

УДК 004.052/.722

## К ВОПРОСУ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ И ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО УЗЛА СВЯЗИ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Дьяченко Р.А., Борисов С.Н.

ФБГОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, e-mail: emassage@rambler.ru

В настоящем исследовании рассмотрены наиболее распространенные технологии и топологии сетей, используемые при построении телекоммуникационных узлов связи, и дана оценка надежности для каждого из решений. Рассмотрена проблема оптимального выбора сетевой структуры для телекоммуникационных предприятий. На примере небольшого района составлены пять схем организации связи и выбрано наиболее подходящее оборудование. Для оценки надежности произведено моделирование каждого технического решения в программном комплексе автоматизированного структурно-логического моделирования «АРБИТР». На основе результатов моделирования сделан выбор наиболее оптимального решения с учетом заранее заданных ограничений. Для выбранного варианта составлено краткое заключение о его реальном применении в современных телекоммуникационных сетях, а также о перспективах применения специализированных программных комплексов для расчета показателей надежности.

**Ключевые слова:** оптимизация, сеть, топология, АРБИТР, моделирование, надежность

## TO THE QUESTION OF OPTIMAL CHOICE OF TECHNOLOGY AND INTERNAL STRUCTURE FOR TELECOMMUNICATION NODE DURING DESIGN PHASE

Dyachenko R.A., Borisov S.N.

Kuban State Technological University, Krasnodar, e-mail: emassage@rambler.ru

In the present study, the most common technologies and network topologies used in the construction of telecommunications communication nodes are considered, and reliability is estimated for each of the solutions. The problem of the optimal choice of network structure for telecommunication enterprises is considered. Taking as an example a small region, five communication schemes were drawn up and the most suitable equipment was selected. To assess reliability, the modeling of each technical solution in the software package of automated structural-logical modeling «ARBITER» was made. Based on the simulation results, the choice of the most optimal solution is made, taking into account predetermined limitations. For the chosen variant, a brief conclusion was made about its real application in modern telecommunication networks, as well as about the prospects of using specialized software complexes for calculating reliability indicators.

**Keywords:** optimization, network, topology, ARBITER, modeling, reliability

Современные телекоммуникационные предприятия периодически сталкиваются с необходимостью расширения собственной сети связи. Как правило, оно производится путем развертывания новых узлов связи, которые обеспечивают предоставление телекоммуникационных услуг на конкретной территории.

Для каждого нового узла связи необходимо выбрать подходящую технологию предоставления услуг. В наше время таких технологий немало. Все они используют широко распространенные протоколы передачи данных и являются совместимыми между собой, начиная со второго уровня модели *OSI*. Совместимость современных технологий передачи данных позволяет операторам связи преодолевать ограничения, связанные с использованием того или иного оборудования, а также быстро и легко модернизировать имеющиеся сети.

В большинстве случаев при таком многообразии всегда существует несколько вариантов построения узлов связи.

Выбор конкретного технологического варианта является достаточно сложной задачей. Основными критериями при выборе

обычно становятся стоимость оборудования и расходы, связанные с первоначальным развертыванием. Однако при таком подходе предприятия не всегда получают ожидаемый результат, поскольку не учитывают множество других критериев и связи между ними.

Проблема построения новых узлов связи заключается в неочевидности правильного выбора технологической схемы и необходимости минимизации расходов на создание и эксплуатацию узла связи в течение срока безотказной работы, гарантированного производителем оборудования.

### Начальные условия и ограничения при проектировании

Проблема оптимального выбора варианта построения узла связи может быть рассмотрена на примере небольшого микрорайона, состоящего из двадцати трех шестнадцатизэтажных домов. Для этого в качестве возможных вариантов составлено пять схем узла связи на основе четырех наиболее распространенных технологий организации последней мили – *Ethernet*, *GPON*, *ADSL* и *WiFi* [1].

В качестве ограничений можно принять стоимость развертывания не более полутора миллионов рублей, стоимость ежегодной эксплуатации не более ста пятидесяти тысяч рублей и стоимость абонентского комплекта, которая не должна превышать десять тысяч рублей. Для источников бесперебойного питания обязательной является возможность обеспечения работы оборудования в течение не менее четырех часов с момента отключения внешнего питания [2].

