

Научная статья
УДК 69.07

АНТЕННО-МАЧТОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ СОТОВОЙ СВЯЗИ: КЛАССИФИКАЦИЯ, ТЕНДЕНЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ, ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

М.Ю. Новиков^{1,*}, И.Д. Канаков¹, В.П. Калаев³, П.Е. Манохин¹

¹ Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, г. Ижевск, Россия.

* E-mail: mishko161298@gmail.com

Аннотация. В статье приведена информация по основным типам антенно-мачтовых сооружений, применяемым на текущий момент при строительстве базовых станций сотовой связи. Указаны принципиальные конструктивные отличия, преимущества и недостатки каждого вида опор и факторы, влияющие на выбор типа антенно-мачтового сооружения. Отражена сводная статистика изменения их общего числа по стране за последние 7 лет, а также процентное соотношение построенных типов опор по годам на примере отдельно взятого региона Российской Федерации (Удмуртская республика). Проанализированы основные проблемы, которые возникают в ходе проектирования конструкций антенно-мачтовых сооружений. С целью их решения выдвинуты предложения по совершенствованию нормативной документации в рассматриваемой отрасли строительства, что в конечном счете улучшит качество принимаемых решений на этапе проектирования.

Ключевые слова: опора; строительство; конструкция; антенно-мачтовое сооружение; связь.

Для цитирования: Новиков М.Ю., Канаков И.Д., Калаев В.П., Манохин П.Е. Антенно-мачтовые сооружения сотовой связи: классификация, тенденции в строительстве, проблемы проектирования // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2023. Т.9. №1. С. 75–81.

Original article

ANTENNA-MAST STRUCTURES OF CELLULAR COMMUNICATION: CLASSIFICATION, TRENDS IN CONSTRUCTION, DESIGN PROBLEMS

M.Yu. Novikov^{1,*}, I.D. Kanakov², V.P. Kalaev³, P.E. Manokhin⁴

¹ Izhevsk State Technical University named after M. T. Kalashnikov, Izhevsk, Russia.

* E-mail: mishko161298@gmail.com

Abstract. The article provides information on the main types of antenna-mast structures currently used in the construction of cellular base stations. The fundamental design differences, advantages and disadvantages of each type of supports and factors influencing the choice of the type of antenna-mast structure are indicated. The summary statistics of changes in their total number across the country over the past 7 years, as well as the percentage of constructed types of supports by years, is reflected on the example of a single region of the Russian Federation (Udmurt Republic). The main problems that arise during the design of antenna-mast structures are analyzed. In order to solve them, proposals have been put forward to improve the regulatory documentation in the considered construction industry, which will ultimately improve the quality of decisions made at the design stage.

Key words: support; building; design; antenna-mast structure; connection.

For citation: Novikov M.Yu., Kanakov I.D., Kalaev V.P., Manokhin P.E. Antenna-mast structures of cellular communication: classification, trends in construction, design problems. *Journal of Science and Education of North-West Russia*. 2023. V.9. No.1. pp. 75–81.

Введение

На сегодняшний день Россия занимает шестое место в мире и первое в Европе по количеству отдельно стоящих конструкций для размещения элементов радиоинфраструктуры мобильных операторов [1]. При этом число вышек ежегодно растет, что обусловлено важностью наличия беспроводных связи и Интернета, появлением более скоростных сетей нового поколения, действием государственных программ, направленных на устранение цифрового неравенства.

Для этого проектируются и монтируются различные антенно-мачтовые сооружения сотовой связи: башни, мачты, опоры двойного назначения, металлические и железобетонные стойки-столбы с надстройками для размещения антенно-фидерного оборудования. С их помощью передающие устройства поднимают на высоту, увеличивая тем самым зону покрытия. В процессе эксплуатации конструкция должна обеспечивать необходимую несущую способность, геометрическую неизменяемость и устойчивость, а также соответствовать требованиям действующих нормативных документов [2].

В данной статье авторами приведена классификация и выявлены преимущества и недостатки типов антенно-мачтовых сооружений сотовой связи, определены тенденции в строительстве опор, перечислены основные проблемы проектирования и возможные пути их решения.

