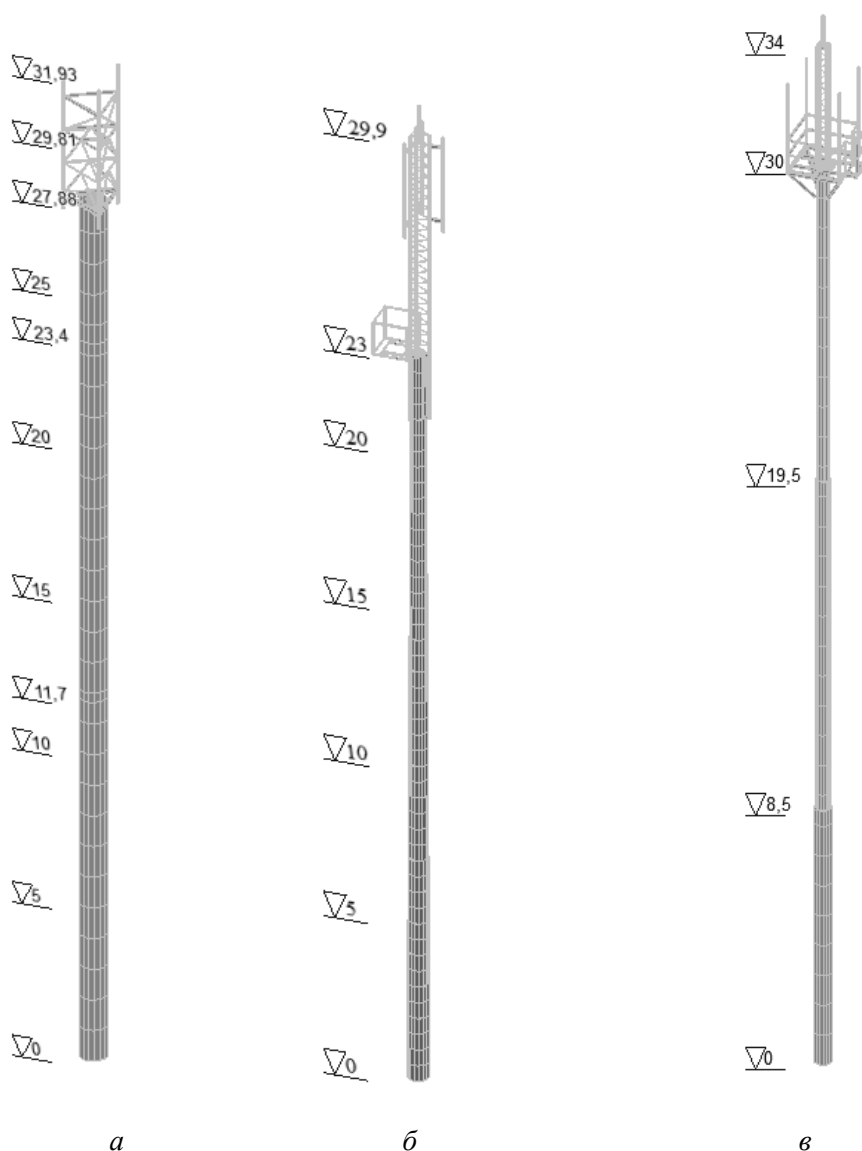


Рис. 1. Расчетные модели объектов исследования: а – С1; б – С2; в – С3

Сбор нагрузок выполнялся отдельно по основным группам воздействий: собственный вес несущих и вспомогательных конструкций; вес антенн и радиоблоков, кабелей, креплений; статическая и пульсационная составляющие ветровой нагрузки на ствол опоры; статическая и пульсационная составляющие ветровой нагрузки на площадки, ограждения, лестницы, кабельрост и кабельные трассы; статическая и пульсационная составляющие ветровой нагрузки на антенны и радиомодули; гололедная нагрузка. Собственный вес конструкций учитывался распределенной массой элементов расчетной схемы. Вес оборудования задавался в соответствии с отметками размещения и схемой передачи нагрузки на несущий ствол. Все нагрузки рассчитывались в соответствии с СП 20.13330.2016 «Свод правил. Нагрузки и воздействия».

