

УДК 338.47:621.39

Борискина Татьяна Борисовна, канд. социол. наук, доцент кафедры «Менеджмент и финансы производственных систем», декан факультета экономики и управления, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград

Лютов Иван Андреевич, студент Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград

Лютов Матвей Андреевич, студент Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА ДЛЯ МАЛОНАСЕЛЁННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Аннотация

Предложена технологически нейтральная методика выбора широкополосного доступа для малонаселенных территорий. Территория делится на однородные кластеры, после чего проверяются жесткие ограничения: опорная сеть, рельеф, спектр, электропитание, права размещения и минимальное качество. Для оставшихся вариантов — DSL как переходного решения, FTTB, FTTH/GPON, специализированного и мобильного FWA, спутника и гибрида — рассчитываются TCO, NPV, стоимость активного подключения и предельная доля подключений. Сценарий ВКР с 120 млн руб. и 25 тыс. пользователей используется только для проверки согласованности. Решение принимается после стресс-тестов и пилота с измерением качества в час максимальной нагрузки.

Annotation

A technology-neutral method is proposed for selecting broadband solutions in low-density territories. Homogeneous clusters are screened against backbone, terrain, spectrum, power, deployment-right and minimum-quality constraints. Feasible options—legacy DSL, FTTB, FTTH/GPON, dedicated and cellular FWA, satellite and hybrid architectures—are compared using TCO, NPV, cost per active connection and break-even take-up. The source-thesis scenario of RUB 120 million and 25,000 users

is used only as a consistency check. Final selection follows stress tests and a pilot with busy-hour measurements.

Ключевые слова: широкополосный доступ, малонаселенная территория, FTTH, FTTB, фиксированный беспроводной доступ, FWA, спутниковый интернет, технико-экономическая оценка, TCO, NPV, take-up

Keywords: broadband access, low-density area, FTTH, FTTB, fixed wireless access, FWA, satellite broadband, techno-economic assessment, TCO, NPV, take-up

Введение

В малонаселенных территориях фиксированные затраты распределяются между небольшим числом абонентов, а длина последней мили и неопределенность спроса растут. Поэтому одна технология может быть оправдана в компактном поселке и неэффективна для рассредоточенных адресов [6; 7; 10; 11; 12].

В ВКР для Волгоградской области предложено сочетание оптоволоконной и беспроводной инфраструктуры [1]. Это полезная гипотеза, но выбор должен зависеть от существующих активов, рельефа, радиоресурса, спроса и горизонта проекта.

Технологически нейтральный подход сначала исключает невыполнимые варианты, затем сравнивает оставшиеся по единой денежной модели и проверяет пилотом. Цель статьи — описать этот алгоритм: кластеризацию, ограничения, шорт-лист, TCO/NPV, стресс-тесты и масштабирование.

Технологические альтернативы и единица анализа

Единицей проектирования является кластер однородной застройки. В одном районе многоквартирный фонд может оправдывать FTTB, компактный частный сектор — FTTH или FWA, а изолированные адреса — спутник либо гибрид.

Таблица 1. Технологически нейтральный шорт-лист решений.

Альтернатива	Сильная сторона	Ключевое ограничение	Типовая область применения
Существующая медная сеть / DSL	минимальный начальный CAPEX при наличии пригодной линии	ограниченная скорость, качество линии, отсутствие долгосрочного запаса	временное решение с планом миграции
FTTB	высокая емкость при распределении затрат между квартирами	зависимость от внутридомовой сети и доступа к зданию	многоквартирный фонд
FTTH/GPON	высокая стабильность и долгосрочная масштабируемость	высокий CAPEX последней мили при низкой плотности	компактная застройка и подтвержденный долгосрочный спрос
Специализированный FWA	гибкое радиопланирование и быстрый запуск	необходимы спектр/частоты, прямая видимость, опорные точки	рассредоточенные поселения с контролируемой емкостью
Мобильный FWA 4G/5G	использование части существующей мобильной инфраструктуры	конкуренция за емкость с мобильными пользователями, переменное качество	быстрый запуск при достаточном радиоресурсе
Спутниковый доступ	охват изолированных точек без наземной последней мили	оборудование, задержка/политика справедливого использования, погодные и регуляторные факторы	очень удаленные и единичные домохозяйства
Гибрид «оптика + радио/спутник»	долгосрочная опорная сеть и гибкая последняя миля	сложность эксплуатации нескольких технологий	смешанная застройка и поэтапное развитие

Источник: систематизировано авторами по материалам [1; 6; 7; 8; 10; 11; 12].

