

Internet Engineering Task Force (IETF)  
Request for Comments: 9350  
Category: Standards Track  
ISSN: 2070-1721

P. Psenak, Ed.  
Cisco Systems, Inc.  
S. Hegde  
Juniper Networks, Inc.  
C. Filsfils  
Cisco Systems, Inc.  
K. Talaulikar  
Cisco Systems, Inc.  
A. Gulko  
Edward Jones  
February 2023

## IGP Flexible Algorithm

Гибкий алгоритм IGP

### Аннотация

Протоколы IGP исторически рассчитывают лучшие пути на основе метрики IGP, назначенной для каналов. Во многих сетях применяется RSVP-TE или SR-TE (Segment Routing - Traffic Engineering) для направления трафика по пути, рассчитанному с использованием иной метрики или ограничений, нежели для лучшего пути IGP. Этот документ предлагает решение, позволяющее протоколам IGP самостоятельно рассчитывать пути через сеть с учётом ограничений. Документ также задаёт способ использования SR Prefix-SID и локаторов SRv6 для направления пакетов по путям, рассчитанным на основе ограничений.

### Статус документа

Документ относится к категории Internet Standards Track.

Документ является результатом работы IETF<sup>1</sup> и представляет согласованный взгляд сообщества IETF. Документ прошёл открытое обсуждение и был одобрен для публикации IESG<sup>2</sup>. Дополнительную информацию о стандартах Internet можно найти в разделе 2 в RFC 7841.

Информация о текущем статусе документа, найденных ошибках и способах обратной связи доступна по ссылке <https://www.rfc-editor.org/info/rfc9350>.

### Авторские права

Copyright (c) 2023. Авторские права принадлежат IETF Trust и лицам, указанным в качестве авторов документа. Все права защищены.

К документу применимы права и ограничения, указанные в BCP 78 и IETF Trust Legal Provisions и относящиеся к документам IETF (<http://trustee.ietf.org/license-info>), на момент публикации данного документа. Прочтите упомянутые документы внимательно. Фрагменты программного кода, включённые в этот документ, распространяются в соответствии с упрощённой лицензией BSD, как указано в параграфе 4.e документа IETF Trust Legal Provisions, без каких-либо гарантий (как указано в Simplified BSD License).

## Оглавление

1. Введение.....	2
2. Уровни требований.....	2
3. Терминология.....	3
4. Гибкий алгоритм.....	3
5. Анонсирование определения гибкого алгоритма.....	3
5.1. IS-IS FAD Sub-TLV.....	3
5.2. OSPF FAD TLV.....	4
5.3. Базовая обработка FAD TLV.....	4
6. Sub-TLV для IS-IS FAD Sub-TLV.....	5
6.1. IS-IS Flexible Algorithm Exclude Admin Group Sub-TLV.....	5
6.2. IS-IS Flexible Algorithm Include-Any Admin Group Sub-TLV.....	5
6.3. IS-IS Flexible Algorithm Include-All Admin Group Sub-TLV.....	6
6.4. IS-IS Flexible Algorithm Definition Flags Sub-TLV.....	6
6.5. IS-IS Flexible Algorithm Exclude SRLG Sub-TLV.....	7
7. Sub-TLV для OSPF FAD TLV.....	7
7.1. OSPF Flexible Algorithm Exclude Admin Group Sub-TLV.....	7
7.2. OSPF Flexible Algorithm Include-Any Admin Group Sub-TLV.....	7
7.3. OSPF Flexible Algorithm Include-All Admin Group Sub-TLV.....	8
7.4. OSPF Flexible Algorithm Definition Flags Sub-TLV.....	8
7.5. OSPF Flexible Algorithm Exclude SRLG Sub-TLV.....	9
8. IS-IS Flexible Algorithm Prefix Metric Sub-TLV.....	9
9. OSPF Flexible Algorithm Prefix Metric Sub-TLV.....	9

<sup>1</sup>Internet Engineering Task Force - комиссия по решению инженерных задач Internet.

<sup>2</sup>Internet Engineering Steering Group - комиссия по инженерным разработкам Internet.

10. Гибкий алгоритм OSPF для анонсирования доступности ASBR.....	10
10.1. OSPFv2 Extended Inter-Area ASBR LSA.....	10
10.1.1. OSPFv2 Extended Inter-Area ASBR TLV.....	11
10.2. OSPF Flexible Algorithm ASBR Metric Sub-TLV.....	11
11. Анонсирование участия узла в Flex-Algorithm.....	12
11.1. Анонсирование участия узла в SR.....	12
11.2. Анонсирование участия узла в других плоскостях данных.....	12
12. Анонсирование атрибутов канала для Flex-Algorithm.....	12
13. Расчёт путей по гибкому алгоритму.....	12
13.1. Множество областей и доменов.....	13
14. Flex-Algorithm и плоскость пересылки.....	14
14.1. Пересылка MPLS SR для Flex-Algorithm.....	14
14.2. Пересылка SRv6 для Flex-Algorithm.....	14
14.3. Пересылка для Flex-Algorithm в других плоскостях данных.....	15
15. Эксплуатационные соображения.....	15
15.1. Работа в нескольких областях.....	15
15.2. Использование правила исключения SRLG с Flex-Algorithm.....	15
15.3. Max-Metric.....	15
15.4. Задание и изменение гибкого алгоритма.....	16
15.5. Число гибких алгоритмов.....	16
16. Совместимость с имеющимися расширениями.....	16
17. Вопросы безопасности.....	16
18. Взаимодействие с IANA.....	16
18.1. Взаимодействие с IANA для IGP.....	16
18.1.1. Реестр IGP Algorithm Types.....	16
18.1.2. Реестр IGP Metric-Type.....	16
18.2. Реестр IGP Flexible Algorithm Definition Flags.....	16
18.3. Взаимодействие с IANA для IS-IS.....	17
18.3.1. Реестр IS-IS Sub-TLVs for IS-IS Router CAPABILITY TLV.....	17
18.3.2. Реестр IS-IS Sub-TLVs for TLVs Advertising Prefix Reachability.....	17
18.3.3. Реестр IS-IS Sub-Sub-TLVs for Flexible Algorithm Definition Sub-TLV.....	17
18.4. Взаимодействие с IANA для OSPF.....	17
18.4.1. Реестр OSPF Router Information (RI) TLVs.....	17
18.4.2. Реестр OSPFv2 Extended Prefix TLV Sub-TLVs.....	17
18.4.3. Реестр OSPFv3 Extended-LSA Sub-TLVs.....	17
18.4.4. Реестр OSPF Flex-Algorithm Prefix Metric Bits.....	17
18.4.5. Реестр Opaque Link-State Advertisements (LSA) Option Types.....	17
18.4.6. Реестр OSPFv2 Extended Inter-Area ASBR TLVs.....	17
18.4.7. Реестр OSPFv2 Extended Inter-Area ASBR Sub-TLVs.....	18
18.4.8. Реестр OSPF Flexible Algorithm Definition TLV Sub-TLVs.....	18
18.4.9. Реестр Link Attribute Application Identifiers.....	18
19. Литература.....	18
19.1. Нормативные документы.....	18
19.2. Дополнительная литература.....	19
Благодарности.....	20
Адреса авторов.....	20

## 1. Введение

Путь, вычисляемый IGP по кратчайшей метрике IGP, часто заменяется путём организации трафика из-за наличия требований, не отражаемых метрикой IGP. В некоторых сетях метрика IGP назначается так, чтобы она отражала пропускную способность или задержку. Например, если метрика IGP отражает пропускную способность канала, а пользовательский трафик чувствителен к задержкам, выбранный IGP путь может быть не лучшим для пользователя.