Целью проектирования является выбор наиболее отказоустойчивого варианта организации доступа к телематическим и телефонным услугам связи для не менее чем одной тысячи абонентов.

### Множество решений

В целях формализации задачи вводим следующие обозначения.

Множество решений  $S$  можно представить в виде вектора

$$S = \{s_1, s_2, s_3, s_4, s_5\},$$

где  $s_i$  – техническое решение по построению узла связи, обеспечивающего работу абонентов

$$s_i = \{c_i, e_i, P_i, W_i, D_i\}, S \subset R^n,$$

где  $c_i$  – стоимость развертывания,  
 $e_i$  – стоимость годичной эксплуатации,  
 $P_i$  – вероятность безотказной работы,  
 $W_i$  – суммарная потребляемая мощность,  
 $D_i$  – стоимость абонентского комплекта.

Стоимость развертывания узла связи  $c_i$  выражается суммой всех затрат на приобретение оборудования в соответствии со структурной схемой узла связи:

$$c_i = \sum_{n=1}^{m_1} A_n + \sum_{n=1}^{m_2} K_n + \sum_{n=1}^{m_3} k_n + \sum_{n=1}^{m_4} B_n + \sum_{n=1}^{m_5} M_n,$$

где  $A_n$  – стоимость единицы активного сетевого оборудования,

$K_n$  – стоимость каждого магистрального кабельного соединения,

$k_n$  – стоимость каждой абонентской линии,

$B_n$  – стоимость единицы силового оборудования,

$M_n$  – стоимость единицы пассивного сетевого оборудования.

Стоимость годичной эксплуатации  $e_i$  выражается, для предприятий отрасли связи, суммой затрат на оплату электроэнергии и затрат необходимых для поддержания безотказной работы оборудования данного узла связи, которые обычно принимаются на уровне 10% от стоимости развертывания.

$$e_i = W_i T + 0,1 c_i,$$

где  $W_i$  – суммарная потребляемая мощность за один год,

$T$  – тариф на электроэнергию.

Для оценки работоспособности системы  $P_i$  используется программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования «АРБИТР» [3–6]. Для получения оценки работоспособности для каждого технического решения создается схема функциональной целостности [7, 8].

Мощность, потребляемая за один год,  $W_i$ , выражается произведением суммы мощностей, потребляемых каждым элементом сети отдельно, на количество часов в году

$$W_i = \sum_{n=1}^m a_n \cdot 8760,$$

где  $a_n$  – мощность, потребляемая элементом схемы, кВт.

Стоимость абонентского комплекта  $D_i$  принимается равной стоимости оборудования, минимально необходимого для получения доступа к сети интернет и одного телефонного номера:

$$D_i = \sum_{n=1}^m d_n,$$

где  $d_n$  – стоимость каждого устройства из абонентского комплекта.

### Кольцевая топология с предоставлением доступа к сети по технологии Ethernet

Таблица 1

Пример характеристик узла связи на основе технологии Ethernet

Наименование	Значение	Ед. изм.
Протяженность магистральных линий связи	850	м
Протяженность абонентских линий связи	7656	м
Стоимость абонентского комплекта	2658	руб.

Таблица 2

Пример расчета стоимости развертывания узла связи  $c_i$  на основе технологии Ethernet

Наименование затрат	Кол-во	Ед. изм.	Цена, р.	Сумма, р.
Switch Eltex MES3124F	1	шт.	53500	53500
Switch Eltex MES2348B	25	шт.	39000	975000
Кабель оптический (4 волокна)	850	м	20	17000
Кабель UTP-5	7656	м	12	91872
ИБЭП MapSin MAP-PRO-12-1-3, 1,3 кВт	1	шт.	23900	23900
АКБ 12В, 90А	1	шт.	13500	13500
			Итого:	1266644

