

УДК 621.395

DOI: 10.22213/2413-1172-2024-4-70-78

Разработка уравнения по расчету нагрузки под опорами антенной трубостойки для размещения оборудования сотовой связи

М. Ю. Новиков, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Н. Л. Тарануха, доктор экономических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В статье представлено исследование по нахождению зависимости между составом размещаемого антенного оборудования базовой станции сотовой связи с учетом высоты его подвеса и нагрузкой на кровлю под опорами проектируемых конструкций антенных трубостоек, устанавливаемых на крышах зданий. Новые стандарты телекоммуникаций, направленные на улучшение качества и скорости беспроводной связи и интернета, предполагают сгущение существующей сети, увеличение количества базовых станций сотовой связи. В городах с большой плотностью населения и густой застройкой для размещения антенного оборудования проектируются антенные трубостойки на кровле зданий. Выбор места установки конструкции осуществляется в процессе проведения изысканий при взаимодействии сотового оператора, строительной организации и арендодателя. Ввиду необходимости проверки несущих строительных конструкций крыши на предмет возможности установки трубостоек в каждом конкретном случае проектная организация выполняет поверочный расчет нагрузочной способности. При отрицательном заключении требуется повторное проведение изысканий и согласование вновь выбранной позиции. Предлагается сформированное в ходе исследования уравнение, которое при использовании исходных данных, содержащихся в техническом задании на проектирование, визуальном обследовании и ознакомлении с проектной документацией на здание, позволит определять величину нагрузок под опорой проектируемой конструкции и давать оценку возможности размещения трубостойки до выполнения расчетов в программных комплексах. Для разработки уравнения по установлению зависимостей факторов полезной нагрузки от антенного оборудования и величины усилий на кровлю здания под загруженной опорой трубостойки использован метод корреляционно-регрессионного анализа. Результаты исследования позволят повысить эффективность проведения изысканий, что сведет к минимуму риски пересогласований и уменьшит временные затраты на проектирование.

Ключевые слова: антенная трубостойка, антенное оборудование, факторы полезной нагрузки, сотовая связь, раскрыв антенны.

Введение

Обеспечение населения качественной мобильной связью и интернетом на фоне ускоренного развития технологий передачи информации является одной из приоритетных задач для сотового оператора [1–3]. В связи с ростом требований к пропускной способности каналов связи телекоммуникационные компании в зависимости от потребности в покрытии сетью и возможности размещения антенн с помощью геоинформационных систем выбирают места для установки новых базовых станций с инфраструктурой для приема и передачи радиосигнала [4, 5].

В населенных пунктах со среднеэтажной (3–5 этажей), многоэтажной (6–10 этажей), повышенной этажности (11–16 этажей) и высотной (17 и более этажей) плотной жилой застройкой при невозможности строительства отдельно стоящего антенно-мачтового сооружения (мачта, башня, столб, опора двойного назначения) базовые станции могут размещаться на существующих зданиях [6]. В этом случае применяются конструкции антенных трубостоек. Трубостойка представляет собой металлическую трубу для установки антенного оборудования. Длина трубы составляет от трех до шести метров. Для обеспечения устойчивости к середине трубы примыкают раскосы.

Имеется два основных способа установки трубостоек. Их либо навешивают на фасады/парапеты зданий с креплением к несущей стене, используя шпильки/анкеры (рис. 1), либо располагают на кровле на разгрузочной металлической раме с пригрузами (рис. 2) [7].

В обеих ситуациях размещение базовой станции происходит по согласованию с арендодателем после предоставления ему схемы расположения проектируемых конструкций на здании и комплекта проектной документации. В свою очередь, арендодатель передает проектной организации техническую документацию на строительные конструкции здания. Как при установке на стене, так и при размещении на

крыше требуется выезд проектировщиков на изыскания с представителем сотового оператора для проведения обследования состояния строительных конструкций здания и сбора необходимой информации с целью последующего выполнения поверочных расчетов на предмет возможности безаварийной эксплуатации здания после установки антенных трубостоек [8].