Специализированный и мобильный FWA разделяются из-за разной экономики и управления емкостью; спутник используется для изолированных точек, а гибрид не получает автоматического преимущества.

Алгоритм выбора

Технологически нейтральный алгоритм выбора ШПД

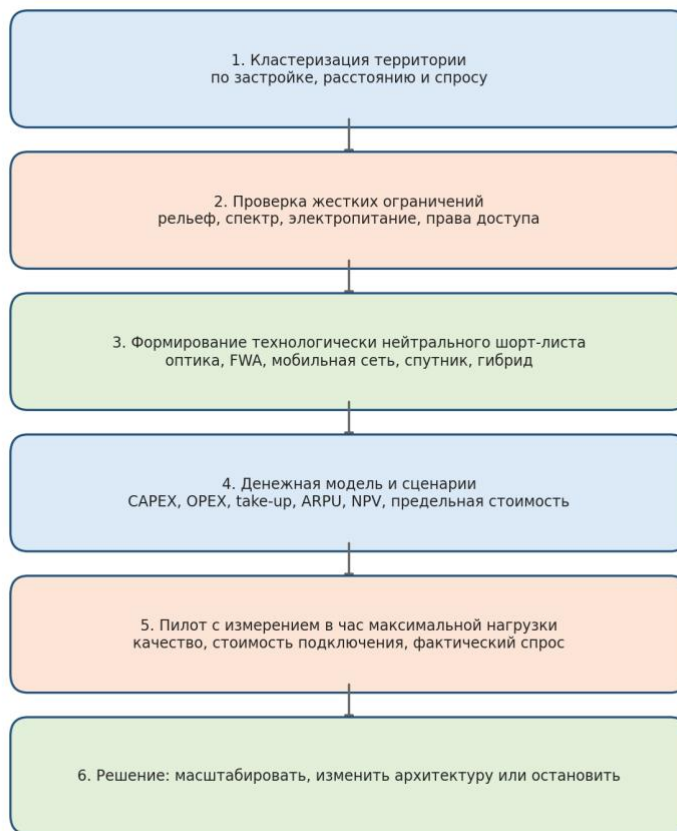


Рис. 1. Технологически нейтральный алгоритм выбора ШПД.

Источник: разработано авторами.

Шаг 1. Кластеризация и паспорт исходных данных

Паспорт кластера включает адресный спрос, плотность и тип застройки, расстояние и емкость опорной сети, трассы и права доступа, радиоусловия, электропитание и требования к качеству. Показатель населения района не заменяет адресный список.

Шаг 2. Единая денежная модель

Для оставшихся вариантов строится денежный поток на едином горизонте. CAPEX охватывает магистраль, распределение, последнюю милю, оборудование, CPE, проектирование и разрешения; OPEX — энергию, аренду, backhaul, обслуживание, транспорт, спектр, поддержку и замену оборудования.

$$TCO = CAPEX_0 + \sum_{t=1}^T \frac{OPEX_t + Reinvestment_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

NPV

$$= -CAPEX_0 + \sum_{t=1}^T \frac{Revenue_t - OPEX_t - Tax_t - Reinvestment_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

Ключевая переменная — take-up, доля технически доступных домохозяйств, ставших активными платящими абонентами. Различаются H_{passed} , $H_{serviceable}$, $H_{connected}$ и H_{active} ; удельная стоимость рассчитывается по активным подключениям.

$$Cost_{active} = \frac{CAPEX_0 + PV(OPEX - ResidualValue)}{H_{active}} \quad (3)$$

Предельная доля подключений τ_{crit} показывает минимальный take-up, при котором годовая маржа покрывает приведенные фиксированные затраты.

$$\tau_{crit} = \frac{AFC}{H_{serviceable}(12\ ARPU\ m - v_{opex})} \quad (4)$$

Если τ_{crit} выше реалистичного спроса, меняется архитектура, обосновывается субсидирование социального эффекта либо проект прекращается. Сезонные территории рассчитываются ежемесячно.