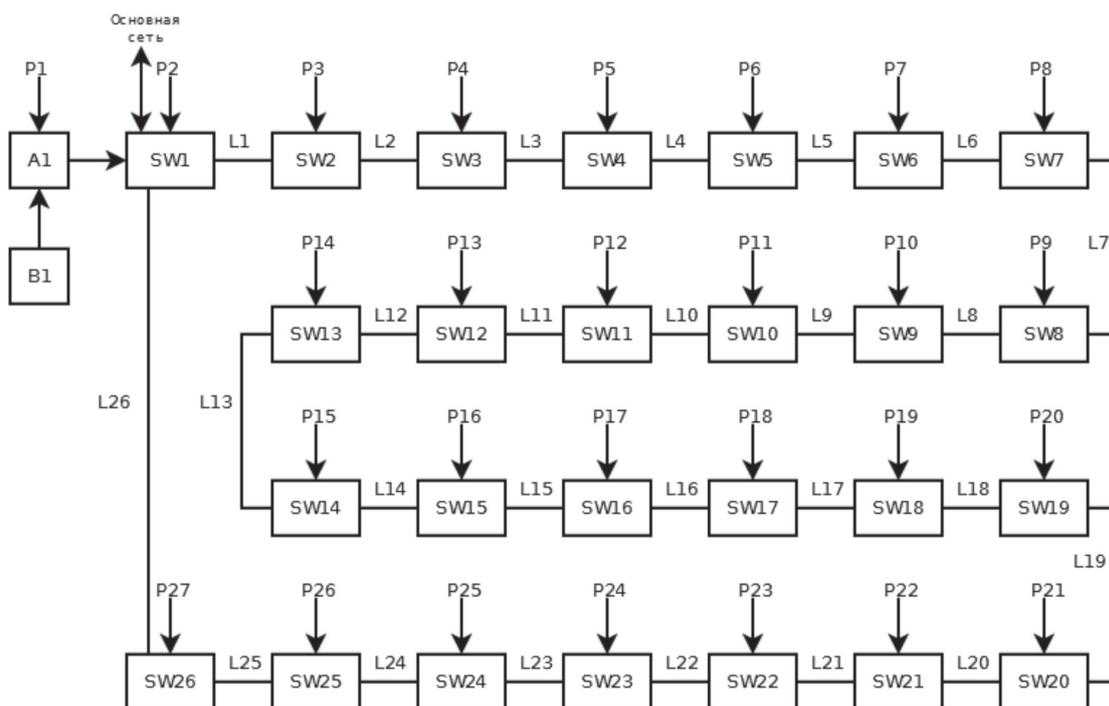


Рис. 1. Схема узла связи на основе технологии Ethernet, где SW1 – коммутатор уровня агрегации, SW2-SW26 – коммутаторы уровня доступа, A1 – источник бесперебойного питания, B1 – аккумуляторная батарея, P1-P27 – точки подключения внешнего питания 220 вольт, L1-L26 – линии связи

Таблица 3

Пример характеристик оборудования узла связи на основе технологии Ethernet

Наименование оборудования	MTBF, лет	Мощность, ватт
Switch Eltex MES3124F	30	50
Switch Eltex MES2348B	30	65
ИБЭП MapSin MAP-PRO-12-1-3, 1,3кВт	10	15