Рис. 1. Антенная трубостойка с креплением за наружную стену и парапет здания

Fig. 1. The antenna is pipe-resistant with attachment to the outer wall and parapet of the building



Рис. 2. Антенная трубостойка на кровле здания

Fig. 2. Antenna pipe resistance on the roof of the building

Предварительный выбор места размещения антенн на здании осуществляет заказчик – сотовый оператор, однако оно далеко не всегда становится окончательным. В случае с креплением на вертикальную поверхность стен невозможность установки антенной трубостойки в основном бывает связана с дефектами в местах расположения опор проектируемой металлоконструкции (растрескивание, намокание и/или разрушение материала стен/парапетов). Состояние конструктивных элементов здания признается аварийным либо ограниченно работоспособным без допуска на крепление к ним дополнительных конструкций. Как правило, приведенные дефекты можно оценить на месте при визуальном осмотре и осуществлении фотофиксации. Во втором случае при размещении трубостоек на крыше невозможность установки бывает сопряжена с превышением допускаемых нагрузок на сборную либо монолитную железобетонную плиту покрытия здания, чаще всего рассчитанную только на восприятие нагрузок собственного веса, веса от слоев кровли и снеговых отложений [9]. Осложняется все тем, что трубостойки с антенным оборудованием в соответствии с требованиями санитарных норм по излучению можно размещать только у края крыши, зачастую у парапетов, в зоне повышенной снеговой нагрузки [10]. Значения нагрузок на кровлю в точках опирания трубостойки с учетом веса технологического оборудования, веса конструкции и пригрузов, полной ветровой нагрузки на технологическое оборудование и конструкции трубостойки проектировщик определяет уже после изысканий в ходе выполнения расчетов. Если нагрузки на плиту покрытия превышают предельно допустимые, требуется поиск нового места размещения антенной трубостойки и повторное согласование с арендодателем и заказчиком, что увеличивает общее время, затрачиваемое на реализацию проекта. Поэтому проектировщику, целью которого является принятие наиболее эффективных решений, очень важно еще на этапе изысканий объективно производить оценку и иметь возможность дать аргументированный ответ о возможности/невозможности размещения базовой станции в предложенном месте [11, 12]. Однако сделать это, опираясь исключительно на свой опыт, не всегда реально ввиду изменения высоты размещения, состава оборудования, марок и наименований антенн на различных проектируемых базовых станциях.

Решить данную проблему возможно, имея способ оперативно при изысканиях определять

При проектировании антенных трубостоек, во-первых, в программном комплексе моделируется расчетная схема конструкции с назначением жесткостей элементов; во-вторых, определяются нагрузки на кровлю под наиболее загруженной опорой (угол с трубой 89×4) при неблагоприятном сочетании следующих видов нагрузок: постоянной нагрузки от собственного веса металлоконструкций и пригрузов трубостойки; временной длительно действующей нагрузки от веса антенного оборудования; кратковременной полной нагрузки от ветрового воздействия на элементы трубостойки и оборудование, рассчитываемой в соответствии с действующими нормами [13]. Далее полученные точечные значения нагрузок на кровлю преобразуются в распределенные (q) по площади хризотилцементного листа, затем определяется нагрузка на плиту покрытия с учетом призмы распределения нагрузок в зависимости от толщины (a) и состава кровли. Угол распределения усилий принимается 45 град (рис. 4).

Количественная оценка факторов полезной нагрузки

Произведем расчеты трубостоек в программном комплексе SCAD Office при различных

характеристиках и составе оборудования, рассмотрев диапазон высот подвеса антенн от 20 до 60 м с шагом 10 м, и определим значение нагрузок на кровлю здания под наиболее нагруженной опорой для неблагоприятного сочетания загружений и направления ветра. Каждый фактор полезной нагрузки при этом обозначим X_1 , искомый показатель – значение нагрузки на кровлю – Y . Исходные данные и результаты расчета сведены в таблицу 1.