Классификация типов антенно-мачтовых сооружений сотовой связи

Антенно-мачтовое сооружение (АМС) - вертикально стоящая закрепленная опора для поднятия на высоту и установки передающих радиосигнал устройств. По типу АМС подразделяются на решетчатые – башни и мачты и сплошностенчатые – металлические и железобетонные стойки-столбы.

Мачта представляет собой решетчатое четырех- или трехгранное сооружение, грани которого идут параллельно от земли к вершине. Для изготовления мачт применяют угловую равнобокую и неравнобокую сталь, трубы бесшовные, круглую сталь, гнутые и штампованные профили. Стержни и детали конструкций соединяют электросваркой или болтами. Устойчивость сооружению придают тросы - оттяжки, расходящиеся от мачты в четырех или трех направлениях и крепящиеся внизу к пригрузам/фундаментам. Размеры поперечного сечения ствола мачты выбирают в пределах 0,008-0,015 ее высоты [3]. Внутри ствола, как правило, размещается лестница для подъема, при этом отсутствуют площадки обслуживания.

Башня, в отличие от мачты, представляет собой свободностоящую опору консольного типа. Устойчивость обеспечивается только элементами конструкции ствола, закрепленного в основании. Башни в нижней части имеют пирамидальную форму, верхняя часть ствола, как правило, имеет форму призмы [4]. Сооружения изготавливаются из труб или уголковой стали. Конструкции из труб имеют более высокие аэродинамические характеристики, чем из профилей, но более сложны и дороги в изготовлении. Соединение секций осуществляется при помощи фланцев/накладок на болтах, а элементы секций соединяются между собой при помощи фасонки.

Наибольшее распространение имеют четырех- и трехгранные конструкции башен. Размеры основания принимают равными 0,05 – 0,12 высоты. Конструкции имеют в своем составе лестницу для подъема с корзиной ограждения, площадки для отдыха, расположенные с определенным интервалом по высоте, и площадки обслуживания антенн [5].

Помимо вышеперечисленных наиболее классических типов антенно-мачтовых сооружений необходимо отметить сплошностенчатые антенные опоры типа «столб». Столбы проектируются на основе железобетонной конической центрифугированной стойки СК-26 или в металлическом исполнении – из стальных труб и, как правило, состоят из нескольких секций различного сечения, уменьшающегося в направлении высоты. Соединение секций между собой осуществляется при помощи фланцев на болтах. Столбы имеют вертикальную лестницу с заспинным ограждением, а в верхней части также технологическую площадку либо металлический оголовок-надстройку треугольной, квадратной или прямоугольной формы в плане для размещения и обслуживания оборудования сотовой связи.

Схожим с металлическими столбами (облегченным вариантом без лестницы и площадки) типом сооружения является опора двойного назначения, установка которых ведется в России с 2016 года [1]. Однако наряду с монтируемыми антеннами сотовой связи на них также может размещаться дополнительное оборудование, необходимое для:

- организации наружного освещения;
- подвески контактной сети городского электрифицированного транспорта (троллейбусы, трамваи);
- установки самонесущих изолированных проводов;
- установки рекламно-информационных носителей;
- установки наружных видеокамер и динамиков оповещения МЧС;
- установки дорожных знаков [6].

Тип антенно-мачтового сооружения выбирается по нескольким ключевым параметрам на этапе проектирования. Это высота подвеса, вид и количество размещаемого оборудования, природно-климатические условия местоположения проектируемой опоры, размеры территории под строительство, а также удобство обслуживания в процессе эксплуатации.

Основные преимущества и недостатки типов опор

Не существует идеального универсального варианта конструкции, каждый тип антенно-мачтовых сооружений обладает преимуществами и недостатками. Для наиболее удобного восприятия и оценки информации авторами сформирована таблица 1.

Таблица 1 – Преимущества и недостатки типов антенно-мачтовых сооружений сотовой связи

Тип АМС	Преимущества	Недостатки
Мачта	Малые размеры поперечного сечения (тонкий несущий ствол) – меньшая подверженность ветровым воздействиям. Возможность корректировки вертикальности с помощью оттяжек. Наиболее легкая решетчатая конструкция. Сравнительно большая несущая	Обрыв даже одного троса оттяжки приведет к потере устойчивости и обрушению конструкции. Необходимость в сооружении отдельных анкерных креплений для устройства оттяжек. Сравнительно большая занимаемая