**Кольцевая топология с предоставлением доступа к сети по технологии GPON**

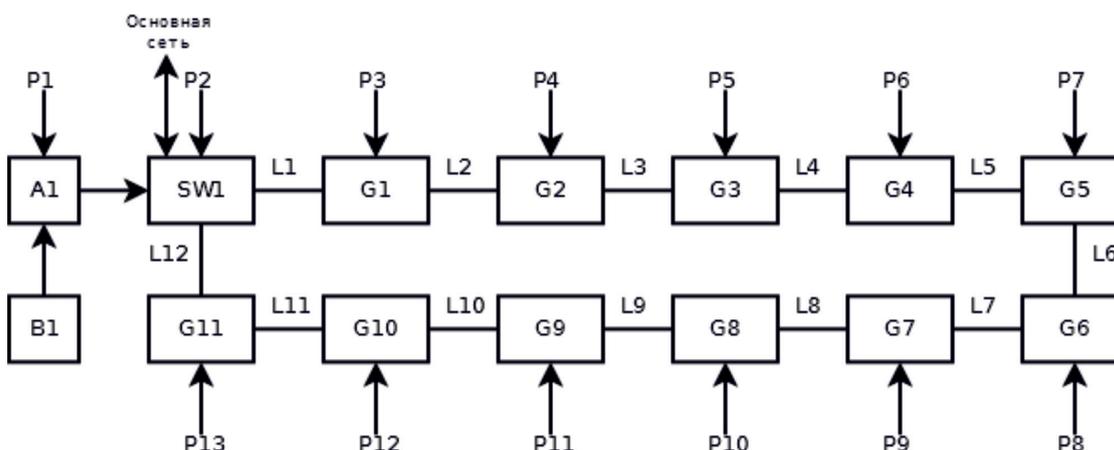


Рис. 2. Схема узла связи на основе технологии GPON и кольцевой топологии сети, где SW1 – коммутатор уровня агрегации, G1-G11 – стационарные терминалы GPON, A1 – источник бесперебойного питания, B1 – аккумуляторная батарея, P – точка подключения внешнего питания 220 вольт, L1-L12 – линии связи

Таблица 4

Пример характеристик узла связи *GPON* и кольцевой топологии сети

Наименование	Значение	Ед. изм.
Протяженность магистральных линий связи	850	м
Протяженность абонентских линий связи	7656	м
Стоимость абонентского комплекта	5750	руб.

Таблица 5

Пример расчета стоимости развертывания узла связи  $c_i$  на основе технологии *GPON* и кольцевой топологии сети

Наименование затрат	Кол-во	Ед. изм.	Цена, р.	Сумма, р.
Switch Eltex MES3124F	1	шт.	53500	53500
GPON Eltex OLT LTP-4X	11	шт.	84500	929500
Кабель оптический внешний	850	м	20	17000
Кабель оптический внутренний	7656	м	10	76560
ИБЭП MapSin MAP-PRO-12-1-3, 1,3 кВт	1	шт.	23900	23900
АКБ 12В, 90А	1	шт.	13500	13500
			Итого:	1113960

Таблица 6

Пример характеристик оборудования связи на основе технологии *GPON* и кольцевой топологии сети

Наименование оборудования	MTBF, лет	Мощность, ватт
Switch Eltex MES3124F	30	50
GPON Eltex OLT LTP-4X	30	40
ИБЭП MapSin MAP-PRO-12-1-3, 1,3 кВт	10	15

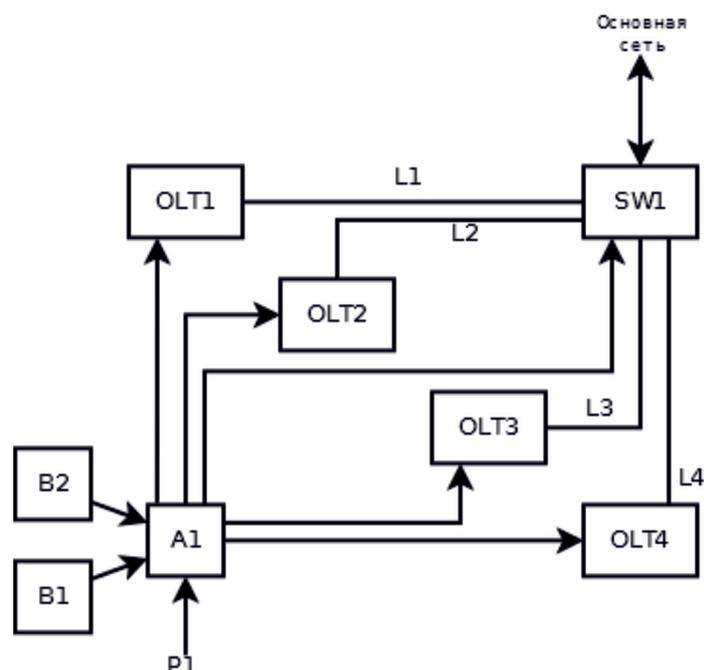
Технология *GPON* без кольцевой топологии

Рис. 3. Схема узла связи на основе технологии *GPON* без кольцевой топологии сети, где *SW1* – коммутатор уровня агрегации, *G1-G4* – стационарные терминалы *GPON*, *A1* – источник бесперебойного питания, *B1-B2* – аккумуляторные батареи, *P* – точка подключения внешнего питания 220 вольт, *L1-L4* – линии связи

**Таблица 7**

Пример характеристик узла связи на основе технологии GPON без кольцевой топологии сети

Наименование	Значение	Ед. изм.
Протяженность абонентских линий связи	8336	м
Стоимость абонентского комплекта	5750	руб.