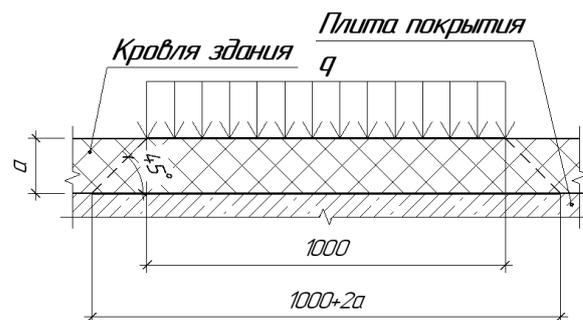


Рис. 4. Схема распределения усилий на плиту покрытия под опорой антенной трубостойки

Fig. 4. The scheme of distribution of forces on the coating plate under the support of the antenna pipe-resistant

Таблица 1. Количественные показатели факторов полезной нагрузки и соответствующие им рассчитанные значения нагрузок на кровлю здания

Table 1. Quantitative indicators of payload factors and their corresponding calculated values of loads on the roof of the building

Принятый к расчету состав антенного оборудования с габаритными размерами, мм	Значение фактора X_1 , м (высота подвеса антенны)	Значение фактора X_2 , м ² (площадь оборудования)	Значение нагрузки на кровлю здания, полученное в ходе расчета в программном комплексе, кг
Панельная антенна 1300×270; антенна РРС Ø300; радиомодули: 636×383, 351×298, 420×342	20	1,34	382,20
Панельная антенна 1400×380; антенна РРС Ø300; радиомодули: 636×383, 351×298, 420×342, 500×431	20	1,52	411,75
Панельная антенна 2080×355; антенна РРС Ø300; радиомодули: 636×383, 351×298, 420×342, 500×431	20	1,73	442,18
Панельные антенны 1400×380, 1500×450; радиомодули: 636×383, 351×298, 420×342, 500×431	20	1,91	485,08
Панельная антенна 1300×270; радиомодули: 636×383, 351×298, 420×342, 500×431	30	1,06	359,98
Панельная антенна 2100×300; антенна РРС Ø300; радиомодули: 636×383, 351×298, 420×342, 500×431	30	1,62	435,96
Панельная антенна 2080×355; радиомодули: 636×383, 351×298, 420×342, 500×431	30	1,45	425,03
Панельная антенна 1500×450; антенна РРС Ø300; радиомодули: 636×383, 351×298, 420×342, 500×431	30	1,66	441,24
Панельная антенна 1500×300; антенна РРС Ø300; радиомодули: 636×383, 351×298, 420×342, 500×431	40	1,44	416,25
Панельная антенна 1400×380; радиомодули: 636×383, 351×298, 420×342, 500×431	40	1,24	400,60

Окончание табл. 1

Table 1 (continued)

Принятый к расчету состав антенного оборудования с габаритными размерами, мм	Значение фактора X_1 , м (высота подвеса антенны)	Значение фактора X_2 , м ² (площадь оборудования)	Значение нагрузки на кровлю здания, полученное в ходе расчета в программном комплексе, кг
Панельные антенны 2080×355, 1300×270; антенна РРС Ø300; радиомодули: 636×383, 351×298, 420×342, 500×431	40	2,08	528,96
Панельная антенна 1500×450; радиомодули: 636×383, 351×298, 420×342, 500×431	40	1,38	422,07
Панельная антенна 1500×300; радиомодули: 636×383, 351×298, 420×342, 500×431	50	1,16	392,43
Панельные антенны 1400×380, 1500×300; антенна РРС Ø300; радиомодули: 636×383, 351×298, 420×342, 500×431	50	1,97	524,46
Панельная антенна 2080×355; антенна РРС Ø300; радиомодули: 636×383, 351×298, 420×342, 500×431	50	1,73	476,37
Панельная антенна 1500×450; антенна РРС Ø300; радиомодули: 636×383, 351×298, 420×342, 500×431	50	1,66	461,35
Панельные антенны 1300×270, 1500×300; антенна РРС Ø300; радиомодули: 636×383, 351×298, 420×342, 500×431	60	1,79	498,50
Панельная антенна 1500×300; радиомодули: 636×383, 351×298, 420×342, 500×431	60	1,16	398,92
Панельные антенны 1400×380, 1500×300; антенна РРС Ø300; радиомодули: 636×383, 351×298, 420×342, 500×431	60	1,97	534,06
Панельная антенна 1500×450; антенна РРС Ø300; радиомодули: 636×383, 351×298, 420×342, 500×431	60	1,66	470,08

Значения факторов получены путем рассмотрения различных вариантов состава антенного оборудования, включая секторные антенны, радиомодули, антенны радиорелейной связи, приняты по техническим заданиям и требованиям сотовых операторов.