Статическая составляющая ветровой нагрузки от кабельроста и кабельной трассы (табл. 2) определялась по зависимости, основанной на нормативном определении средней составляющей ветрового воздействия по СП 20.13330.2016:

**К СТАТЬЕ Ю. Д. МАРКИНОЙ, Н. А. РОССОВОЙ,
А. В. ДОРОНОВОЙ, В. А. БЕЛОВОЙ «ВЛИЯНИЕ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ ОТ
НАРУЖНЫХ КОММУНИКАЦИЙ НА РАБОТУ ТРУБЧАТЫХ ОПОР»**



Рис. 1. Общий вид объектов исследования: *а* – С1; *б* – С2; *в* – С3



Рис. 2. Общий вид кабельной трассы на опоре С3

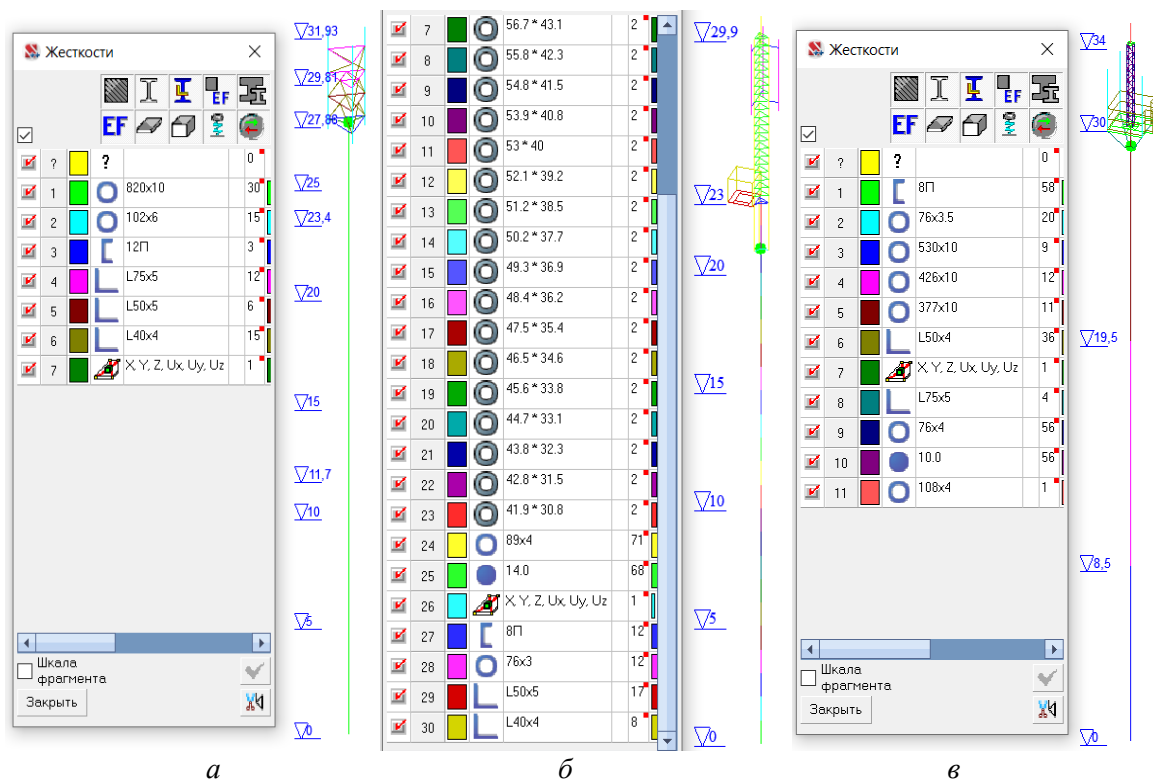


Рис. 3. Расчетные схемы опор с жесткостными характеристиками: а – С1; б – С2; в – С3