Шаг 3. Сценарии и стресс-тесты

Базовый расчет дополняется сценариями низкого, базового и высокого спроса, удорожания работ, задержек разрешений, снижения ARPU, роста трафика и досрочного расширения. Для радио отдельно проверяются спектр и загрузка сектора, для оптики — трасса и низкий take-up.

Сценарий ВКР — 120 млн руб. и 25 тыс. пользователей [1] — дает 4,8 тыс. руб. на пользователя, но не доказывает эффективность без определения знаменателя и состава затрат. Он используется только после декомпозиции как проверка согласованности.

Шаг 4. Матрица предварительного выбора

Таблица 2 задает варианты для первичного расчета. Переход к более капиталоемкой технологии оправдан подтвержденным спросом, долгим горизонтом и ограничением емкости более дешевого решения.

Таблица 2. Предварительный шорт-лист по типу территории.

Тип кластера	Варианты для расчета	Триггер капиталоемкого решения	Главный риск
многоквартирный фонд	FTTB, FTTH	высокий take-up и спрос на гигабитные/надежные сервисы	насыщенность дома конкурентами
компактный частный сектор	FTTH, специализированный FWA, гибрид	совместная прокладка и устойчивый спрос	стоимость подключения при низком take-up
малый город/поселок	FTTH ядро, гибрид, FWA	рост ядра спроса и ограничение радио	сложность эксплуатации нескольких технологий
рассредоточенные сельские адреса	специализированный FWA, мобильный FWA, спутник	достаточная концентрация и ухудшение радиоемкости	рельеф, перегрузка, стоимость CPE
новая застройка	FTTH/FTTB на этапе строительства	согласование до ввода объекта	позднее включение оператора
существующая медная сеть	DSL переходо, FWA, FTTH миграция	рост отказов или несоответствие минимальному качеству	закрепление технологического отставания

Источник: разработано авторами.

Пилот и критерии решения

Пилот фиксирует фактический CAPEX активного подключения, сроки монтажа, заявки и отказы, качество в пиковый час, доступность, запас емкости и операционную поддержку. Масштабирование допускается при выполнении минимального качества, устойчивом TCO/NPV и реалистичном спросе.

Обсуждение и ограничения

Методика не назначает универсального лидера: FTTH предпочтителен при компактной застройке и долгим горизонте, FWA — при быстром подключении рассредоточенных адресов, спутник — для изолированных точек, гибрид — для смешанной географии. Низкая цена не компенсирует невыполнение качества, а максимальная скорость не оправдывает неограниченный CAPEX.

Ограничение исследования — отсутствие адресного инженерного кейса, коммерческих предложений и фактической нагрузки. Формулы показывают структуру решения, но не заменяют полевые данные. Также необходимо учитывать, что цены оборудования, доступность спектра и регуляторные условия меняются, поэтому модель должна иметь дату и версию.

Заключение

Выбор ШПД проходит шесть стадий: кластеризация, жесткие ограничения, нейтральный шорт-лист, денежная модель, стресс-тесты и пилот. Методика снижает риск как дорогого строительства без спроса, так и дешевого решения без требуемого качества. Следующий этап — расчет по реальному кластеру Волгоградской области.

Литература

1. Лютов М.А. Разработка подходов к развитию домашнего интернета в Волгоградской области на примере деятельности компании «Билайн»: выпускная квалификационная работа. Волгоград: ВолГГТУ, 2026.
2. Росстат. Официальные статистические материалы по использованию информационно-коммуникационных технологий населением и организациями.
3. Федеральный закон от 07.07.2003 № 126-ФЗ «О связи».
4. del Portillo I., Eiskowitz S., Crawley E.F., Cameron B.G. Connecting the Other Half: Exploring Options for the 50% of the Population Unconnected to the Internet // Telecommunications Policy. 2021. Vol. 45. Art. 102092. DOI: 10.1016/j.telpol.2020.102092.
5. International Telecommunication Union. Connecting Humanity: Assessing Investment Needs of Connecting Humanity to the Internet by 2030. Geneva: ITU, 2020.
6. OECD. The Evolving Role of Satellite Networks in Rural and Remote Broadband Access. OECD Digital Economy Papers. Paris: OECD Publishing, 2017.