Для преодоления таких ограничений были развёрнуты различные виды организации трафика (Traffic Engineering или TE), включая RSVP-TE и SR-TE, где компонент TE отвечает за расчёт путей на основе дополнительных показателей и/или ограничений. Такие пути нужно поместить в таблицы пересылки в дополнение или на замену исходных путей, рассчитанных IGP. Часто применяются туннели для представления организованных путей и механизмов, подобных описанному в [RFC3906], служащие заменой для исходных путей IGP.

Этот документ задаёт набор расширений для IS-IS, OSPFv2 и OSPFv3, позволяющих маршрутизатору анонсировать TLV, которые указывают (а) тип расчёта и (b) метрики, а также (c) описывают ограничения топологии, применяемые при расчёте лучшего пути в топологии с ограничениями. Эту комбинацию типа расчёта, типа метрики и ограничений называют определением гибкого алгоритма (Flexible Algorithm Definition или FAD). Маршрутизатор, передающий такие TLV, задаёт значение Flex-Algorithm для выбранной комбинации FAD.

Этот документ также задаёт для маршрутизаторов способ использовать IGP для связывания конкретного Flex-Algorithm с Prefix-SID маршрутизации по сегментам (Segment Routing или SR) с плоскостью данных MPLS (SR-MPLS) [RFC8660] или локаторами SR через IPv6 (SRv6) [RFC8986]. Каждый такой Prefix-SID или локатор SRv6 тогда представляет путь, рассчитанный в соответствии с указанным Flex-Algorithm. В SRv6 это локатор, а не идентификатор сегмента (Segment Identifier или SID), держит привязку алгоритма.

## 2. Уровни требований

Ключевые слова **должно** (MUST), **недопустимо** (MUST NOT), **требуется** (REQUIRED), **нужно** (SHALL), **не следует** (SHALL NOT), **следует** (SHOULD), **не нужно** (SHOULD NOT), **рекомендуется** (RECOMMENDED), **не рекомендуется** (NOT RECOMMENDED), **возможно** (MAY), **необязательно** (OPTIONAL) в данном документе интерпретируются в соответствии с BCP 14 [RFC2119] [RFC8174] тогда и только тогда, когда они выделены шрифтом, как показано здесь.

### 3. Терминология

В этом разделе даны определения часто используемых в документе терминов.

#### **Flexible Algorithm Definition (FAD)**

Определение гибкого алгоритма - (a) тип расчёта, (b) тип метрики, (c) набор ограничений.

#### **Flex-Algorithm**

Числовой идентификатор из диапазона 128-255, связанный через конфигурацию с FAD.

#### **Flexible Algorithm Participation**

Участие в гибком алгоритме по состоянию конфигурации плоскости данных. Не всем маршрутизаторам данной сети требуется участвовать в данном гибком алгоритме. Гибкие алгоритмы, в которых участвует данный маршрутизатор, указывает конфигурация.

#### **IGP Algorithm**

Значение из реестра IGP Algorithm Types в группе реестров Interior Gateway Protocol (IGP) Parameters. Алгоритмы IGP представляются триплетом (calculation-type, metric-type, constraints), где второй и третий элементы необязательны.

#### **ABR**

Area Border Router - граничный маршрутизатор области. В терминологии IS-IS называется также маршрутизатором уровня 1 (L1) или уровня 2 (L2).

#### **ASBR**

Autonomous System Border Router - граничный маршрутизатор автономной системы.

### 4. Гибкий алгоритм

При вычислении пути через сеть можно применять много разных ограничений. Некоторые сети развёрнуты как несколько плоскостей и простая форма ограничений может быть связана с использованием конкретной плоскости. Более сложные ограничения могут включать ту или иную расширенную метрику, как описано в [RFC8570]. Возможны также ограничения связанные с выбором определённых каналов или исключением каналов с определённой близостью (affinity). Допускается сочетание разных ограничений.

Для максимальной гибкости предоставляется механизм, позволяющий маршрутизатору указать конкретный тип расчёт (calculation-type) и метрики (metric-type), описать набор ограничений и назначить числовой идентификатор (Flex-Algorithm) такой комбинации. Сопоставление Flex-Algorithm с его предназначением является гибким и задаётся пользователем. Пока у всех маршрутизаторов домена есть общее представление Flex-Algorithm, расчёт маршрутов будет согласованным и трафик не будет попадать в петли.

Набор из (a) типа расчёта, (b) типа метрики и (c) ограничений называют определением гибкого алгоритма (FAD). Flex-Algorithm - это числовой идентификатор из диапазона 128-255, связанный через конфигурацию с FAD.

В реестре IANA IGP Algorithm Types задан набор значений для алгоритмов IGP, где для гибких алгоритмов выделены значения 128-255.

### 5. Анонсирование определения гибкого алгоритма

Для гарантии отсутствия петель пересылке на путях, рассчитанных с конкретным Flex-Algorithm, все маршрутизаторы, (a) настроенные на участие в определённом Flex-Algorithm и (b) находящиеся в одной области анонсирования FAD, **должны** согласовать определение Flex-Algorithm, как описано в последующих параграфах.