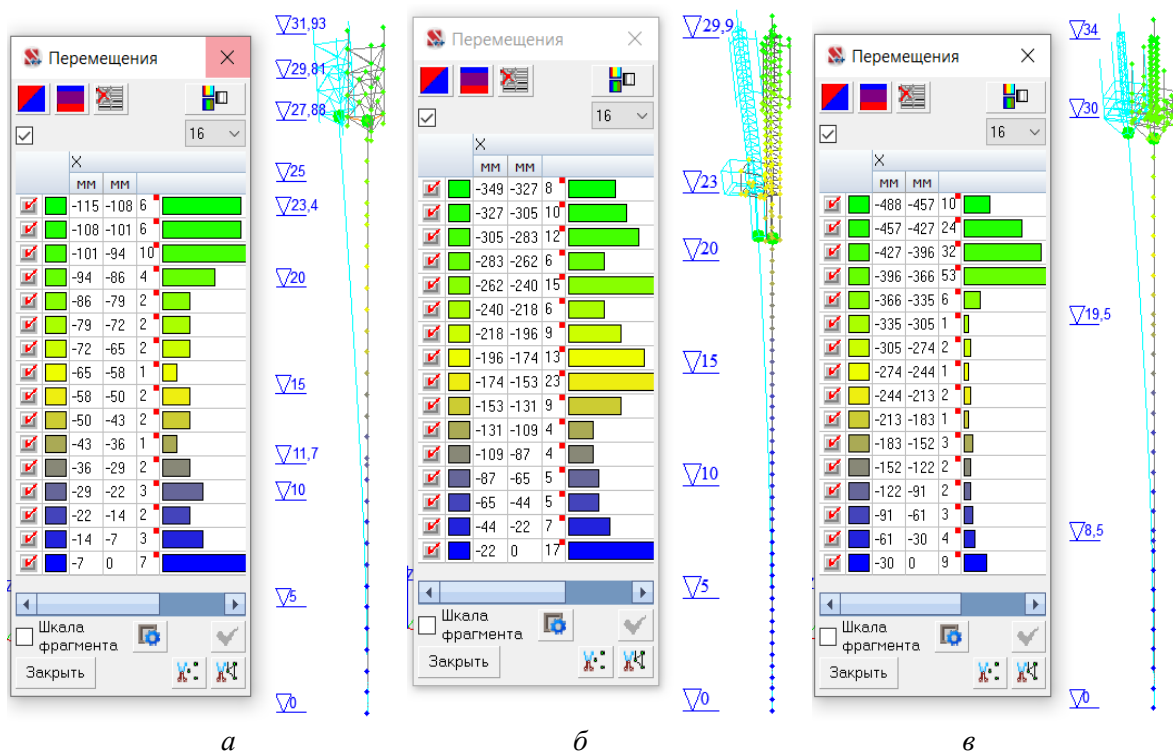


Рис. 4. Перемещения опор от нормативной комбинации нагрузок при наружной прокладке кабелей: а – С1; б – С2; в – С3



$$W_k = \gamma_f \cdot W_0 \cdot c_k \cdot d_k \cdot k(z_e);$$

где γ_f – коэффициент надежности на ветровую нагрузку;

W_0 – нормативное значение ветрового давления;

c_k – аэродинамический коэффициент элементов кабельной трассы;

d_k – условный габарит элементов кабельной трассы;

$k(z_e)$ – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте;

z_e – высота расположения середины участка элементов кабельной трассы над поверхностью земли.

Таблица 2

Ветровая нагрузка от кабельроста и кабелей

C1		C2		C3	
z_e , м	W_k , кгс/м	z_e , м	W_k , кгс/м	z_e , м	W_k , кгс/м
2,50	8,86	2,5	6,68	2,50	3,15
7,50	10,19	7,5	7,69	7,50	3,62
12,50	12,41	12,5	9,36	12,50	4,41
17,50	14,18	17,5	10,69	17,50	5,04
22,50	15,62	21,7	11,64	22,50	5,55
27,88	10,46	25,7	6,16	27,50	5,95

В формуле использовано приведение к эквивалентной ветровой поверхности через условный габарит и коэффициент затенения, что соответствует расчетной практике определения средней составляющей ветрового воздействия от вспомогательных элементов, т. к. специализированная зависимость для кабельных трасс в СП 20.13330.2016 не выделена. Принятая расчетная процедура не заменяет аэродинамический эксперимент или *CFD*-моделирование, но применяется для поверочных расчетов эксплуатируемых опор.

Пульсационная составляющая ветровой нагрузки учитывалась средствами ПК *SCAD Office* при задании динамического ветрового нагружения, при формировании масс для динамического расчета вес конструкций и навесного оборудования автоматически приводился к дискретным узловым массам расчетной схемы.

Сравнение расчетных вариантов выполнялось по четырем группам параметров:

1. Горизонтальные перемещения узлов по высоте сооружения;
2. Изгибающие моменты в элементах ствола;
3. Продольные усилия в элементах ствола;
4. Опорные реакции.

Для количественной оценки влияния наружной кабельной трассы использовалось относительное отклонение расчетного параметра между двумя вариантами нагружения:

$$\delta X = \frac{X_{\text{с каб}} - X_{\text{без каб}}}{X_{\text{без каб}}} \cdot 100\%;$$

где $X_{\text{с каб}}$ – значение расчетного параметра при наружном расположении кабельной трассы;

$X_{\text{без каб}}$ – значение того же параметра при внутреннем расположении кабельной трассы.

Результаты

Сравнение двух расчетных вариантов показало, что наружная кабельная трасса влияет на работу сплошностенчатых опор неравномерно: эффект практически не проявляется в продольных силах, но отражается на параметрах, связанных с поперечным изгибом. Это связано с постановкой расчета: масса кабелей сохранялась в обоих вариантах, а ветровая составляющая изменялась в соответствии с их расположением.

Наиболее чувствительным расчетным параметром к изменению ветровой нагрузки являются горизонтальные перемещения (рис. 2, рис. 4 цв. вклейки, табл. 3). Учет ветровой нагрузки от наружной кабельной трассы приводит к увеличению перемещений для всех трех объектов. Для С1 отклонение по высоте находится в диапазоне 27–31 %, для С2 – 15–25 %, для С3 – 12–16 %. Характер изменения перемещений по высоте остается близким для двух расчетных вариантов. Горизонтальное перемещение вершины является наиболее наглядным показателем эксплуатационной жесткости. Полученный результат имеет большое значение для расчета сплошностенчатых опор по второй группе предельных состояний.