Продолжение таблицы 1

	способность, допускает установку антенн по всему телу опоры. Типовые секции.	площадь.
Башня	Опора отдельно стоящая, без устройства оттяжек. Удобство при эксплуатации - имеются площадки обслуживания и отдыха. Сравнительно большая несущая способность.	Большой вес. Большое количество элементов. Сложность в связи с имеющимся наклоном и переломом поясов. Сложность приведения конструкции в вертикальное положение при

		возникновении отклонений вертикальной оси ствола в процессе эксплуатации.
Столб	Опора, отдельно стоящая, без устройства оттяжек. Простота изготовления и монтажа. Имеется площадка для размещения и обслуживания оборудования. Требуется малая площадь для строительства. Возможность осуществлять корректировку вертикальности опоры при устройстве анкерной группы в основании.	Ограниченность по высоте (до 40 м). Ограничения в допустимой полезной нагрузке (допускается установка сравнительно малого количества оборудования). Высокая ветровая нагрузка на тело опоры.
Опора двойного назначения	Опора, отдельно стоящая, без устройства оттяжек. Простота изготовления и монтажа. Интегрируется с системой освещения/ЛЭП, опорой контактной сети. Требуется малая площадь для строительства.	Отсутствие лестниц и площадок для обслуживания оборудования. Ограниченность по высоте (до 40 м). Ограничения в допустимой полезной нагрузке (допускается установка сравнительно малого количества оборудования). Высокая ветровая нагрузка на тело опоры.

Тенденции в строительстве АМС

По статистическим данным [1] общее число АМС на начало 2022 года в России составляло около 92,5 тыс., при этом в течение последних 7 лет их количество поступательно увеличивается, что отражено на рисунке.

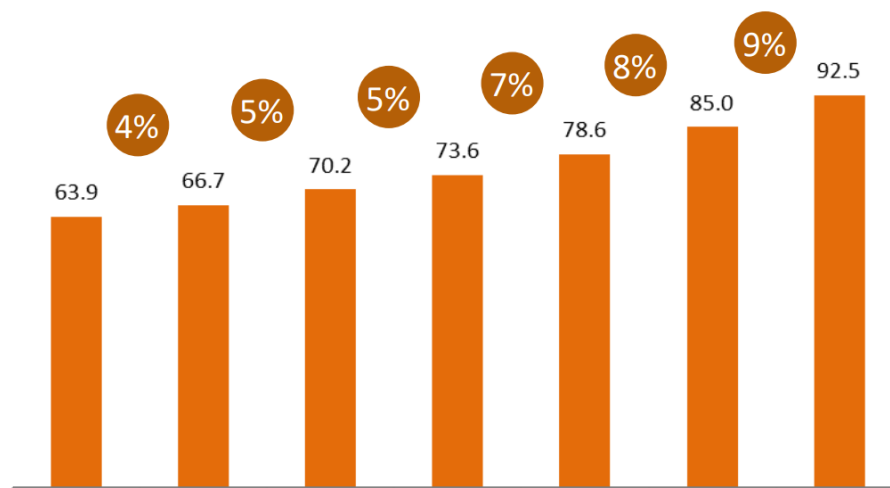


Рисунок – Количество АМС сотовой связи на территории Российской Федерации по годам

Это связано с активной подготовкой к внедрению в стране цифровой экономики. Одним из условий осуществления упомянутой стратегической цели является устранение цифрового неравенства, т.е. обеспечение населения качественной телефонной связью и доступным высокоскоростным Интернетом, что требует выполнения задачи по строительству большого количества антенно-мачтовых сооружений сотовой связи как на еще «непокрытых» территориях, так и сгущение уже существующей сети.

В связи с этим наметились определенные тенденции при выборе типов АМС. Сейчас наиболее актуальной задачей отрасли является создание дополнительной емкости в городских агломерациях, где не хватает площадок для размещения узлов сети 4G, поэтому

наибольшее число новых вводимых в строй опор приходится на бетонные и металлические столбы (средняя высота 11-29 метров) с малой площадью занимаемой территории, в то время как башни и мачты высотой более 50 метров сооружаются в единичных экземплярах преимущественно в сельской местности.