#### 5.1. IS-IS FAD Sub-TLV

IS-IS Flexible Algorithm Definition (FAD) sub-TLV применяется для анонсирования определения Flex-Algorithm. IS-IS FAD sub-TLV анонсируются как sub-TLV в IS-IS Router CAPABILITY TLV (242), определённом в [RFC7981]. Формат IS-IS FAD sub-TLV приведён ниже.

```

0          1          2          3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
|   Type   | Length | Flex-Algorithm | Metric-Type |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Calc-Type | Priority |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
|                                     | Sub-TLVs |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
|                                     |           |
|                                     |           |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

#### **Type**

26

#### **Length**

Число октетов в зависимости от включённых sub-TLV.

#### **Flex-Algorithm**

Номер гибкого алгоритма - 1-октетное значение от 128 до 255, включительно.

#### **Metric-Type**

Тип метрики из реестра IANA IGP Metric-Type (параграф 18.1.2) для использования в расчётах. Заданы 3 значения:

**0**

Метрика IGP

**1**

Min Unidirectional Link Delay в соответствии с параграфом 4.2 в [RFC8570], представленная как определяемый приложением атрибут канала в соответствии с [RFC8919] и разделом 12 этого документа.

**2**

Traffic Engineering Default Metric в соответствии с параграфом 3.7 в [RFC5305], представленная как определяемый приложением атрибут канала в соответствии с [RFC8919] и разделом 12 этого документа.

**Calc-Type**

Тип расчёта - значение от 0 до 127 (включительно) из реестра IANA IGP Algorithm Types в группе реестров Interior Gateway Protocol (IGP) Parameters. Алгоритмы IGP из диапазона 0-127 имеют триплет (тип расчета, тип метрики, ограничения). При использовании для задания calculation-type в FAD sub-TLV применяется лишь calculation-type для соответствующего IGP Algorithm, наследование метрики и ограничений **недопустимо**. Если требуемым типом расчёта является Shortest Path First, в поле **должно** помещаться значение 0.

**Priority**

Значение от 0 до 255 (включительно), задающее приоритет анонса. Большее значение указывает более высокий приоритет. Использование приоритета описано в параграфе 5.3. Базовая обработка FAD TLV.

**Sub-TLVs**

Необязательные sub-TLV.

IS-IS FAD sub-TLV **можно** анонсировать в пути с коммутацией по меткам (Label Switched Path или LSP) с любым номером. Маршрутизатор IS-IS **может** анонсировать более 1 IS-IS FAD sub-TLV для данного гибкого алгоритма (см. 6. Sub-TLV для IS-IS FAD Sub-TLV).

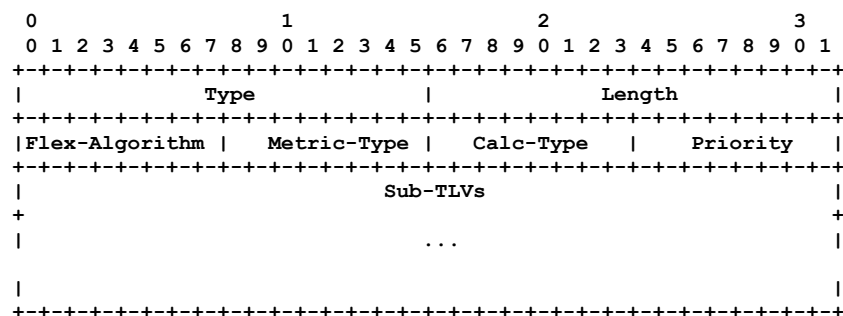
IS-IS FAD sub-TLV имеет область (уровень) действия. В Router Capability TLV с FAD sub-TLV **должен** быть сброшен флаг S.

Маршрутизатор IS-IS L1/L2 **можно** настроить для регенерации выигравшего FAD с уровня 2 без изменений в область уровня 1. Регенерация FAD sub-TLV from с уровня 2 на уровень 1 определяется маршрутизатором L1/L2, а не источником анонса FAD на уровне 2. В таких случаях регенерированный FAD sub-TLV будет анонсироваться в Router Capability TLV уровня 1, исходящими от маршрутизатора L1/L2.

Маршрутизатору L1/L2 **недопустимо** регенерировать какие-либо FAD sub-TLV с уровня 1 на уровень 2.

**5.2. OSPF FAD TLV**

OSPF FAD TLV анонсируются как TLV верхнего уровня в Router Information (RI) Link State Advertisement (LSA), заданных в [RFC7770]. Формат OSPF FAD TLV показан на рисунке

**Type**

16

**Length**

Число октетов в зависимости от включённых sub-TLV.

**Flex-Algorithm**

Номер гибкого алгоритма - 1-октетное значение от 128 до 255, включительно.

**Metric-Type**

Тип метрики из реестра IANA IGP Metric-Type (параграф 18.1.2) для использования в расчётах. Заданы 3 значения:

**0**

Метрика IGP

**1**

Min Unidirectional Link Delay в соответствии с параграфом 4.2 в [RFC7471], представленная как определяемый приложением атрибут канала в соответствии с [RFC8920] и разделом 12 этого документа.

**2**

Traffic Engineering Default Metric в соответствии с параграфом 2.5.5 в [RFC3630], представленная как определяемый приложением атрибут канала в соответствии с [RFC8920] и разделом 12 этого документа.

**Calc-Type**

См. описание в параграфе 5.1.

**Priority**

См. описание в параграфе 5.1.

**Sub-TLVs**

Необязательные sub-TLV.

При получении нескольких OSPF FAD TLV для одного гибкого алгоритма от данного маршрутизатора получатель **должен** использовать первый экземпляр TLV в RI LSA. Если OSPF FAD TLV для одного Flex-Algorithm присутствуют в нескольких RI LSA с разными сферами лавинной рассылки, **должен** использоваться OSPF FAD TLV из RI LSA с лавинной рассылкой по области (area-scoped). Если OSPF FAD TLV для одного и того же алгоритма присутствует в разных RI LSA с одинаковой лавинной рассылкой, **должен** выбираться OSPF FAD TLV в RI LSA с числом наименьшим Instance ID, а последующие экземпляры OSPF FAD TLV **должны** игнорироваться.

RI LSA могут анонсироваться в любые определённые неинтерпретируемые (opaque) области лавинной рассылки (канал, область AS). Для анонсирования OSPF FAD TLV **требуется** лавинная рассылка в область (area-scoped). Лавинную рассылку в AS **не следует** применять, если локальная политика маршрутизатора-источника не указывает лавинную рассылку по домену (domain-wide).

**5.3. Базовая обработка FAD TLV**

В этом параграфе описана независимая от протокола обработка FAD TLV (OSPF) и FAD sub-TLV (IS-IS). В тексте используется обозначение FAD TLV, но содержимое параграфа применимо и к sub-TLV при использовании IS-IS.

Значение Flex-Algorithm должно быть от 128 до 255 (включительно), в ином случае FAD TLV **должен** игнорироваться. Анонсировать Flex-Algorithm нужно лишь части маршрутизаторов, участвующих в конкретном гибком алгоритме. Каждый маршрутизатор, настроенный на участие в определённом Flex-Algorithm **должен** выбрать определение Flex-Algorithm Definition на основе приведённых ниже правил с соблюдением их порядка. Это позволяет согласовать выбор FAD в случаях, когда разные маршрутизаторы анонсируют разные определения для данного Flex-Algorithm.

1. Из анонсов FAD в области (включая локально созданные и полученные) нужно выбрать анонс с наибольшим значением приоритета.
2. При наличии нескольких FAD с одинаковым приоритетом выбирается исходящее от маршрутизатора с наибольшим System-ID для IS-IS или Router ID для OSPFv2 и OSPFv3. Описание System-ID для IS-IS приведено в [ISO10589]. Для OSPFv2 и OSPFv3 стандартные Router ID описаны в [RFC2328] и [RFC5340].

Определение FAD, выбранное по этим правилам называют выигранным (winning) FAD.

Маршрутизаторы, не настроенные на участие в конкретном Flex-Algorithm, **должны** игнорировать анонсы FAD TLV для таких Flex-Algorithm. Маршрутизатор, не участвующий в конкретном Flex-Algorithm, **может** анонсировать FAD для алгоритма. Принимающие маршрутизаторы **должны** рассматривать анонсы FAD независимо от участия их источника в Flex-Algorithm.

Любые изменения FAD могут приводить к временному нарушению трафика, передаваемого на основе путей, рассчитанных по этому Flex-Algorithm. Это похоже на влияние других событий, требующих схождения в масштабе сети.

Если узел настроен на участие в гибком алгоритме, но не имеет доступного FAD или выбранное определение включает не поддерживаемое узлом значение calculation-type, metric-type, constraint, flag или sub-TLV, узел **должен** прерывать участие в этом алгоритме. Это предполагает, что **недопустимо** анонсировать участие в алгоритме, как указано в разделе 11 и узел **должен** удалить все связанные с этим алгоритмом состояния пересылки.

Определение Flex-Algorithm не зависит от топологии и применяется во всех топологиях, где маршрутизатор участвует.

## 6. Sub-TLV для IS-IS FAD Sub-TLV

Одним из ограничений IS-IS [ISO10589] является размер TLV/sub-TLV - не более 255 октетов. Для FAD sub-TLV имеется множество sub-sub-TLVs (см. ниже). Для данного Flex-Algorithm может оказаться, что общее число октетов для FAD превосходит максимальный размер, поддерживаемый в одном FAD sub-TLV. В таком случае FAD **можно** разделить на несколько sub-TLV, содержимое которых будет объединяться для полного определения Flex-Algorithm. При этом фиксированная часть FAD (5.1. IS-IS FAD Sub-TLV) **должна** быть идентична во всех FAD sub-TLV для данного Flex-Algorithm из данной промежуточной системы (IS). Если фиксированные части таких FAD sub-TLV различаются, **должна** использоваться фиксированная часть FAD sub-TLV из первого появления в LSP с наименьшим номером от данной IS.

Любая спецификация, задающая новый IS-IS FAD sub-sub-TLV, **должна** указывать, может ли FAD sub-TLV присутствовать в нескольких экземплярах в наборе FAD sub-TLV для данного Flex-Algorithm из данной IS и как их обрабатывать, если несколько экземпляров разрешено.

### 6.1. IS-IS Flexible Algorithm Exclude Admin Group Sub-TLV

FAD может задавать «цвета», применяемые оператором для исключения каналов из расчёта пути с помощью Flex-Algorithm. IS-IS Flexible Algorithm Exclude Admin Group (FAEAG) sub-TLV служит для анонсирования правила исключения, применяемого при расчёте пути, описанном в разделе 13. Расчёт путей по гибкому алгоритму. IS-IS FAEAG sub-TLV является sub-TLV для IS-IS FAD sub-TLV. Формат показан на рисунке.