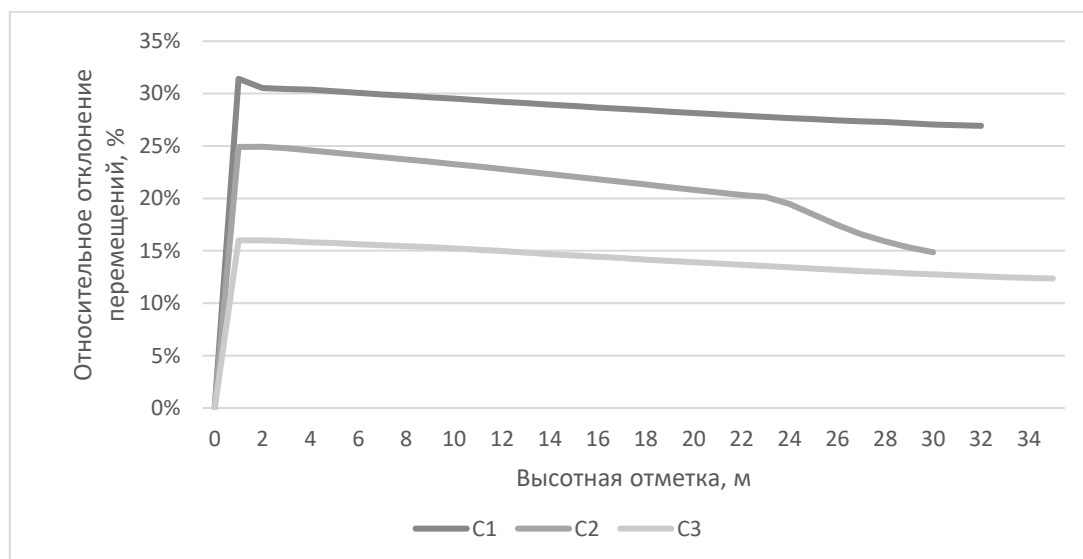


Рис. 2. Относительные отклонения перемещений

Изменение относительных отклонений по высоте связано со схемой прокладки кабелей. Кабельные линии заканчиваются на отметках размещения оборудования, поэтому выше этих уровней уменьшается приведенная ветровая поверхность кабельной трассы. По этой причине вклад наружных кабелей в горизонтальные перемещения снижается к верхним отметкам, несмотря на рост коэффициента ветрового давления по высоте. Различия между объектами в большей степени определяются долей кабельной составляющей в общей ветровой нагрузке, чем конструктивной схемой опоры. Для С1 получен наибольший эффект, поскольку ветровая нагрузка от кабелей составляет максимальную долю от суммарного ветрового воздействия. Для С2 влияние также выражено, но распределяется по высоте менее равномерно из-за сочетания сплошностенчатого



ствола и металлической надстройки. Для С3 относительный прирост меньше, что соответствует меньшей доле ветровой нагрузки от кабельной трассы.

Продольные силы в элементах при снижении ветровой нагрузки практически не меняются (рис. 3, табл. 3). Для С1 продольные усилия в двух вариантах расчета совпадают. Для С2 различие не превышает десятых долей процента, а для С3 – примерно 0,6 % в наиболее чувствительной точке. Исключение ветровой горизонтальной составляющей от кабелей не меняет осевую работу ствола, поскольку вертикальные нагрузки одинаковы в обоих расчетных вариантах. Небольшие отличия, зафиксированные для С2 и С3, скорее всего являются следствием пространственного перераспределения усилий в расчетной схеме.