**Таблица 8**

Пример расчета стоимости развертывания узла связи  $c_i$  на основе технологии GPON без кольцевой топологии сети

Наименование затрат	Кол-во	Ед. изм.	Цена, р.	Сумма, р.
Switch Eltex MES3124F	1	шт.	53500	53500
GPON Eltex OLT LTP-8X	4	шт.	152750	611000
Кабель оптический внешний	710	м	43	30530
Кабель оптический внутренний	7656	м	10	76560
ИБЭП MapSin MAP-PRO-12-1-3, 1,3 кВт	1	шт.	23900	23900
АКБ 12В, 90А	2	шт.	13500	27000
			Итого:	822490

**Таблица 9**

Пример характеристик оборудования связи на основе технологии GPON без кольцевой топологии сети

Наименование оборудования	MTBF, лет	Мощность, ватт
Switch Eltex MES3124F	30	50
GPON Eltex OLT LTP-8X	30	55
ИБЭП MapSin MAP-PRO-12-1-3, 1,3 кВт	10	15

**Технология ADSL**

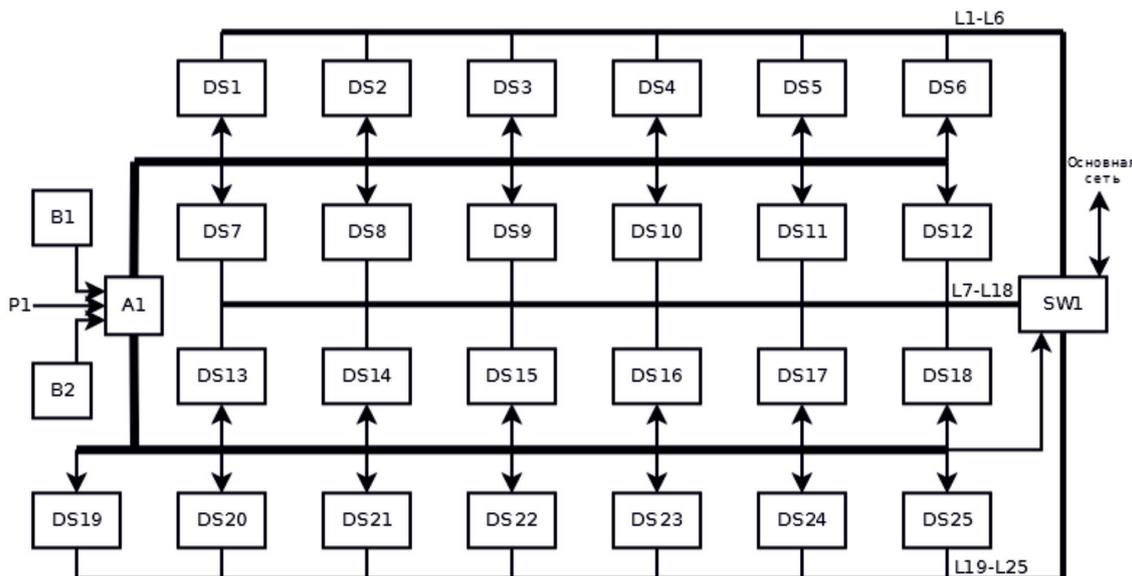


Рис. 4. Схема узла связи на основе технологии ADSL, где SW1 – коммутатор уровня агрегации, DS1-DS25 – станционные терминалы DSLAM, A1 – источник бесперебойного питания, B1-B2 – аккумуляторные батареи, P – точка подключения внешнего питания 220 вольт, L1-L25 – линии связи

Таблица 10

Пример характеристик узла связи на основе технологии ADSL

Наименование	Значение	Ед. изм.
Протяженность абонентских линий связи	13179	м
Стоимость абонентского комплекта	5660	руб.