```

0           1           2           3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
+-----+-----+-----+-----+
|      Type      |      Length      |
+-----+-----+-----+-----+
|                                     |
|                                     | Extended Admin Group |
|                                     |                                     |
|                                     |      ...      |
|                                     |                                     |
+-----+-----+-----+-----+

```

**Type**

1

**Length**

Зависит от размера Extended Admin Group и **должно** быть кратно 4 октетам.

**Extended Administrative Group**

Extended Administrative Group в соответствии с [RFC7308].

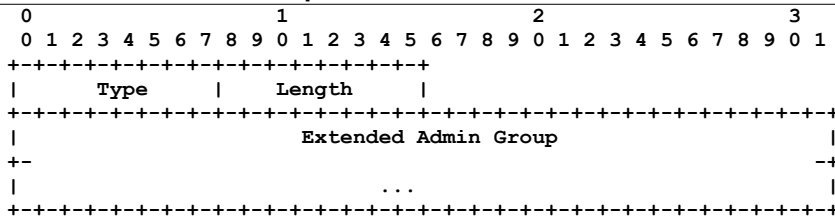
IS-IS FAEAG sub-TLV **недопустимо** включать более 1 раза в один IS-IS FAD sub-TLV. При наличии нескольких экземпляров получатель **должен** игнорировать IS-IS FAD sub-TLV.

IS-IS FAEAG sub-TLV **недопустимо** включать более 1 раза в набор FAD sub-TLV для данного Flex-Algorithm из данной IS. При наличии нескольких экземпляров в таком наборе **должен** применяться IS-IS FAEAG sub-TLV из первого присутствия в LSP с наименьшим номером из данной IS, а остальные **должны** игнорироваться.

### 6.2. IS-IS Flexible Algorithm Include-Any Admin Group Sub-TLV

FAD может задавать «цвета», применяемые оператором для включения каналов в расчёт пути с помощью Flex-Algorithm. IS-IS Flexible Algorithm Include-Any Admin Group (FAEAG) sub-TLV служит для анонсирования правила включения любых каналов при расчёте пути, описанном в разделе 13. Расчёт путей по гибкому алгоритму. IS-IS Flexible Algorithm Include-Any Admin Group является sub-TLV для IS-IS FAD sub-TLV. Формат показан на рисунке.





Type  
2

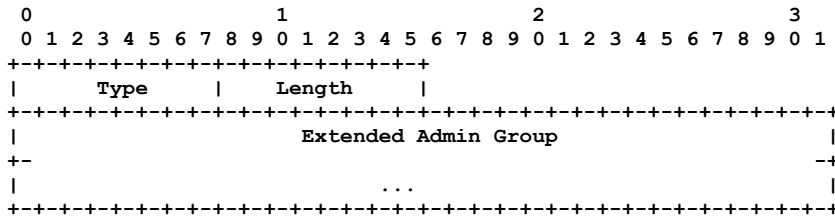
**Length**  
Зависит от размера Extended Admin Group и **должно** быть кратно 4 октетам.

**Extended Administrative Group**  
Extended Administrative Group в соответствии с [RFC7308].  
IS-IS Flexible Algorithm Include-Any Admin Group sub-TLV **недопустимо** включать более 1 раза в один IS-IS FAD sub-TLV. При наличии нескольких экземпляров получатель **должен** игнорировать IS-IS FAD sub-TLV.

IS-IS Flexible Algorithm Include-Any Admin Group sub-TLV **недопустимо** включать более 1 раза в набор FAD sub-TLV для данного Flex-Algorithm из данной IS. При наличии нескольких экземпляров в таком наборе **должен** применяться IS-IS Flexible Algorithm Include-Any Admin Group sub-TLV из первого присутствия в LSP с наименьшим номером из данной IS, а остальные **должны** игнорироваться.

### 6.3. IS-IS Flexible Algorithm Include-All Admin Group Sub-TLV

FAD может задавать «цвета», применяемые оператором для включения каналов в расчёт пути с помощью Flex-Algorithm. IS-IS Flexible Algorithm Include-All Admin Group (FAEAG) sub-TLV служит для анонсирования правила включения всех каналов при расчёте пути, описанном в разделе 13. Расчёт путей по гибкому алгоритму. IS-IS Flexible Algorithm Include-All Admin Group является sub-TLV для IS-IS FAD sub-TLV. Формат показан на рисунке.



Type  
3

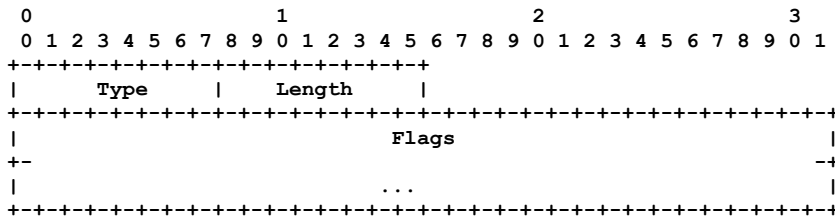
**Length**  
Зависит от размера Extended Admin Group и **должно** быть кратно 4 октетам.

**Extended Administrative Group**  
Extended Administrative Group в соответствии с [RFC7308].  
IS-IS Flexible Algorithm Include-All Admin Group sub-TLV **недопустимо** включать более 1 раза в один IS-IS FAD sub-TLV. При наличии нескольких экземпляров получатель **должен** игнорировать IS-IS FAD sub-TLV.

IS-IS Flexible Algorithm Include-All Admin Group sub-TLV **недопустимо** включать более 1 раза в набор FAD sub-TLV для данного Flex-Algorithm из данной IS. При наличии нескольких экземпляров в таком наборе **должен** применяться IS-IS Flexible Algorithm Include-All Admin Group sub-TLV из первого присутствия в LSP с наименьшим номером из данной IS, а остальные **должны** игнорироваться.

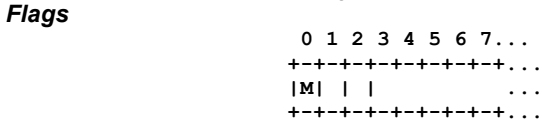
### 6.4. IS-IS Flexible Algorithm Definition Flags Sub-TLV

IS-IS Flexible Algorithm Definition Flags (FADF) sub-TLV - это sub-TLV для IS-IS FAD sub-TLV. Формат показан на рисунке.



Type  
4

**Length**  
Число октетов в поле Flags.



**M**  
При установленном флаге **должна** применяться связанная с Flex-Algorithm метрика для расчёта межобластных и внешних префиксов. Флаг не применим для префиксов, анонсируемых как локаторы SRv6.  
Задан новый реестр IANA IGP Flexible Algorithm Definition Flags для выделения битов поля Flags (см. параграф 18.2).

Биты устанавливаются и передаются, начиная с позиции 0, как показано выше. Дополнительные биты, которые могут быть определены позднее, **следует** выделять по порядку битовых позиций для сокращения размера поля флагов.

Неопределённые биты **должны** передаваться сброшенными (0). Непереданные биты **должны** считаться сброшенными (0) при получении.

IS-IS FADF sub-TLV **недопустимо** включать более 1 раза в один IS-IS FAD sub-TLV. При наличии нескольких экземпляров получатель **должен** игнорировать IS-IS FAD sub-TLV.

IS-IS FADF sub-TLV **недопустимо** включать более 1 раза в набор FAD sub-TLV для данного Flex-Algorithm из данной IS. При наличии нескольких экземпляров в таком наборе **должен** применяться IS-IS FADF sub-TLV из первого присутствия в LSP с наименьшим номером из данной IS, а остальные **должны** игнорироваться.

Если IS-IS FADF sub-TLV нет в IS-IS FAD sub-TLV, предполагается, что все биты флагов сброшены (0).

Если узел настроен на участие в конкретном гибком алгоритме, а выбранное определение Flex-Algorithm содержит в IS-IS FADF sub-TLV неподдерживаемый узлом флаг, узел должен выйти из участия в этом алгоритме. В будущем могут быть определены новые флаги и реализация **должна** проверять все биты в полученном IS-IS FADF sub-TLV, а не только определённые в данный момент.

M-flag **недопустимо** применять при расчёте достижимости префиксов SRv6 Locator.

## 6.5. IS-IS Flexible Algorithm Exclude SRLG Sub-TLV

FAD может задавать группы каналов с общим риском (Shared Risk Link Group или SRLG), которые оператор хочет исключить из расчёта пути по гибкому алгоритму. IS-IS Flexible Algorithm Exclude SRLG (FAESRLG) sub-TLV служит для анонсирования правила исключения при расчёте пути, описанном в разделе 13. Расчёт путей по гибкому алгоритму. IS-IS FAESRLG sub-TLV является sub-TLV для IS-IS FAD sub-TLV. Формат показан на рисунке.