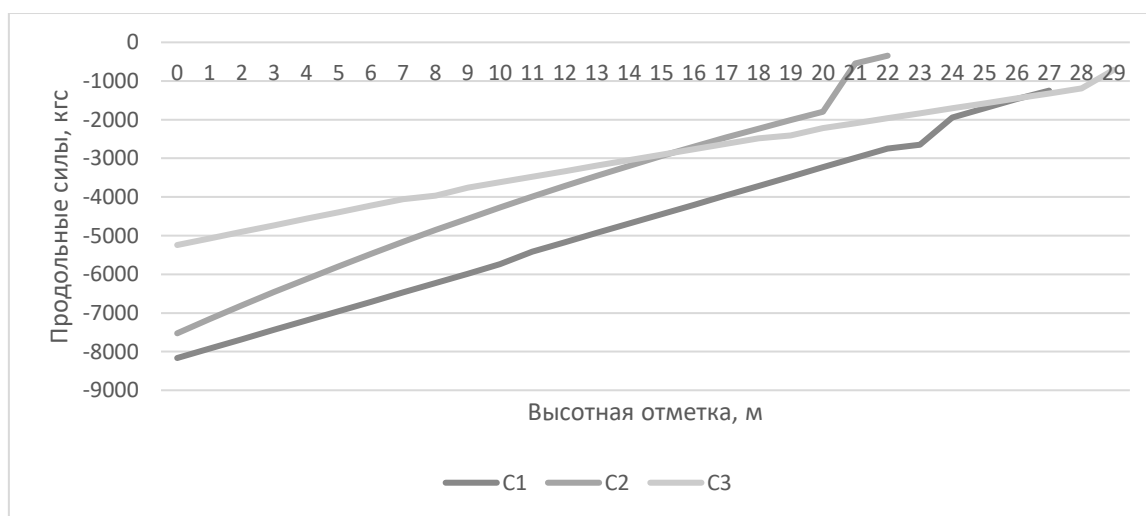


Рис. 3. Продольные силы в элементах ствола

Отклонение моментов (рис. 4, табл. 3) составляет 20–30 % для С1, 12–22 % для С2 и 7–15 % для С3. Наибольший прирост моментов формируется в нижней части сооружений, что соответствует консольной работе опор – даже умеренная по величине погонная нагрузка от наружной кабельной трассы дает заметный вклад в основание за счет плеча относительно закрепления.

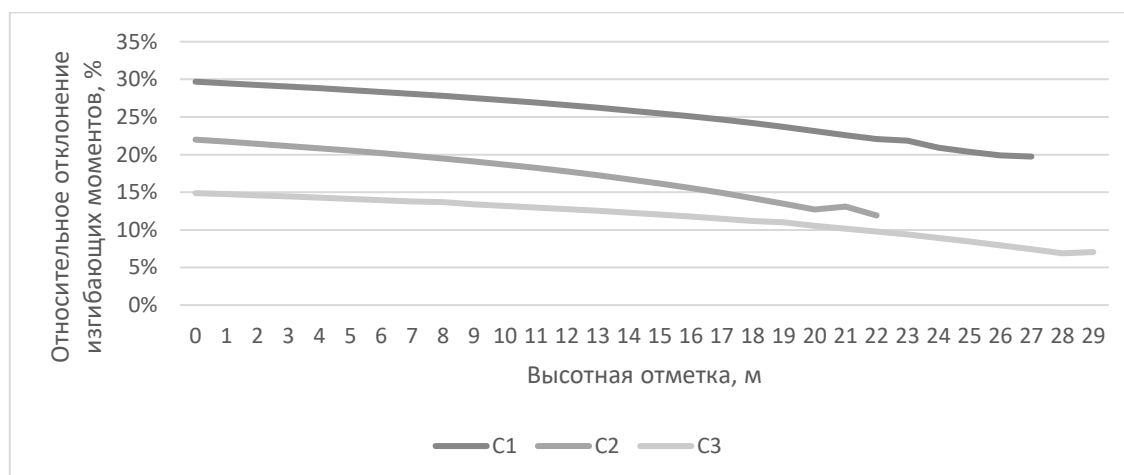


Рис. 4. Относительные отклонения изгибающих моментов в элементах ствола



Сопоставление опорных реакций подтверждает характер влияния наружной кабельной трассы (табл. 3). Для всех трех объектов при учете ветра на кабели горизонтальная реакция и опорный изгибающий момент увеличиваются, вертикальная реакция не изменяется.

Таблица 3

Результаты расчета объектов исследования

Параметр	С1			С2			С3		
	С учетом ветра от кабелей	Без учета ветра от кабелей	Относительное отклонение	С учетом ветра от кабелей	Без учета ветра от кабелей	Относительное отклонение	С учетом ветра от кабелей	Без учета ветра от кабелей	Относительное отклонение
Максимальное горизонтальное перемещение, мм	115	91	27%	349	304	15%	488	434	12%
Максимальный изгибающий момент, кгс*м	52564	40530	30%	33160	27183	22%	32652	28424	15%
Максимальная продольная сила (сжатие), кгс	8165	8165	0%	7527	7527	0%	5242	5242	0%
Опорные реакции									
R_X , кгс	2554	1898	35%	1699	1332	22%	1417	1196	16%
R_Z , кгс	8408	8408	0%	7711	7711	0%	5412	5412	0%
R_{UY} , кгс*м	55102	42419	30%	34007	27848	18%	34061	29615	13%

Полученные данные подтверждают, что наружная кабельная трасса должна рассматриваться в поперечном расчете как самостоятельный источник распределенной ветровой нагрузки. Значительный прирост изгибающих моментов и горизонтальных реакций показывает не только важность учета кабелей, но и чувствительность результатов к принятой расчетной идеализации ветровой нагрузки. Для рассмотренных объектов доля ветровой нагрузки от кабельной трассы составляет 19–29 % от суммарной ветровой нагрузки, прирост максимальных горизонтальных перемещений достигает 16–31 %, прирост максимальных изгибающих моментов – 15–30 %, горизонтальных реакций основания – 16–35 %. Сопоставимость по порядку величины позволяет использовать долю кабельной нагрузки как предварительный индикатор влияния (но не как универсальную расчетную зависимость).