7. Oughton E.J. Policy Options for Broadband Infrastructure Strategies: A Simulation Model for Affordable Universal Broadband in Africa // *Telematics and Informatics*. 2023. Vol. 76. Art. 101908. DOI: 10.1016/j.tele.2022.101908.
8. Oughton E.J., Katsaros K., Entezami F., Kaleshi D., Crowcroft J. An Open-Source Techno-Economic Assessment Framework for 5G Deployment // *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. P. 155930–155940. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2949460.
9. Paltsev S. Energy Scenarios: The Value and Limits of Scenario Analysis // *WIREs Energy and Environment*. 2017. Vol. 6. e242. DOI: 10.1002/wene.242.
10. Rendon Schneir J., Ajibulu A., Konstantinou K., Bradford J., Zimmermann G., Droste H., Canto R. A Cost Study of Fixed Broadband Access Networks for Rural Areas // *Telecommunications Policy*. 2016. Vol. 40, No. 8. P. 755–773.
11. World Bank Group. Innovative Business Models for Expanding Fiber-Optic Networks and Closing the Access Gaps. Washington, DC: World Bank, 2018. Handle: 10986/31072.
12. Yaacoub E., Alouini M.-S. A Key 6G Challenge and Opportunity—Connecting the Base of the Pyramid: A Survey on Rural Connectivity // *Proceedings of the IEEE*. 2020. Vol. 108, No. 4. P. 533–582. DOI: 10.1109/JPROC.2020.2976703.

Literature

1. Lyutov M.A. Development of Approaches to Home Internet Expansion in the Volgograd Region Using Beeline as a Case Study: graduation thesis. Volgograd: Volgograd State Technical University, 2026.
2. Rosstat. Official statistical materials on the use of information and communication technologies by the population and organizations.
3. Federal Law No. 126-FZ of 7 July 2003 "On Communications".
4. del Portillo I., Eiskowitz S., Crawley E.F., Cameron B.G. Connecting the Other Half: Exploring Options for the 50% of the Population Unconnected to the Internet // *Telecommunications Policy*. 2021. Vol. 45. Art. 102092. DOI: 10.1016/j.telpol.2020.102092.

5. International Telecommunication Union. Connecting Humanity: Assessing Investment Needs of Connecting Humanity to the Internet by 2030. Geneva: ITU, 2020.
6. OECD. The Evolving Role of Satellite Networks in Rural and Remote Broadband Access. OECD Digital Economy Papers. Paris: OECD Publishing, 2017.
7. Oughton E.J. Policy Options for Broadband Infrastructure Strategies: A Simulation Model for Affordable Universal Broadband in Africa // Telematics and Informatics. 2023. Vol. 76. Art. 101908. DOI: 10.1016/j.tele.2022.101908.
8. Oughton E.J., Katsaros K., Entezami F., Kaleshi D., Crowcroft J. An Open-Source Techno-Economic Assessment Framework for 5G Deployment // IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 155930-155940. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2949460.
9. Paltsev S. Energy Scenarios: The Value and Limits of Scenario Analysis // WIREs Energy and Environment. 2017. Vol. 6. e242. DOI: 10.1002/wene.242.
10. Rendon Schneir J., Ajibulu A., Konstantinou K., Bradford J., Zimmermann G., Droste H., Canto R. A Cost Study of Fixed Broadband Access Networks for Rural Areas // Telecommunications Policy. 2016. Vol. 40, No. 8. P. 755-773.
11. World Bank Group. Innovative Business Models for Expanding Fiber-Optic Networks and Closing the Access Gaps. Washington, DC: World Bank, 2018. Handle: 10986/31072.
12. Yaacoub E., Alouini M.-S. A Key 6G Challenge and Opportunity-Connecting the Base of the Pyramid: A Survey on Rural Connectivity // Proceedings of the IEEE. 2020. Vol. 108, No. 4. P. 533-582. DOI: 10.1109/JPROC.2020.2976703.