```

0                               1                               2                               3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
+-----+-----+-----+-----+
|          Type          |          Length          |
+-----+-----+-----+-----+
|                               Shared Risk Link Group Value                               |
+-+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
|                                                                                               |
|                                                                                               ...                               |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

**Type**

5

**Length**

Определяется числом значений SRLG и **должно** быть кратно 4 октетам.

**Shared Risk Link Group Value**

Значение SRLG в соответствии с [RFC5307].

IS-IS FAESRLG sub-TLV **недопустимо** включать более 1 раза в один IS-IS FAD sub-TLV. При наличии нескольких экземпляров получатель **должен** игнорировать IS-IS FAD sub-TLV.

The IS-IS FAESRLG sub-TLV **может** неоднократно присутствовать в наборе FAD sub-TLV для данного гибкого алгоритма из данной IS. Это может потребоваться в случаях, когда общее число значение SRLG ведёт к превышению допустимого размера FAD sub-TLV. В таких случаях получатель **должен** объединять все значения из IS-IS FAESRLG sub-TLV в наборе.

## 7. Sub-TLV для OSPF FAD TLV

### 7.1. OSPF Flexible Algorithm Exclude Admin Group Sub-TLV

OSPF Flexible Algorithm Exclude Admin Group (FAEAG) sub-TLV - это sub-TLV для OSPF FAD TLV. Применение описано в параграфе 6.1. IS-IS Flexible Algorithm Exclude Admin Group Sub-TLV, а формат показан на рисунке.

```

0                               1                               2                               3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
+-----+-----+-----+-----+
|          Type          |          Length          |
+-----+-----+-----+-----+
|                               Extended Admin Group                               |
+-+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
|                                                                                               |
|                                                                                               ...                               |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

**Type**

1

**Length**

Переменное значение, зависящее от размера Extended Admin Group. **Должно** быть кратно 4 октетам.

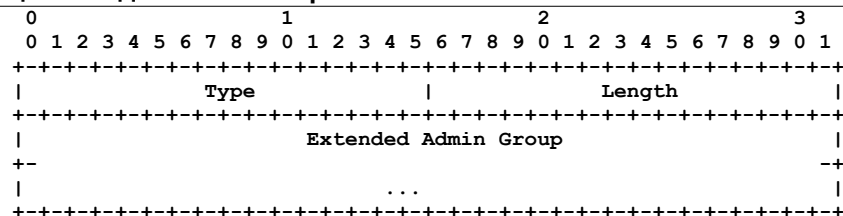
**Extended Administrative Group**

Extended Administrative Group в соответствии с [RFC7308].

The OSPF FAEAG sub-TLV **недопустимо** включать более 1 раза в OSPF FAD TLV. При наличии нескольких экземпляров получатель **должен** игнорировать OSPF FAD TLV.

### 7.2. OSPF Flexible Algorithm Include-Any Admin Group Sub-TLV

OSPF Flexible Algorithm Include-Any Admin Group sub-TLV - это sub-TLV для OSPF FAD TLV. Применение описано в параграфе 6.2. IS-IS Flexible Algorithm Include-Any Admin Group Sub-TLV, а формат показан на рисунке.

**Type**

2

**Length**

Переменное значение, зависящее от размера Extended Admin Group. **Должно** быть кратно 4 октетам.

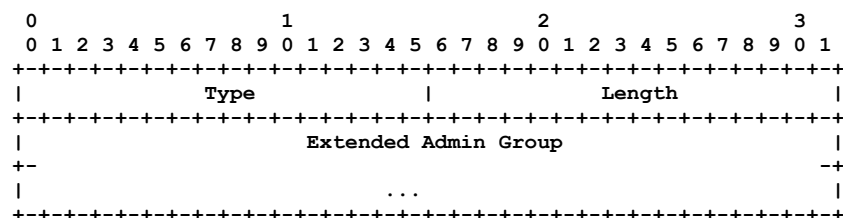
**Extended Administrative Group**

Extended Administrative Group в соответствии с [RFC7308].

The OSPF Flexible Algorithm Include-Any Admin Group sub-TLV **недопустимо** включать более 1 раза в OSPF FAD TLV. При наличии нескольких экземпляров получатель **должен** игнорировать OSPF FAD TLV.

**7.3. OSPF Flexible Algorithm Include-All Admin Group Sub-TLV**

OSPF Flexible Algorithm Include-All Admin Group sub-TLV - это sub-TLV для OSPF FAD TLV. Применение описано в параграфе 6.3. IS-IS Flexible Algorithm Include-All Admin Group Sub-TLV, а формат показан на рисунке.

**Type**

3

**Length**

Переменное значение, зависящее от размера Extended Admin Group. **Должно** быть кратно 4 октетам.

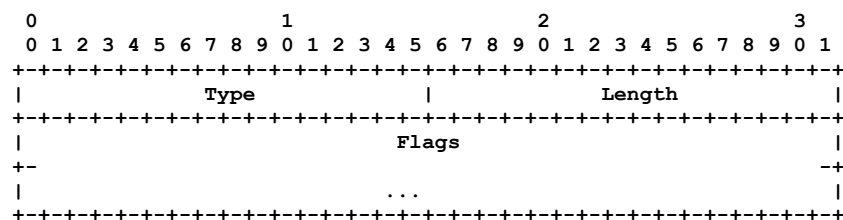
**Extended Administrative Group**

Extended Administrative Group в соответствии с [RFC7308].

The OSPF Flexible Algorithm Include-All Admin Group sub-TLV **недопустимо** включать более 1 раза в OSPF FAD TLV. При наличии нескольких экземпляров получатель **должен** игнорировать OSPF FAD TLV.

**7.4. OSPF Flexible Algorithm Definition Flags Sub-TLV**

OSPF Flexible Algorithm Definition Flags (FADF) sub-TLV - это sub-TLV для OSPF FAD TLV. Формат показан на рисунке.

**Type**

4

**Length**

Число октетов в поле Flags. Должно быть кратно 4 октетам.

**Flags**