Выводы

1. Установлено, что влияние наружных кабельных трасс носит избирательный характер. Продольные силы и вертикальные реакции практически не меняются, перемещения, изгибающие моменты и горизонтальные реакции основания существенно возрастают.

2. Прирост расчетных параметров, связанных с изгибом, по порядку величины сопоставим с долей ветровой нагрузки от кабелей в суммарной ветровой нагрузке объекта. Но на окончательный результат влияют не только



суммарная величина кабельной нагрузки, но и распределение кабелей по высоте, конструктивная схема и жесткость опоры, наличие надстроек.

3. Новизна работы состоит в отдельной оценке весового и аэродинамического влияния кабельных трасс на расчетную работу сплошностенчатых опор. Показано, что при сохранении массы кабелей их наружное расположение формирует значимый расчетный эффект.

4. Теоретическая значимость результатов заключается в уточнении расчетного представления о работе сплошностенчатой опоры с протяженными навесными элементами. Подтверждено, что такие элементы изменяют систему усилий неравномерно.

5. Практическая значимость работы состоит в обосновании необходимости корректного учета ветровой нагрузки от наружных кабельных трасс при поверочных расчетах эксплуатируемых АМС. Исключение или некорректный учет этой нагрузки может привести к занижению перемещений, изгибающих моментов, горизонтальных реакций и нагрузок, передаваемых на фундамент, фланцевые и анкерные соединения, особенно для опор с высокой гибкостью, массивным и протяженным кабельростом.

6. Внутренняя прокладка кабелей является более благоприятным конструктивным решением с точки зрения аэродинамической нагруженности (другие параметры не анализировались).

7. Значительный прирост перемещений, изгибающих моментов и горизонтальных реакций показывает высокую чувствительность поверочного расчета к принятому способу задания ветровой нагрузки от кабелей. Это указывает на необходимость дальнейших проверок и уточнения инженерной методики расчета наружных навесных элементов, включая выбор или замену приведенного габарита, аэродинамического коэффициента и коэффициентов затенения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савицкий, Г. А. Расчет антенных сооружений. Физические основы / Г. А. Савицкий. – Москва : Связь, 1978. – 152 с.
2. Research on wind load characteristics on the surface of a towering precast television tower with a grid structure based on Large Eddy Simulation / Wu P., Chen G., Feng R., He F. // Buildings. – 2022. – Vol. 12, No. 9. – Article 1428. – DOI: 10.3390/buildings12091428.
3. Симиу, Э. Воздействие ветра на здания и сооружения / Э. Симиу, Р. Сканлан ; под ред. Б. Е. Маслова. – Москва : Строиздат, 1984. – 360 с.
4. Анализ и совершенствование конструкций стальных решетчатых башен: обзор / Е. Н. Облетов, Н. Ю. Трянина, Е. С. Зубанов, М. Г. Зайцева // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2025. – № 2 (74). – С. 75–93.
5. Wind loads on square lattice towers with tubular members based on wind tunnel test and numerical simulation / Liu M., Wu S., Guan W., Zhang C., Xie Z. // Physics of Fluids. – 2024. – Vol. 36, No. 12. – Article 127129. – DOI: 10.1063/5.0243306.
6. Белаш, Т. А. Моделирование ветровой нагрузки для анализа аэродинамики опор двойного назначения с антеннами, установленными на них / Т. А. Белаш, Р. Р. Сафин // Вестник НИЦ Строительство. – 2024. – № 2 (41). – С. 18–28.
7. Новиков, М. Ю. Антенно-мачтовые сооружения сотовой связи: типы опор и основные принципы проектирования металлоконструкций / М. Ю. Новиков,



К. Ю. Ананин, Н. Л. Тарануха // Молодежный вестник ИРГТУ. – 2024. – Т. 14, № 4. С. 555–560.

8. Topology optimization of cracked structures using peridynamics / Kefal A., Sohoul A., Oterkus E., Yildiz M., Suleman A. // *Continuum Mechanics and Thermodynamics*. – 2019. – Vol. 31. – P. 1645–1666. – DOI: 10.1007/s00161-019-00804-w.

9. Qin, P. Aerodynamic analysis of the top structure of a monopole telecommunication tower: Impact of wind directions and diameters of the hexadecagonal tube body 9 / Qin, P., Zhou Z. // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. – 2022. – Vol. 224. – Article 104946. – DOI: 10.1016/j.jweia.2022.104946.