В качестве фактора, обозначенного X_1 , принята высота подвеса антенны относительно поверхности земли. В рамках проводимого исследования диапазон рассматриваемых высот подвеса составляет от 20 до 60 м.

Фактор X_2 отражает суммарную площадь (S) проектируемого антенного оборудования (секторная антенна, антенна радиорелейной связи, радиомодули). Значение фактора принимается в квадратных метрах и определяется путем перемножения габаритных размеров антенн и радиомодулей с последующим сложением полученных произведений по формуле

$$S = \sum_{i=1}^n S_i,$$

где $S_i = a_i b_i$ – площадь i -го устройства; a_i, b_i – габаритные размеры i -го устройства.

К рассмотрению в статье приняты варианты состава антенного оборудования с суммарной площадью от 1,06 до 2,08 м². Оба указанных фактора оказывают влияние на искомый показатель нагрузки на кровлю, поскольку с увеличением высоты и площади будет возрастать величина ветровой нагрузки на металлоконструкции и оборудование [14, 15].

Инструментом по нахождению зависимостей между факторами и результирующими показателями в научно-исследовательских работах, как правило, выступает корреляционно-регрессионный анализ [16, 17].

На основании собранных в таблице 1 значений факторов X_i и показателей Y произведем корреляционно-регрессионный анализ в программе Microsoft Excel с пакетом «Анализ данных». Проведение корреляционно-регрессионного анализа состоит из ряда следующих задач: 1) определение существования и силы связи между отдельными факторами; 2) вывод уравнения регрессии и проверка корректности полученной зависимости [18].

В случае рассмотрения нескольких факторов выстраивается многофакторная зависимость

в виде линейного уравнения, которое включает в себя все входные данные. В общем виде его можно представить как [19]

$$y = c_0 + c_1X_1 + \dots + c_iX_i + \dots + c_nX_n,$$

где y – расчетное значение результирующего показателя; X_i – численно выраженные значения факторов; c_0 – свободный член уравнения регрессии; c_i – коэффициенты при факторах.

В соответствии с требованиями к построению корреляционно-регрессионной модели факторы необходимо выражать числом, они не должны быть мультиколлениарны, то есть зависимы друг от друга, между ними и показателем должна прослеживаться логическая связь [20]. Для проверки корреляционной связи с помощью инструмента «Корреляция» из пакета «Анализ данных» в программе Microsoft Excel выведем и представим матрицу коэффициентов парной корреляции (таблица 2).

Таблица 2. Парные коэффициенты корреляций между факторами полезной нагрузки и значением точечной нагрузки на кровлю

Table 2. Paired correlation coefficients between payload factors and the value of the point load on the roof

	X_1	X_2	Y
X_1	1	–	–
X_2	0,10948	1	–
Y	0,39656	0,94639	1

Между рассмотренными факторами отсутствует сильная связь. При этом между X_2 и Y отмечается очень высокая корреляционная зависимость по шкале Чеддока, в то же время слабая связь характерна для X_1 и Y .

Вычисление параметров регрессионного уравнения произведем с использованием инструмента «Регрессия» из пакета «Анализ данных» в программе Microsoft Excel. Итоги расчета приведены на рисунке 5.

ВЫВОД ИТОГОВ

Регрессионная статистика

Множественный R 0,991221

R-квадрат 0,982819

Нормированный R-квадрат 0,980463

Стандартная ошибка 7,071803

Наблюдения 20

Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	значимость F
Регрессия	2	47782,09	23891,05	477,7486	1,15E-15
Остаток	17	850,1287	50,00757		
Итого	19	48632,22			