```

0 1 2 3 4 5 6 7...
+-----+-----+-----+
|M| | | ...
+-----+-----+-----+

```

**M**

При установленном флаге **должна** применяться связанная с Flex-Algorithm метрика для расчёта межобластных и внешних префиксов. Флаг не применим для префиксов, анонсируемых как локаторы SRv6.

Задан новый реестр IANA IGP Flexible Algorithm Definition Flags для выделения битов поля Flags (см. параграф 18.2).

Биты устанавливаются и передаются, начиная с позиции 0, как показано выше. Дополнительные биты, которые могут быть определены позднее, **следует** выделять по порядку битовых позиций для сокращения размера поля флагов. Неопределённые биты **должны** передаваться сброшенными (0). Непередаваемые биты **должны** считаться сброшенными (0) при получении.

OSPF FADF sub-TLV **недопустимо** включать более 1 раза в один OSPF FAD sub-TLV. При наличии нескольких экземпляров получатель **должен** игнорировать OSPF FAD sub-TLV.

Если OSPF FADF sub-TLV нет в OSPF FAD sub-TLV, предполагается, что все биты флагов сброшены (0).

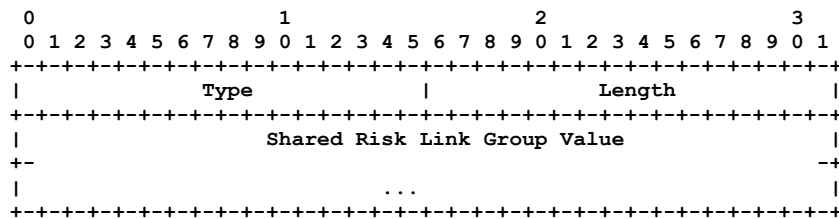
Если узел настроен на участие в конкретном гибком алгоритме, а выбранное определение Flex-Algorithm содержит в OSPF FADF sub-TLV неподдерживаемый узлом флаг, узел должен выйти из участия в этом алгоритме. В будущем могут быть определены новые флаги и реализация **должна** проверять все биты в полученном OSPF FADF sub-TLV, а не только определённые в данный момент.

M-флаг **недопустимо** применять при расчёте достижимости префиксов SRv6 Locator.



## 7.5. OSPF Flexible Algorithm Exclude SRLG Sub-TLV

OSPF Flexible Algorithm Exclude SRLG (FAESRLG) sub-TLV - это sub-TLV для OSPF FAD TLV. Применение описано в параграфе 6.5. IS-IS Flexible Algorithm Exclude SRLG Sub-TLV, а формат показан на рисунке.



**Type**

5

**Length**

Определяется числом значений SRLG и **должно** быть кратно 4 октетам.

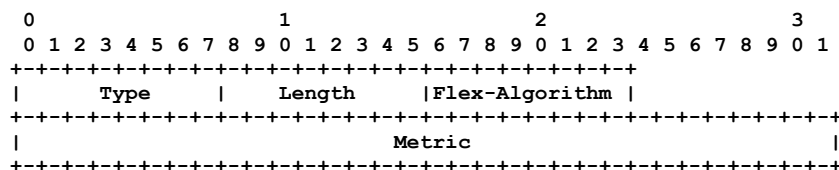
**Shared Risk Link Group Value**

Значение SRLG в соответствии с [RFC5307].

OSPF FAESRLG sub-TLV **недопустимо** включать более 1 раза в один OSPF FAD sub-TLV. При наличии нескольких экземпляров получатель **должен** игнорировать OSPF FAD sub-TLV.

## 8. IS-IS Flexible Algorithm Prefix Metric Sub-TLV

IS-IS Flexible Algorithm Prefix Metric (FAPM) sub-TLV поддерживает анонсирование связанной с Flex-Algorithm метрики для анонса данного префикса. IS-IS FAPM sub-TLV - это sub-TLV для TLV 135, 235, 236, 237. Формат показан ниже.



**Type**

6

**Length**

5 октетов

**Flex-Algorithm**

1-октетное значение от 128 до 255, включительно.

**Metric**

4 октета сведений о метрике.

IS-IS FAPM sub-TLV **может** включаться в родительский TLV в нескольких экземплярах. При указании нескольких экземпляров с одним Flex-Algorithm **должен** применяться первый экземпляр, а остальные должны игнорироваться.

Если префикс анонсируется с метрикой префикса Flex-Algorithm, превышающей MAX\_PATH\_METRIC [RFC5305], этот префикс **недопустимо** учитывать при расчёте по гибкому алгоритму.

Применение метрики префиксов Flex-Algorithm описано в разделе 13. Расчёт путей по гибкому алгоритму.

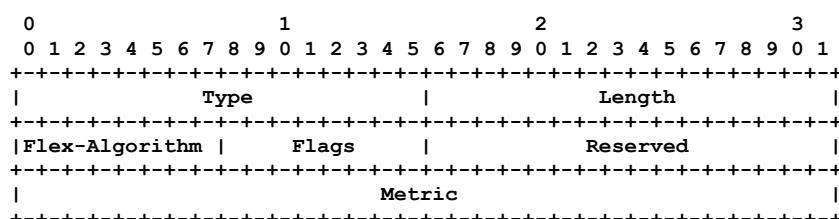
IS-IS FAPM sub-TLV **недопустимо** анонсировать как sub-TLV для IS-IS SRv6 Locator TLV [RFC9352]. IS-IS SRv6 Locator TLV включает поля алгоритма и метрики, которые **должны** использоваться взамен. Если FAPM sub-TLV присутствует как sub-TLV в IS-IS SRv6 Locator TLV полученного LSP, такой FAPM sub-TLV **должен** игнорироваться.

## 9. OSPF Flexible Algorithm Prefix Metric Sub-TLV

The OSPF Flexible Algorithm Prefix Metric (FAPM) sub-TLV поддерживает анонсирование связанной с Flex-Algorithm метрики для анонса данного префикса. OSPF FAPM sub-TLV является sub-TLV для:

- OSPFv2 Extended Prefix TLV [RFC7684];
- указанных ниже OSPFv3 TLV, заданных в [RFC8362]:
  - Inter-Area Prefix TLV;
  - External-Prefix TLV.

Формат OSPF FAPM sub-TLV показан на рисунке.



**Type**

3 для OSPFv2, 26 для OSPFv3.

**Length**

8 октетов.

**Flex-Algorithm**

1-октетное значение от 128 до 255, включительно.

**Flags**

1-октетное значение