10. Metamodel simulation for designing monopole telecommunication antenna support structures / Sánchez-Guerrero J. H., Lagos-Zamora C. D., Peña-Jordán F. A., Arroba-Aroba C. H. // *DYNA*. – 2023. – Vol. 90, No. 225. – P. 140–146. – DOI: 10.15446/dyna.v90n225.103922.

11. Monopole communication towers strengthened by fiber-reinforced polymer: Experiment, theoretical analysis and implementation / Gao H., Lei X., An B., Gao Y., Liu H. // *Structures*. – 2024. – Vol. 70. – Article 107779. DOI: 10.1016/j.istruc.2024.107779.

12. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – Москва : Строиздат, 1978. – 216 с.

13. Маркина, Ю. Д. Влияние расположения технологического оборудования на результаты расчета цифровой модели башни сотовой связи / Ю. Д. Маркина // *Омский научный вестник*. – 2025. – № 4 (196). – С. 26–34. – DOI: 10.25206/1813-8225-2025-196-26-34.

14. Маркина, Ю. Д. Расчетные направления ветра при экспертизе несущей способности трехгранных антенно-мачтовых сооружений / Ю. Д. Маркина // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. – 2025. – Т. 21, № 4. – С. 334–345. – DOI: 10.22363/1815-5235-2025-21-4-334-345. – EDN: CIVXMF.

15. Маркина, Ю. Д. Цифровая автоматизация учета ветровых нагрузок на вспомогательные элементы антенно-мачтовых сооружений / Ю. Д. Маркина // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. – 2026. – Т. 26, № 2. – С. 68–76. – DOI: 10.14529/build260209.

16. Маркина, Ю. Д. Автоматизация сбора статической составляющей ветровой нагрузки на решетчатую башню / Ю. Д. Маркина // *Вестник компьютерных и информационных технологий*. – 2025. – Т. 22, № 9. – С. 23–30. – DOI: 10.14489/vkit.2025.09.pp.023-030.

MARKINA Yuliya Dmitrievna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics; ROSSOVA Natalya Alekseevna, student; DORONOVA Anastasia Vadimovna, student; BELOVA Victoria Aleksandrovna, student

INFLUENCE OF WIND LOAD FROM EXTERNAL UTILITIES ON THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF TUBULAR SUPPORTS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: (831) 430-54-96; e-mail: tstm@nngasu.ru, poluektoff@bk.ru

Key words: detailing of the calculation scheme, load transfer scheme, technological equipment, stress-strain state, wind load, poles, dual-purpose poles, feeder routes, finite element method.



The paper considers the influence of wind load from external cable routes on the structural behavior of solid-walled antenna-supporting structures. In such structures, cables may be routed either inside the load-bearing shaft or externally along a ladder, cable support system, or cable shelves. Internal routing preserves the weight load from the cables but does not increase the external wind-exposed surface. External routing, in contrast, forms an additional elongated wind-exposed element and introduces a distributed transverse load along the height of the structure. The study was carried out using the finite element method in SCAD Office software for three existing communication poles. For each structure, two load cases were analyzed: with wind load from the external cable route and without this component, while the cable weight was retained in both cases. Horizontal displacements, bending moments, axial forces, and support reactions were compared. The results show that wind load from external cable routes has almost no effect on the axial behavior of the shaft, but significantly affects the parameters associated with transverse bending. The maximum horizontal displacements increased by 16–31%, bending moments by 15–30%, and horizontal support reactions by 16–26%. It is shown that external cable routes should be considered in verification analyses of solid-walled antenna-supporting structures as an independent source of distributed wind load.

