

АНТЕННЫЕ СИСТЕМЫ И ИХ ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Мелебаева Г. Д., ст. преподаватель

Институт телекоммуникаций и информатики Туркменистана, Ашхабад, Туркменистан

Аннотация. В статье рассматриваются ключевые технологические характеристики антенных систем и их влияние на экономику телекоммуникаций. Проанализированы капитальные и операционные затраты при внедрении традиционных и «умных» антенных решений, роль распределённых и компактных антенных систем (DAS, small cells) в снижении затрат на покрытие, а также экономические аспекты управления спектром. На основе анализа современных исследований обсуждаются критерии выбора антенных решений с учётом соотношения CAPEX/OPEX, влияние на окупаемость инвестиций и социально-экономические эффекты расширения покрытия.

Ключевые слова: антенные системы, smart antenna, CAPEX, OPEX, 5G, спектр, экономическая эффективность, распределённые антенные системы.

Антенные системы являются ключевым элементом телекоммуникационной инфраструктуры, определяющим пропускную способность и энергетическую эффективность сети. В условиях цифровизации и развития технологий связи пятого поколения (5G) растёт значение экономической оценки антенных решений [1]. Инвестиции в антенные комплексы, их модернизация и эксплуатация напрямую влияют на финансовые показатели операторов и стоимость услуг связи.

Ряд исследований показывает, что развитие телекоммуникаций положительно сказывается на росте ВВП и цифровизации экономики [2], [4]. В то же время стоимость радиочастотного спектра и его распределение оказывают существенное влияние на объём инвестиций в антенные системы.

Технико-экономические исследования показывают, что внедрение «умных» антенн (smart antennas) может увеличить первоначальные затраты, но снижает общие расходы владения сетью (ТСО) благодаря повышению спектральной эффективности и уменьшению числа базовых станций [3].

Технико-экономические параметры антенных решений

1. Капитальные и операционные затраты

Инвестиции в антенные системы включают закупку оборудования, монтаж, инфраструктурные работы и интеграцию с сетью. Эксплуатационные расходы (ОРЕХ) включают аренду площадок, техническое обслуживание и энергопотребление.

Для сетей 5G и миллиметрового диапазона (mmWave) характерны более высокие CAPEX из-за необходимости увеличения плотности размещения станций, но использование распределённых антенных систем (DAS) и малых сот позволяет снизить совокупные расходы.

2. Экономика внедрения Smart-Antennas

По данным исследования Alayon-Glazunov и соавт. [3], применение систем с адаптивным управлением диаграммой направленности позволяет снизить количество требуемых сайтов до 30 %, повысить эффективность использования спектра и уменьшить затраты на обслуживание. Однако для регионов с низкой плотностью пользователей срок окупаемости может превышать 7–10 лет.

3. Стоимость и управление спектром

Экономическая оценка спектра включает методы сравнительного анализа, аукционные подходы и модели «opportunity cost» [5], [6]. Высокая стоимость лицензий на частоты стимулирует операторов к внедрению технологий, повышающих спектральную эффективность, включая MIMO-антенны и beamforming. Развитие вторичных рынков спектра и моделей совместного использования частот (spectrum sharing) снижает барьеры для инвестиций.

Расширение покрытия сотовых сетей и внедрение эффективных антенных технологий способствует развитию цифровой экономики, снижению неравенства в доступе к интернету и росту производительности труда [2], [4]. Государственные программы поддержки инфраструктурных проектов (например, субсидии на строительство базовых станций в сельских районах) оправданы высокой социальной отдачей [6].

Практические рекомендации

1. При планировании инвестиций учитывать полный жизненный цикл антенных систем и соотношение CAPEX/OPEX.
2. Предпочтительно внедрять антенны с высокой спектральной эффективностью (MIMO, beamforming), особенно в городских районах с высокой нагрузкой [1].
3. Использование совместного размещения оборудования (tower sharing) может сократить капитальные расходы до 25 %.
4. Необходима государственная поддержка проектов связи в регионах с низкой рентабельностью — для обеспечения равномерного развития инфраструктуры.

Антенные системы выступают важнейшим элементом не только инженерной, но и экономической структуры телекоммуникационной отрасли. Экономическая эффективность антенных решений определяется балансом между затратами, спектральной эффективностью и доходами от предоставления услуг. Инвестиции в интеллектуальные антенные технологии и совместное использование инфраструктуры обеспечивают устойчивое развитие сетей нового поколения и способствуют росту цифровой экономики [1], [3].

Литература

1. Kolokotronis D., Kalogeridou M., Dimos A. Techno-economical study of the antenna system weight, wind load and space occupancy in view of the mobile network transition to the 5G-era and beyond. — Telecommunication Systems, 2023.
2. Bertschek I., Niebel T. The Economic Impacts of Telecommunications Networks and Broadband Internet: A Survey. — ZEW Discussion Paper, 2016.
3. Alayon-Glazunov A., Berggren F., Johansson K. Cost Analysis of Smart Antenna Systems Deployment. — IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2020.
4. Qiang C. Z., Rossotto C. M. Economic Impact of Broadband on Growth and Productivity. — World Bank Working Paper, 2019.
5. Alden J. Exploring the Value and Economic Valuation of Spectrum. — ITU Broadband Series, April 2012.
6. Hazlett T. W. Valuing Spectrum Allocations. — Michigan Telecommunications and Technology Law Review, 2016.