Таблица 11

Пример расчета стоимости развертывания узла связи  $c_i$  на основе технологии ADSL

Наименование затрат	Кол-во	Ед. изм.	Цена, р.	Сумма, р.
Switch Eltex MES2348B	1	шт.	39000	39000
DSLAM Eltex MXA-64	25	шт.	149250	3731250
Кабель внешний	5523	м	168	927864
Кабель внутренний	7656	м	4	30624
ИБЭП 220В/48В	1	шт.	156200	156200
АКБ 12В, 190А	2	шт.	38500	77000
			Итого:	4961938

Таблица 12

Пример характеристик оборудования связи на основе технологии ADSL

Наименование оборудования	MTBF, лет	Мощность, ватт
Switch Eltex MES2348B	30	65
DSLAM Eltex MXA-64	30	65
ИБЭП 220В/48В	20	25

## Технология WiFi

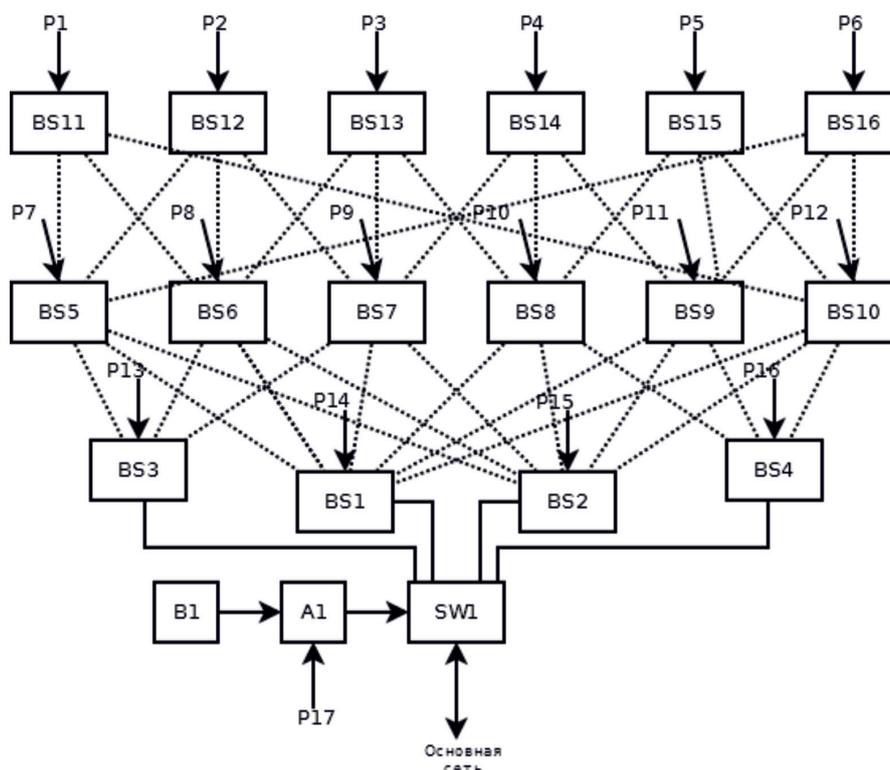


Рис. 5. Схема узла связи на основе технологии WiFi, где SW1 – коммутатор уровня агрегации, BS1-BS16 – базовые станции WiFi, А1 – источник бесперебойного питания, B1 – аккумуляторная батарея, P1-P17 – точка подключения внешнего питания 220 вольт

**Таблица 13**

Пример характеристик узла связи на основе технологии *WiFi*

Наименование	Значение	Ед. изм.
Стоимость абонентского комплекта	15183	руб.

**Таблица 14**

Пример расчета стоимости развертывания узла связи  $c_i$  на основе технологии *WiFi*

Наименование затрат	Кол-во	Ед. изм.	Цена, р.	Сумма, р.
Switch Eltex MES3124F	1	шт.	53500	53500
БС <i>Eltex WOP-12AC-LR</i> (комплект)	16	шт.	33377	534032
ИБЭП <i>MapSin MAP-PRO-12-1-3, 1,3кВт</i>	1	шт.	23900	23900
АКБ 12В, 90А	1	шт.	13500	13500
			Итого:	624932

**Таблица 15**

Пример характеристик оборудования связи на основе технологии *WiFi*

Наименование оборудования	MTBF, лет	Мощность, ватт
Switch Eltex MES3124F	30	50
БС <i>Eltex WOP-12AC-LR</i>	11	40
ИБЭП <i>MapSin MAP-PRO-12-1-3, 1,3кВт</i>	10	15

### Решение

Данная задача оптимизации заключается в нахождении технического решения  $s$ , принадлежащего множеству  $S$ , надежность которого максимальна, при условии соблюдения введенных ограничений. Задача может быть представлена следующим образом:

$$f(s) = \{c_i, e_i, P_i, W_i, D_i\} \rightarrow \max, s \in S,$$

при ограничениях:

$$0 \leq c_i \leq 1500000, 0 \leq e_i \leq 150000, 0 \leq D_i \leq 10000.$$

Принимая во внимание ограничения, можно исключить варианты с применением технологий *Ethernet*, *ADSL* и *WiFi* из множества решений. Среди оставшихся условие  $P_i \rightarrow \max$  для технологии *GPON* без применения кольцевой топологии, что и является решением.