REFERENCES

1. Savitskiy G. A. Raschet antennoykh sooruzheniy. Fizicheskie osnovy [Calculation of antenna structures. Physical foundations]. Moscow, Svyaz, 1978, 152 p.
2. Wu P., Chen G., Feng R., He F. Research on wind load characteristics on the surface of a towering precast television tower with a grid structure based on Large Eddy Simulation. Buildings, 2022, Vol. 12, No. 9, Article 1428. DOI: 10.3390/buildings12091428.
3. Simiu E., Scanlan R. Vozdeystvie vetra na zdaniya i sooruzheniya [Wind effects on buildings and structures]; pod red. B. E. Maslova. Moscow, Stroyizdat, 1984, 360 p.
4. Obletov E. N., Tryanina N. Yu., Zubanov E. S., Zaytseva M. G. Analiz i sovershenstvovanie konstruktsiy stalnykh reshetchatykh bashen: obzor [Analysis and improvement of steel lattice tower structures: a review]. Privolzhskiy nauchnyy zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorodskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. Nizhny Novgorod, 2025, № 2 (74), P. 75–93.
5. Liu M., Wu S., Guan W., Zhang C., Xie Z. Wind loads on square lattice towers with tubular members based on wind tunnel test and numerical simulation. Physics of Fluids, 2024, Vol. 36, No. 12, Article 127129. DOI: 10.1063/5.0243306.
6. Belash T. A., Safin R. R. Modelirovanie vetrovoy nagruzki dlya analiza aerodinamiki opor dvoynogo naznacheniya s antennami, ustavlennymi na nikh [Modeling of wind load for aerodynamic analysis of dual-purpose supports with antennas mounted on them]. Vestnik NITs Stroitelstvo [Bulletin of the Research Institute of Construction]. Moscow, 2024, № 2 (41), P. 18–28.
7. Novikov M. Yu., Ananin K. Yu., Taranukha N. L. Antenno-machtovye sooruzheniya sotovoy svyazi: tipy opor i osnovnye printsipy proektirovaniya metallokonstruktsiy [Cellular communication antenna-mast structures: types of supports and basic principles of metal structure design]. Molodezhnyy vestnik IRGTU [Youth Bulletin of Irkutsk State Technical University]. Irkutsk, 2024, Vol. 14, № 4, P. 555–560.
8. Kefal A., Sohoulis A., Oterkus E., Yildiz M., Suleman A. Topology optimization of cracked structures using peridynamics. Continuum Mechanics and Thermodynamics, 2019, Vol. 31, P. 1645–1666. DOI: 10.1007/s00161-019-00804-w.
9. Qin P., Zhou Z. Aerodynamic analysis of the top structure of a monopole telecommunication tower: Impact of wind directions and diameters of the hexadecagonal tube body. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2022, Vol. 224, Article 104946. DOI: 10.1016/j.jweia.2022.104946.

10. Sánchez-Guerrero J. H., Lagos-Zamora C. D., Peña-Jordán F. A., Arroba-Aroba C. H. Metamodel simulation for designing monopole telecommunication antenna support structures. *DYNA*, 2023, Vol. 90, No. 225, P. 140–146. DOI: 10.15446/dyna.v90n225.103922.
11. Gao H., Lei X., An B., Gao Y., Liu H. Monopole communication towers strengthened by fiber-reinforced polymer: Experiment, theoretical analysis and implementation. *Structures*, 2024, Vol. 70, Article 107779. DOI: 10.1016/j.istruc.2024.107779.
12. Rukovodstvo po raschetu zdaniy i sooruzheniy na deystvie vetra [Guide for calculating buildings and structures for wind action]. TsNIISK im. V.A. Kucherenko. Moscow, Stroyizdat, 1978, 216 p.
13. Markina Yu. D. Vliyanie raspolozheniya tekhnologicheskogo oborudovaniya na rezultaty rascheta tsifrovoy modeli bashni sotovoy svyazi [Influence of technological equipment location on the calculation results of a digital model of a cellular communication tower]. *Omskiy nauchny vestnik [Omsk Scientific Bulletin]*. Omsk, 2025, № 4 (196), P. 26–34. DOI: 10.25206/1813-8225-2025-196-26-34.
14. Markina Yu. D. Raschetnye napravleniya vetra pri ekspertize nesushchey sposobnosti trekhgrannykh antenno-machtovykh sooruzheniy [Calculated wind directions in the expertise of the load-bearing capacity of three-faced antenna-mast structures]. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktсий i sooruzheniy [Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings]*. Moscow, 2025, Vol. 21, № 4, P. 334–345. DOI: 10.22363/1815-5235-2025-21-4-334-345.
15. Markina Yu. D. Tsifrovaya avtomatizatsiya ucheta vetrovykh nagruzok na vspomogatelnye elementy antenno-machtovykh sooruzheniy [Digital automation of accounting for wind loads on auxiliary elements of antenna-mast structures]. *Vestnik YuUrGU. Seriya "Stroitelstvo i arkhitektura" [Bulletin of South Ural State University. Series "Construction and Architecture"]*. Chelyabinsk, 2026, Vol. 26, № 2, P. 68–76. DOI: 10.14529/build260209.
16. Markina Yu. D. Avtomatizatsiya sbora staticheskoy sostavlyayushchey vetrovoy nagruzki na reshchatuyu bashnyu [Automation of collecting the static component of wind load on a lattice tower]. *Vestnik kompyuternykh i informatsionnykh tekhnologiy [Bulletin of Computer and Information Technologies]*. Moscow, 2025, Vol. 22, № 9, P. 23–30. DOI: 10.14489/vkit.2025.09.pp.023-030.

Ю. Д. Маркина, Н. А. Россова, А. В. Доронова, В. А. Белова, 2026

Получено: 12.03.2026 г.