```

  0 1 2 3 4 5 6 7
  +-----+
  |E|           |
  +-----+

```

**E**

Флаг в позиции 0, указывающий тип внешней метрики. Установленный бит указывает внешнюю метрику типа 2. Флаг применим лишь для внешних префиксов OSPF и «не вполне тупиковым» (Not-So-Stubby Area или NSSA) внешним префиксам. Это семантически эквивалентно биту E в Приложении A.4.5 к [RFC2328] и Приложении A.4.7 к [RFC5340] для OSPFv2 и OSPFv3, соответственно.

**Биты 1 - 7**

Должны сбрасываться инициатором и игнорироваться получателем.

**Reserved**

Должно устанавливаться в 0 и игнорироваться при получении.

**Metric**

4 октета сведений о метрике.

OSPF FAPM sub-TLV **может** включаться в родительский TLV в нескольких экземплярах. При указании нескольких экземпляров с одним Flex-Algorithm **должен** применяться первый экземпляр, а остальные должны игнорироваться.

Применение метрики префиксов Flex-Algorithm описано в разделе 13. Расчёт путей по гибкому алгоритму.

## 10. Гибкий алгоритм OSPF для анонсирования доступности ASBR

OSPF ABR анонсирует доступность ASBR в подключённых областях, чтобы позволить маршрутизаторам этих областей выполнять расчёт маршрутов для внешних префиксов, анонсируемых ASBR. Для расчётов внешних префиксов Flex-Algorithm нужны также расширения OSPF для анонсирования связанной с Flex-Algorithm доступности и метрики для ASBR, как описано в параграфе 13.1. Множество областей и доменов.

### 10.1. OSPFv2 Extended Inter-Area ASBR LSA

OSPFv2 Extended Inter-Area ASBR (EIA-ASBR) LSA - это OSPF Оpaque LSA [RFC5250], применяемый для анонсирования дополнительных атрибутов, связанных с доступностью OSPFv2 ASBR, который является внешним для области, но внутренним для домена OSPF. Семантически OSPFv2 EIA-ASBR LSA является эквивалентом summary-LSA типа 4 с фиксированным форматом [RFC2328]. В отличие от сводного LSA типа 4, Link State ID (LSID) в EIA-ASBR LSA не содержит ASBR Router ID, этот идентификатор передаётся в теле LSA. OSPFv2 EIA-ASBR LSA анонсируется маршрутизатором OSPFv2 ABR и рассылается лавинно внутри области (area-scoped).

OSPFv2 ABR генерирует EIA-ASBR LSA для ASBR когда он анонсирует для того summary-LSA типа 4 и нужно анонсировать 4 дополнительных атрибута для ASBR сверх передаваемых в Type 4 summary-LSA с фиксированным форматом. Маршрутизатору OSPFv2 ABR **недопустимо** анонсировать EIA-ASBR LSA для ASBR, которому он не анонсирует сводный LSA типа 4. Это гарантирует, что ABR не генерирует EIA-ASBR LSA для ASBR, к которому у него нет доступности при расчёте базовой топологии OSPFv2. OSPFv2 ABR **не следует** анонсировать EIA-ASBR LSA для ASBR при отсутствии дополнительных атрибутов для этого ASBR.

Формат OSPFv2 EIA-ASBR LSA показан на рисунке.