**Таблица 16**

Пространство решений

Технология построения	$c_i$	$e_i$	$P_i$	$W_i$	$D_i$
Ethernet	1266644	190027,23	0.876693	14804,4	2658
<i>GPON</i> , кольцевая топология	1113960	121144,13	0.905503	2277,6	5750
<i>GPON</i>	822490	112055,78	0.958433	6964,2	5750
<i>ADSL</i>	4961938	560119,01	0.964915	14935,8	5660
<i>WiFi</i>	624932	121110,32	0.958335	6175,8	15183

### Заключение

Полученные результаты во многом указывают на правильность повсеместного применения операторами связи технологии *GPON* для развития собственных сетей. Варианты построения сети на базе оборудования *GPON* являются одними из наименее затратных при долгосрочной эксплуатации, а также имеют наибольшую абонентскую емкость из всех

приведенных, что заметно снижает количество потенциальных точек отказа.

По итогам исследования очень распространенная кольцевая топология является менее надежной, что обусловлено отсутствием хордовых связей.

Применение программного комплекса автоматизированного структурно-логического моделирования АРБИТР позволяет быстро и эффективно рассчитать надеж-

ность сложно-структурированных сетей. Для повышения точности принимаемого решения возможен учет большего количества факторов.

#### Список литературы

1. Атрощенко В.А., Кабанков Ю.А., Лоба И.С., Дьяченко Р.А. Методика оптимального выбора оборудования для систем гарантированного электроснабжения // *Современные проблемы науки и образования*. – 2014. – № 5.; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=15297> (дата обращения: 22.07.2017).
2. Атрощенко В.А., Степанов В.В., Юферова О.С., Кабанков Ю.А., Савицкий Ю.А. К вопросу построения аналитической модели межрегиональной распределительной сети / В.А. Атрощенко, В.В. Степанов // В сборнике: VI Международная научно-практическая конференция молодых ученых, посвященная 55-й годовщине полета Ю.А. Гагарина в космос. КВВАУЛ им. А.К. Серова. – 2016. – С. 225–229.
3. Дьяченко Р.А., Махаммад М.Д. Принятие решений при выборе инструментальных средств разработки автоматизированных систем / Р.А. Дьяченко, М.Д. Махаммад // *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление*. – 2009. – Т. 1, № 72. – С. 106–109.
4. Можаяев А.С. Технология автоматизированного структурно-логического моделирования надежности, живучести, безопасности, эффективности и риска функционирования систем / А.С. Можаяев // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*. – 2008. – № 9. – С. 1–14.
5. Можаяев А.С., Нозик А.А., Струков А.В. Оценка надежности системы из элементов с тремя состояниями с использованием ПК АРБИТР / А.С. Можаяев // *Труды СПИИРАН*. – 2013. – № 8 (31). – С. 123–146.
6. Нозик А.А., Можаяев А.С., Струков А.В., Гладкова И.А. Применение программного комплекса АРБИТР в задачах проектной оценки надежности структурно-сложных систем / А.А. Нозик, А.С. Можаяев // В сборнике: Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Международный научный семинар им. Ю.Н. Руденко. – 2015. – С. 624–633.
7. Рябинин И.А., Можаяев А.С., Свиринов С.К., Поленин В.И. Технология автоматизированного моделирования структурно-сложных систем / И.А. Рябинин, А.С. Можаяев // *Морская радиоэлектроника*. – 2008. – № 2. – С. 52–55.
8. Гладкова И.А., Можаяев А.С., Мусаев А.А. Метод логико-детерминированного моделирования сетевых систем / И.А. Гладкова, А.С. Можаяев // *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*. – 2012. – № 14. – С. 89–96.