Согласно данным, предоставленным компанией ООО «Оптическая магистраль» (занимается проектированием и строительством АМС в Удмуртской республике), видна динамика в изменении процентного соотношения построенных типов опор по годам, значения вынесены в таблицу 2. Так, происходит планомерное увеличение вводимых в строй опор типа «столб», наблюдается повышение интереса заказчиков к опорам двойного назначения, в то же время количество мачт и башен в общем объеме невелико.

Таблица 2 – Процентное соотношение построенных типов опор по годам на территории Удмуртской Республики

Тип АМС/Год строительства	2020	2021	2022
Ж/б и металлические стойки-столбы	65%	70%	74%
Опоры двойного назначения	-	11%	13%
Мачты	30%	12%	8%
Башни	5%	7%	5%

Актуальные проблемы при проектировании АМС и возможные пути их решения

В связи с постоянно меняющимися требованиями заказчиков к несущей способности опор, необходимы пересмотр и корректировка уже имеющихся конструктивных решений под текущие условия строительства, однако при проектировании АМС возникает ряд проблем, требующих решения [7].

1. Отсутствие актуализированной нормативной базы применительно к АМС.

Проектирование антенно-мачтовых сооружений ведется в соответствии с требованиями действующих сводов правил (СП). Однако ввиду специфики конструкций опор в нормативных документах наблюдаются пробелы в положениях по расчету наземной и подземной части конструкций. Отдельные документы, пособия по проектированию изданы в 70-х, 80-х годах прошлого века и не прошли актуализацию, соответственно, признаны в настоящее время недействительными. В результате возникает необходимость при проведении расчетов обращаться к смежной отрасли строительства – справочникам по опорам линий электропередач, где также имеется недостаток информации. В связи с этим имеется большая необходимость актуализации и доработки нормативной базы применительно к конструкциям АМС.

2. Отсутствие четких рекомендаций по выбору оптимальных и наиболее экономичных сечений АМС в зависимости от типа, высоты, площади и веса устанавливаемого оборудования.

Сечения конструкции назначаются проектировщиком самостоятельно, а ввиду недостатка времени часто не проводится сравнительный анализ и вариантное проектирование для определения наиболее экономичного варианта опоры.

Разработка и внедрение методики и указаний по выбору оптимальных и наиболее экономичных конструктивных решений для конкретных условий строительства и требований заказчика позволит значительно снизить вероятность нерационального выбора конструкций и неоправданного увеличения стоимости строительства объекта, что особенно актуально в условиях инфляции и роста цен на строительные материалы и металлопрокат, в частности.

3. Отсутствие базы расценок на строительные-монтажные работы по возведению АМС.

Обоснование цены является одним из важнейших вопросов при строительстве [8, с. 8]. Составление смет на строительные-монтажные работы по возведению АМС ведется с использованием сборников ФЕР и ТЕР, однако существующая сметно-нормативная база не

располагает расценками на строительство опор сотовой связи, а имеющиеся сметные нормы не в полной мере отражают перечень производимых работ, что является актуальной проблемой ценообразования в рассматриваемой области строительства. В то же время заказчики – сотовые операторы предлагают укрупненные расценки, применительно к целой конструкции, без учета конструктивных особенностей сооружения.

Необходима доработка нормативной документации с использованием основы – стоимости выполнения отдельных видов работ, установленной сотовыми операторами.

Заключение

Подводя итог всему вышесказанному, можно сказать, что строительство АМС сотовой связи имело и имеет важное значение, так как беспроводная связь за последние 15-20 лет прочно вошла в нашу жизнь. На сегодняшний день имеется разнообразие типов конструкций опор, которые принимаются в зависимости от условий строительства и меняющихся требований заказчика, кроме того, появляются новые более совершенные и универсальные конструктивные решения. Между тем в данной отрасли строительства есть ряд существенных проблем, связанных с нормативной документацией, необходимой для проектирования и определения стоимости строительства, что требует совершенствования и доработки соответствующей литературы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Advanced communications & media [Электронный ресурс]. URL: <http://www.acm-consulting.com/index.php/news-and-data/data-downloads> (дата обращения 07.01.2023).
2. Вайсенбургер Д.А., Барабаш А.А. Эффективный метод монтажа антенной опоры высотой до 100 м // Фундаментальные и прикладные исследования молодых ученых: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Омск: СибАДИ, 2022. С. 268-275.
3. Савицкий Г.А. Основы расчета радиомачт. М.: Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио, 1953. 140 с.
4. Перельмутер А.В. Очерки по истории металлических конструкций. М.: Издательство СКАД Софт, Издательский дом АСВ, 2015. 256 с.
5. Броверман Г.Б. Строительство мачтовых и башенных сооружений. М.: Стройиздат, 1984. 256 с.
6. Микулич Р.И., Вишняков Е.П. Опоры связи двойного назначения // Цифровая экономика: региональный аспект: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Чита: Забайкальский государственный университет, 2019. С. 10-14.
7. Лююань Г. Применение антенно-мачтовых сооружений в строительстве // Инновационная наука, 2022. №3-1. С. 45-47.
8. Королева М.А. Ценообразование и сметное нормирование в строительстве. Екатеринбург: Издательство Урал, 2014. 263 с.