	Коэффициенты	Стандартная ошибка		t-статистика	P-Значение	Верхние 95%	Нижние 95%	Верхние 95,0%	Нижние 95,0%
		Верхние 95%	Нижние 95%						
Y-пересечение	157,5006	9,481276	16,61175	6,07E-12	137,4969	177,5043	137,4969	177,5043	139,9854
x1	1,039874	0,112488	9,190974	5,25E-08	0,796545	1,271203	0,796545	1,271203	1,00513
x2	156,3064	5,517441	28,3295	9,5E-16	144,6656	167,9471	144,6656	167,9471	175,4933
									0,623851

Рис. 5. Результаты расчета в режиме «Регрессия»

Fig. 5. Calculation results in the "Regression" mode

Используя полученные по результатам расчета коэффициенты при факторах X_1 , X_2 , формируем следующее уравнение для определения значения нагрузки на кровлю здания:

$$Y = 157,50 + 1,04X_1 + 156,31X_2,$$

где Y – значение нагрузки на кровлю под опорой трубостойки, кг; X_1 – центр раскрыва антенны относительно дневной поверхности земли, м; X_2 – суммарная площадь проектируемого оборудования, м².

Коэффициент при переменной X_i показывает, насколько в среднем изменяется значение признака Y , если значение параметра X_i увеличить на одну единицу. Соответственно, изменение площади устанавливаемого оборудования на 1 м^2 влечет за собой рост или снижение нагрузки на кровлю здания в среднем на 156,31 кг; изменение высоты оказывает меньшее влияние на искомое значение – при увеличении высоты подвеса антенн на 1 м нагрузка под опорой повышается на 1,04 кг.

Рассмотрим показатели, объединенные названием «Регрессионная статистика». Значение множественного коэффициента корреляции уравнения, близкое к 1, указывает на тесную линейную зависимость между факторами X_1 , X_2 и показателем Y , из чего следует, что центр раскрытия и площадь оборудования сильно влияют на нагрузки под опорой трубостойки. Коэффициент детерминации показывает, что на неучтенные факторы приходится только 1,7 % вариации показателя Y . Расхождение между D_n и D невелико, следовательно, в уравнении учтены наиболее существенные факторы. Проверка модели на адекватность производится по величине ошибки аппроксимации. Вычисленное значение ошибки, не превышающее 12 %, позволяет сделать вывод, что уравнение адекватно.

Значимость регрессионного уравнения определяется критерием Фишера, расчетное значение которого $F_p = 477,75$. Для 20 наблюдений и 2 коэффициентов в уравнении табличное значение критерия Фишера составляет 3,59, что меньше полученного расчетного значения.

Соответственно, уравнение обладает достаточной значимостью и может иметь практическое применение на этапе проведения изысканий. При подстановке в уравнение значений высоты подвеса и суммарной площади антенного оборудования, принимаемых по информации, содержащейся в техническом задании на проектирование трубостойки, возможно предварительно определить нагрузку на кровлю здания и сделать оценочные выводы о допустимости размещения конструкции для каждого конкретного случая.

Выводы

С использованием методов корреляционно-регрессионного анализа установлена зависимость между величиной нагрузки под опорами металлоконструкции трубостойки и факторами полезной нагрузки от антенного оборудования. Коэффициенты при факторах в полученном уравнении отражают изменение нагрузок на кровлю при увеличении/уменьшении на одну

принятую размерную единицу высоты подвеса и суммарной площади антенн.

Результаты показывают, что высота размещения оборудования относительно поверхности земли в меньшей степени влияет на величину нагрузки, чем суммарная площадь.

Применение уравнения на практике позволит повысить эффективность выбора места установки конструкции на этапе проведения инженерных изысканий за счет возможности получения ориентировочных значений нагрузок на кровлю здания до выполнения расчета нагрузочной способности и исключит необходимость проведения повторных обследований и согласований по размещению антенных трубостоек.

Библиографические ссылки

1. *Зотов К. Н., Жданов Р. Р.* О применимости помех в сетях сотовой связи для создания защищенного канала сотовой связи // Вестник СибГУТИ. 2020. № 3 (51). С. 90–100.
2. *Пахомова Ю. В.* Прогнозирование развития рынка сотовой связи на основе анализа его состояния и оценки тенденций роста услуг связи // Регион: системы, экономика, управление. 2022. № 1 (56). С. 126–133. DOI: 10.22394/1997-4469-2022-56-1-126-133
3. *Тарануха Н. Л., Новиков М. Ю.* Повышение эффективности проектирования антенно-мачтовых сооружений сотовой связи на основе оценки конструктивных решений // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2023. Т. 26, № 1. С. 84–90. DOI: 10.22213/2413-1172-2023-1-84-90
4. *Стаценко Л. Г., Бахвалова А. А.* Оценка электромагнитного загрязнения при модернизации сотовых сетей связи города Владивостока // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. 2021. № 4 (82). С. 39–47. DOI: 10.17277/voprosy.2021.04.pp.039-047
5. *Зрелов А. П.* Линейные объекты связи как объекты движимого или недвижимого имущества // Право и государство: теория и практика. 2020. № 11 (191). С. 90–92. DOI: 10.47643/1815-1337_2020_11_90
6. *Федорова В. А., Сафина Г. Р.* Увеличение этажности жилых зданий как элемент концепции «компактный город» (на примере Казани) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2023. Т. 29, № 2. С. 437–452. DOI: 10.35595/2414-9179-2023-2-29-437-452
7. Оценка и обоснование необходимости пересмотра методических документов по измерению электромагнитного излучения от базовых станций сотовой связи / Н. В. Зайцева, Т. С. Уланова, А. Л. Пономарев, О. А. Молок А. А. Одегов // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. 2020. № 5 (326). С. 29–35. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-326-5-29-35
8. *Снегирева А. И., Мурашкин В. Г.* К вопросу обследования строительных конструкций, зданий и сооружений // Эксперт: теория и практика. 2021. № 6 (15). С. 45–51. DOI: 10.51608/26867818_2021_6_45

9. Belostotsky A.M., Britikov N.A., Goryachevsky O.S. (2021) Comparison of determination of snow loads for roof sin building codes of various countries. *International Journal for Computational and Structural Engineering*, vol. 17, no. 3, pp. 39-47. DOI: 10.22337/2587-9618-2021-17-3-39-47

10. Луценко Л. А., Сухова А. В., Турдыев Р. В. Гигиенический контроль уровней электромагнитных излучений радиочастотного диапазона от антенн базовых станций сотовой связи // Медицина труда и промышленная экология. 2020. Т. 60, № 9. С. 583–586. DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-9-583-586

11. Голубова О. С., Костюкова С. Н. Методологические основы оценки эффективности деятельности строительной организации : монография. Минск : БНТУ, 2019. 226 с. ISBN 978-985-583-495-4

12. Тарануха Н. Л., Папунидзе П. Н. Комплексная оценка и выбор проектных решений в строительстве : монография. Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2009. 204 с. ISBN 978-5-7526-0416-4

13. Голиков А. В., Михальчонок Е. А. Определение рациональной конструктивной формы башен сотовой связи // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2019. Т. 20, № 2. С. 163–173.

14. Рутман Ю. Л., Островская Н. В. Динамика сооружений: сейсмостойкость, сейсмозащита, ветровые нагрузки : монография. СПб. : СПбГАСУ, 2019. 253 с. ISBN 978-5-9227-0929-3

15. Перельмутер А. В. Становление и развитие ключевых идей проектирования высотных конструкций антенных сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 1. С. 10–20.

16. Малахова О. С., Кузнецова О. А., Кузнецов А. В. Корреляционно-регрессионный анализ зависимости выручки предприятия от факторов внешнеэкономической деятельности // Прикладная математика и вопросы управления. 2019. № 1. С. 113–123.

17. Большакова Л. В., Литвиненко А. Н. Методика применения статистического пакета анализа для проведения корреляционно-регрессионного анализа в ходе экономических исследования // Вестник экономической безопасности. 2021. № 3. С. 259–265.

18. Шелехова Л. В., Грушевский С. П. Статистические методы в педагогических исследованиях с использованием Microsoft Excel : монография. Краснодар : Кубанский государственный университет, 2019. 316 с. ISBN 978-5-8209-1585-7

19. Яроменко Н. Н., Бубенок Е. Д., Хахалева Е. А. Корреляционно-регрессионный анализ как способ прогнозирования экономического развития предприятия // Вестник Академии знаний. 2021. № 44 (3). С. 249–252.