REFERENCES

1. Advanced communications & media. URL: <http://www.acm-consulting.com/index.php/news-and-data/data-downloads> (date accessed: 07.01.2023).
2. Weissenburger D.A., Barabash A.A. *Effektivnyy metod montazha antennoy opory vysotoy do 100 m* [Efficient method of mounting an antenna tower up to 100 m high] *Fundamental'nyye i prikladnyye issledovaniya molodykh uchenykh: sbornik materialov VI Mezhdunarodnoy nauchno-*

prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. Omsk: SibADI, 2022, pp. 268-275.

3. Savitsky G.A. *Osnovy rascheta radiomacht* [Fundamentals of the calculation of radio masts]. Moscow: State publishing house of literature on communications and radio, 1953. 140 p.

4. Perelmuter A.V. *Ocherki po istorii metallicheskih konstruksiy* [Essays on the history of metal structures]. Moscow: SCAD Soft Publ., ACB publishing house, 2015. 256 p.

5. Broverman G.B. *Stroitel'stvo mactovykh i bashennykh sooruzheniy* [Construction of mast and tower structures]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1984. 256 p.

6. Mikulich R.I., Vishnyakov E.P. *Opory svyazi dvoynogo naznacheniya* [Dual purpose communication poles]. *Tsifrovaya ekonomika: regional'nyy aspekt: sbornik statey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Chita: Transbaikal State University, 2019, pp. 10-14.

7. Loyuan G. *Primeneniye antenno-mactovykh sooruzheniy v stroitel'stve* [The use of antenna-mast structures in construction] *Innovatsionnaya nauka*. 2022. №3-1, pp. 45-47.

8. Koroleva M.A. *Tsenoobrazovaniye i smetnoye normirovaniye v stroitel'stve* [Pricing and estimated rationing in construction]. Yekaterinburg: Ural Publ., 2014. 263 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Новиков Михаил Юрьевич – магистрант, Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 42, корп. 3, e-mail: mishko161298@gmail.com).

Канаков Илья Дмитриевич – магистрант, Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 42, корп. 3, e-mail: kanakov1999@bk.ru).

Калаев Владимир Петрович – магистрант, Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 42, корп. 3, e-mail: closserev@gmail.com).

Манохин Павел Евгеньевич - кандидат технических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 42, корп. 3, e-mail: pmanohin@bk.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Novikov Michail Yurievich – Master student, Izhevsk State Technical University named after M. T. Kalashnikov (426069, Russia, Izhevsk, st. Student, d. 42, bldg. 3, e-mail: mishko161298@gmail.com).

Kanakov Ilya Dmitrievich – Master student, Izhevsk State Technical University named after M. T. Kalashnikov (426069, Russia, Izhevsk, st. Student, d. 42, bldg. 3, e-mail: kanakov1999@bk.ru).

Kalaev Vladimir Petrovich - Master student, Izhevsk State Technical University named after M. T. Kalashnikov (426069, Russia, Izhevsk, st. Student, d. 42, bldg. 3, e-mail: closserev@gmail.com).

Manokhin Pavel Evgenievich - Ph.D. (Eng), Assoc. Prof., State Technical University named after M. T. Kalashnikov (426069, Russia, Izhevsk, st. Student, d. 42, bldg. 3, e-mail: pmanohin@bk.ru).

Статья поступила в редакцию 12.01.2023; одобрена после рецензирования 06.02.2023, принята к публикации 15.02.2023.

The article was submitted 12.01.2023; approved after reviewing 06.02.2023; accepted for publication 15.02.2023.