20. Баврина А. П., Борисов И. Б. Современные правила применения корреляционного анализа // Медицинский альманах. 2021. № 3 (68). С. 70–79.

a secure cellular channel]. *Vestnik SibGUTI*, vol. 51, no. 3, pp. 90-100 (in Russ.).

2. Pakhomova Yu.V. (2022) [Forecasting the development of the cellular communications market based on an analysis of its condition and an assessment of growth trends in communications services]. *Region: sistema, ekonomika, upravleniye*, vol. 56, no. 1, pp. 126-133 (in Russ.). DOI: 10.22394/1997-4469-2022-56-1-126-133

3. Taranukha N.L., Novikov M.Yu. (2023) [Improving designing efficiency of antenna-mast structures for cellular communications based on design solutions assessment]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2023, vol. 26, no. 1, pp. 84-90 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2023-1-84-90

4. Statsenko L.G., Bakhvalova A.A. (2021) [Assessment of electromagnetic pollution during the modernization of cellular communication networks in the city of Vladivostok]. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo*, vol. 82, no. 4, pp. 39-47 (in Russ.). DOI: 10.17277/voprosy.2021.04.pp.039-047

5. Zrelov A.P. (2020) [Linear communication objects as objects of movable or immovable property]. *Pravo i gosudarstvo: teoriya i praktika*, vol. 191, no. 11, pp. 90-92 (in Russ.). DOI: 10.47643/1815-1337_2020_11_90

6. Fedorova V.A., Safina G.R. (2023) [Increasing the number of storeys in residential buildings as an element of the “compact city” concept (using Kazan as an example)]. *InterKarto. InterGIS*, vol. 29, no. 2, pp. 437-452 (in Russ.). DOI: 10.35595/2414-9179-2023-2-29-437-452

7. Zaytseva N.V., Ulanova T.S., Ponomarev A.L., Molok O.A., Odegov A.A. (2020) [Assessment and justification of the need to revise methodological documents on measuring electromagnetic radiation from cellular base stations]. *Zdorov'ye naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*, vol. 326, no. 5, pp. 29-35 (in Russ.). DOI: 10.35627/2219-5238/2020-326-5-29-35

8. Snegireva A.I., Murashkin V.G. (2021) [On the issue of inspection of building structures, buildings and constructions]. *Ekspert: teoriya i praktika*, vol. 15, no. 6, pp. 45-51 (in Russ.). DOI: 10.51608/26867818_2021_6_45

9. Belostotsky A.M., Britikov N.A., Goryachevsky O.S. (2021) Comparison of determination of snow loads for roof sin building codes of various countries. *International Journal for Computational and Structural Engineering*, vol. 17, no. 3, pp. 39-47. DOI: 10.22337/2587-9618-2021-17-3-39-47

10. Lutsenko L.A., Sukhova A.V., Turdiev R.V. (2020) [Hygienic control of levels of electromagnetic radiation of radio frequency range from antennas of base stations of cellular communication]. *Meditisina truda i promyshlennaya ekologiya*, vol. 60, no. 9, pp. 583-586 (in Russ.). DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-9-583-586

11. Golubova O.S., Kostyukova S.N. (2019) *Metodologicheskiye osnovy otsenki effektivnosti deyatel'nosti stroitel'noy organizatsii* [Methodological foundations for assessing the effectiveness of the construction organization]. Minsk: Publishing House of Belarusian National Technical University, 2019, 226 p. (in Russ.). ISBN 978-985-583-495-4

References

1. Zotov K.N., Zhdanov R.R. (2020) [On the applicability of interference in cellular networks to create

12. Taranukha N.L., Papunidze P.N. (2009) *Kompleksnaya otsenka i vybor proyektnykh resheniy v stroitel'stve* [Comprehensive assessment and selection of design solutions in construction]. Izhevsk: Publishing House of IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova, 2009, 204 p. (in Russ.). ISBN 978-5-7526-0416-4

13. Golikov A.V., Mikhachonok E.A. (2019) [Determination of rational constructive form of cell communication towers]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov*, vol. 20, no. 2, pp. 163-173 (in Russ.).

14. Rutman Yu.L., Ostrovskaya N.V. (2019) *Dinamika konstruksii: seysmostoykost', seysmozashchita, vetrovyye nagruzki* [Dynamics of structure: seismic stability, seismic protection, wind loads]. St. Petersburg: Publishing House of Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet, 253 p. (in Russ.). ISBN 978-5-9227-0929-3

15. Perelmuther A.V. (2021). [Formation and development of key ideas for designing high-rise structures of antenna structures]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*, no. 1, pp. 10-20 (in Russ.).

16. Malakhova O.S., Kuznetsova O.A., Kuznetsov A.V. (2019) [Correlation-regression analysis of the

dependence of the company's revenue on the factors of foreign economic activity]. *Prikladnaya matematika i voprosy upravleniya*, no. 1, pp. 113-123 (in Russ.).

17. Bolshakova L.V., Litvinenko A.N. (2021) [Methodology for using a statistical analysis package for conducting correlation and regression analysis in the course of economic research]. *Vestnik ekonomicheskoy bezopasnosti*, no. 3, pp. 259-265 (in Russ.).

18. Shelekhova L.V., Grushevsky S.P. (2019) *Statisticheskiye metody v pedagogicheskikh issledovaniyakh s ispol'zovaniyem Microsoft Excel* [Statistical methods in pedagogical research using Microsoft Excel]. Krasnodar: Publishing House of Kubanskiy gosudarstvennyy universitet, 316 p. (in Russ.). ISBN 978-5-8209-1585-7

19. Yaromenko N.N., Bubenok E.D., Khakhaleva E.A. (2021) [Correlation-regression analysis as a way to predict the economic development of an enterprise]. *Vestnik Akademii znaniy*, 2021, no. 44, pp. 249-252 (in Russ.).

20. Bavrina A.P., Borisov I.B. (2021) [Modern rules for applying correlation analysis]. *Meditinskiy al'manakh*, 2021, no. 3, pp. 70-79 (in Russ.).

Equation Development for Calculating Loads Acting under the Antenna Tubular Mast Supports of Cellular Communication Equipment

M.Yu. Novikov, Post-graduate, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

N.L. Taranukha, DSc in Economics, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

A study presents the search for the relationship between the composition of the antenna equipment of the base cellular station, taking into account the height of its suspension and the load on the roof under the supports of the designed structures of antenna tubular masts mounted on building roofs. New telecommunications standards aimed at improving quality and speed of wireless communications and the Internet involve thickening the existing network and increasing the number of base cellular stations. In cities with high population density and dense buildings, antenna tubular masts on building roofs are designed to accommodate antenna equipment. The location selection for structure mounting is carried out in the course of surveys involving the mobile operator, the construction organization and the landlord cooperation. The design organization performs a verification calculation of the load capacity due to the need of roof load-bearing building structure check for the possibility to mount tubular masts, in each specific case. In case of a negative conclusion, repeated surveys and approval of the newly selected position are required. The equation derived during the study is proposed, using the initial data contained in the design specification, visual inspection and design documentation for the building, allows determination of load magnitudes under the support of the designed structure and evaluation the possibility of tubular mast mounting before performing calculations by means of software complexes. To develop the equation to determine the relation between payload factors acting on antenna equipment and the roof loads of a building under a loaded tubular mast support, the method of correlation and regression analysis was used. The results of the study will improve the survey efficiency, which will minimize the risks of inconsistencies and reduce the time spent on design.

Keywords: antenna tubular mast, antenna equipment, payload factors, cellular communication, flare.

Получено 21.10.2024

Образец цитирования

Новиков М. Ю., Тарануха Н. Л. Разработка уравнения по расчету нагрузки под опорами антенной трубостойки для размещения оборудования сотовой связи // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2024. Т. 27, № 4. С. 70–78. DOI: 10.22213/2413-1172-2024-4-70-78

For Citation

Novikov M.Yu., Taranukha N.L. (2024) [Equation Development for Calculating Loads Acting under the Antenna Tubular Mast Supports of Cellular Communication Equipment]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, vol. 27, no. 4, pp. 70-78 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2024-4-70-78