```

  0          1          2          3
  0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
  +-----+-----+-----+-----+
  |           LS age           | Options | LS Type |
  +-----+-----+-----+-----+
  | Оpaque Type |           Opaque ID           |
  +-----+-----+-----+-----+
  |           Advertising Router           |
  +-----+-----+-----+-----+
  |           LS sequence number           |
  +-----+-----+-----+-----+
  |           LS checksum           |           Length           |
  +-----+-----+-----+-----+
  |                                     |
  +-+                               TLVs                               +-+
  |                                     |
  |                                     |

```

Поля LS age и Options определены в Приложении A.4.1 к [RFC2328].

Поле LS Type **должно** иметь значение 10, указывающее, что лавинная рассылка Opaque LSA происходит в локальной области [RFC5250].

Поле Opaque Type в OSPFv2 EIA-ASBR LSA имеет значение 11 и служит для разделения разных типов OSPFv2 Opaque LSA, описанных в разделе 3 [RFC5250].

Поле Opaque ID содержит произвольное значение, служащее для поддержки множества OSPFv2 EIA-ASBR LSA. Для OSPFv2 EIA-ASBR LSA поле Opaque ID не имеет семантического смысла кроме разделения OSPFv2 EIA-ASBR LSA, исходящих от одного OSPFv2 ABR. Если множество OSPFv2 EIA-ASBR LSA указывает один ASBR, **следует** использовать атрибуты из Opaque LSA с наименьшим Opaque ID.

Поля Advertising Router, LS sequence number и LS checksum определены в Приложении A.4.1 к [RFC2328].

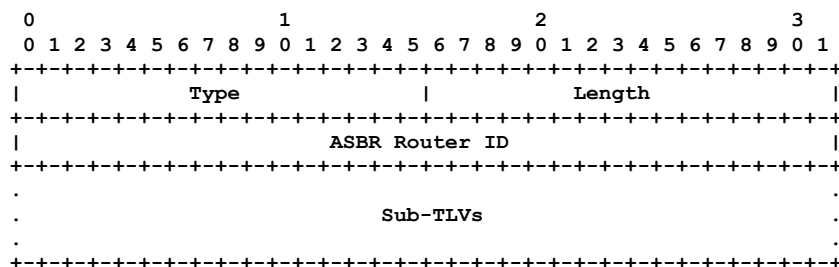
Поле Length определено в Приложении A.4.1 к [RFC2328] и представляет общий размер (в октетах) Opaque LSA, включая заголовок LSA и все TLV (в том числе заполнение).

TLV в теле OSPFv2 EIA-ASBR LSA имеют такой же формат, который применяется расширениями OSPFv2 для организации трафика (TE) [RFC3630]. Переменный раздел TLV состоит из 1 или нескольких вложенных TLV, которые

называют sub-TLV. Поле Length в TLV указывает размер поля значения в октетах (TLV без значения имеют Length = 0). TLV дополняются до 4-октетной границы, заполнение не учитывается в поле Length (т. е. при 3-октетном значении поле Length = 3, но общий размер TLV составит 8 октетов). Вложенные TLV также выравниваются по 32-битовым границам. Например при 1-октетном значении будет Length = 1 и 3 октета заполнения в конце поля значения. Для заполнения применяются нули (0).

### 10.1.1. OSPFv2 Extended Inter-Area ASBR TLV

OSPFv2 Extended Inter-Area ASBR (EIA-ASBR) TLV - это TLV верхнего уровня для OSPFv2 EIA-ASBR LSA и служит для анонсирования дополнительных атрибутов, связанных с достижимостью ASBR. Формат OSPFv2 EIA-ASBR TLV показан на рисунке.



#### Type

1

#### Length

Число октетов<sup>1</sup>.

#### ASBR Router ID

4 октета OSPF Router ID маршрутизатора ASBR, чья информация передается.

#### Sub-TLVs

Переменный набор sub-TLV.

В каждом анонсе OSPFv2 EIA-ASBR LSA **должен** содержаться только 1 OSPFv2 EIA-ASBR TLV, а получатель **должен** игнорировать все остальные экземпляры этого TLV.

OSPFv2 EIA-ASBR TLV **должен** присутствовать в OSPFv2 EIA-ASBR LSA и **должен** включать хотя бы 1 sub-TLV, в противном случае получатель **должен** игнорировать OSPFv2 EIA-ASBR LSA.

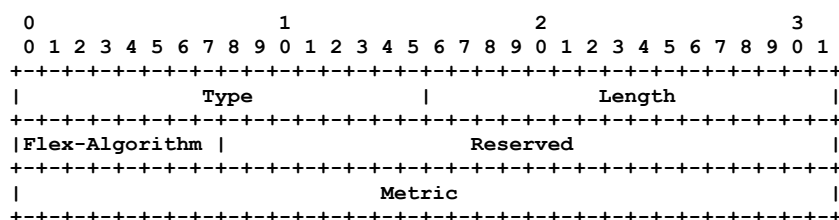
## 10.2. OSPF Flexible Algorithm ASBR Metric Sub-TLV

OSPF Flexible Algorithm ASBR Metric (FAAM) sub-TLV поддерживает анонсы связанной с Flex-Algorithm метрики, относящейся к доступности данного ASBR, маршрутизатором ABR.

OSPF FAAM sub-TLV является sub-TLV для:

- OSPFv2 Extended Inter-Area ASBR TLV, заданного в параграфе 10.1. OSPFv2 Extended Inter-Area ASBR LSA;
- OSPFv3 Inter-Area-Router TLV, заданного в [RFC8362].

Формат OSPF FAAM sub-TLV показан на рисунке.



#### Type

1 для OSPFv2, 33 для OSPFv3.

#### Length

8 октетов.

#### Flex-Algorithm

1-октетное значение от 128 до 255, включительно.

#### Reserved

3 октета, которые **должны** устанавливаться в 0 и игнорироваться при получении.

#### Metric

4 октета сведений о метике.

OSPF FAAM sub-TLV **может** присутствовать в родительском TLV в нескольких экземплярах. При наличии нескольких экземпляров для одного Flex-Algorithm **должен** использоваться первый, в прочие **должны** игнорироваться.

Анонс доступности ASBR с использованием OSPF FAAM sub-TLV внутри OSPFv2 EIA-ASBR LSA соответствует параграфу 12.4.3 в [RFC2328], а внутри OSPFv3 E-Inter-Area-Router-LSA - параграфу 4.8.5 в [RFC5340]. Достижимость ASBR оценивается в контексте конкретного Flex-Algorithm.

Метрика FAAM, рассчитанная ABR, будет равна метрике достижения ASBR для данного Flex-Algorithm в исходной области или кумулятивной метрике через маршрутизаторы ABR, когда ASBR находится в удалённой области. Это по природе похоже на то, как устанавливается метрика при расчёте метрики достижимости ASBR с принятым по умолчанию алгоритмом для OSPFv2 Type 4 ASBR summary-LSA и OSPFv3 Inter-Area-Router-LSA.

OSPF ABR **недопустимо** включать OSPF FAAM sub-TLV с конкретным Flex-Algorithm в свой анонс доступности для ASBR между областями, пока ASBR не доступен в контексте этого Flex-Algorithm.

<sup>1</sup>В полях ASBR Router ID и Sub-TLVs. Прим. перев.

OSPF ABR **должен** включать OSPF FAAM sub-TLV как часть анонса достижимости ASBR между областями для любого Flex-Algorithm, где выигрышный FAD включает флаг M и ASBR доступен в контексте данного Flex-Algorithm.

Маршрутизаторы OSPF **должны** использовать OSPF FAAM sub-TLV для расчёта достижимости ASBR, если выигрышный FAD для конкретного Flex-Algorithm включает флаг M. Маршрутизаторам OSPF **недопустимо** использовать OSPF FAAM sub-TLV для расчёта достижимости ASBR для конкретного Flex-Algorithm, если выигрышный FAD для такого Flex-Algorithm не включает флаг M. Взамен **должны** применяться OSPFv2 Type 4 summary-LSA или OSPFv3 Inter-Area-Router-LSA, как указано в параграфе 16.2 [RFC2328] и параграфе 4.8.5 [RFC5340] для OSPFv2 и OSPFv3, соответственно.

Обработка нового или изменённого OSPF FAAM sub-TLV вызывает обработку внешних маршрутов, аналогично описанному в параграфе 16.5 [RFC2328] для OSPFv2 и параграфе 4.8.5 [RFC5340] для OSPFv3, с конкретным Flex-Algorithm. Расчёт внешнего маршрута OSPF и NSSA следует ограничивать гибкими алгоритмами, для которых выигрышные FAD включают флаг M.

Обработка OSPF FAAM sub-TLV не требует наличия эквивалентного OSPFv2 Type 4 summary-LSA или OSPFv3 Inter-Area-Router-LSA, анонсируемого тем же ABR внутри области. Наличие базового LSA не обязательно для применения расширенного LSA с OSPF FAAM sub-TLV.

## 11. Анонсирование участия узла в Flex-Algorithm

Алгоритм и IS, анонсирующие своё участие, принимают участие в данном Flex-Algorithm.

Пути для различных плоскостей данных **могут** рассчитываться с конкретным Flex-Algorithm. Каждая плоскость данных применяет свою пересылку по таким путям Flex-Algorithm. Для гарантии наличия связанной с плоскостью данных пересылки для определённого Flex-Algorithm маршрутизатор **должен** анонсировать своё участие в данном Flex-Algorithm для каждой плоскости данных. Некоторые плоскости данных могут иметь общие анонсы участия (например, SR-MPLS и SRv6). Анонсирования участия в любом конкретном Flex-Algorithm в любой плоскости данных, регулируется условием, заданным в параграфе 5.3. Базовая обработка FAD TLV.

### 11.1. Анонсирование участия узла в SR

В [RFC8665], [RFC8666], [RFC8667] (расширения IGP SR) описывают применение алгоритма SR для расчёта лучшего пути IGP. Маршрутизаторы анонсируют поддержку SR-Algorithm как свойство узла в соответствии с упомянутыми выше расширениями IGP SR. Для анонсирования участия в конкретном Flex-Algorithm для SR, включая SR-MPLS и SRv6, должно анонсироваться значение Flex-Algorithm в SR-Algorithm TLV (OSPF) или sub-TLV (IS-IS).

Анонсы участия в гибком алгоритме маршрутизации по сегментам не зависят от топологии. Когда маршрутизатор анонсирует участие в SR-Algorithm, это применяется ко всем топологиям, в который участвует анонсирующий узел.

### 11.2. Анонсирование участия узла в других плоскостях данных

В этом параграфе рассмотрены соображения, связанные с возможностями других плоскостей данных объявить своё участие в конкретном Flex-Algorithm. Анонсы связанного с плоскостью данных участия в Flex-Algorithm **могут** зависеть от топологии и **могут** быть независимыми от неё в зависимости от самой плоскости данных. Связанные с плоскостью данных анонсы участия в Flex-Algorithm **должны** определяться для каждой плоскости данных, но в документе это не рассматривается.

## 12. Анонсирование атрибутов канала для Flex-Algorithm

При расчёте путей по гибкому алгоритму могут использоваться различные атрибуты каналов. Например, правила включения и исключения каналов по их близости (affinity) может быть частью FAD, как указано в разделах 6 и 7.

Зависящие от приложения атрибуты каналов (заданные в [RFC8919] или [RFC8920]), которые применяются при расчёте Flex-Algorithm, **должны** использовать зависящие от приложения анонсы атрибутов канала (Application-Specific Link Attribute или ASLA), заданные в [RFC8919] или [RFC8920], если (для IS-IS) не установлен флаг L-flag в анонсе ASLA. Если флаг L установлен, **должны** применяться традиционные анонсы с учётом процедур и ограничений, заданных в параграфе 4.2 [RFC8919] и разделе 6. Sub-TLV для IS-IS FAD Sub-TLV.

Обязательное использование анонсов ASLA применяется к атрибутам каналов, специально отмеченным в этом документе (Min Unidirectional Link Delay, TE Default Metric, Administrative Group, Extended Administrative Group, Shared Risk Link Group), а также к любым другим атрибутам каналов, которые в будущем могут применяться для поддержки Flex-Algorithm.

Определён бит идентификатора приложения (Application Identifier Bit), указывающий, что анонс ASLA связан с приложением Flex-Algorithm. Этот бит устанавливается в маске стандартных битов приложения (Standard Application Bit Mask или SABM), определённой в [RFC8919] и [RFC8920]:

Bit 3: Flexible Algorithm (X-bit)

Анонсы ASLA Admin Group для использования гибким алгоритмом **могут** использовать кодирование Administrative Group или Extended Administrative Group.

Получатель, поддерживающий эту спецификацию, **должен** воспринимать ASLA Administrative Group и Extended Administrative Group TLV, как указано в [RFC8919] или [RFC8920]. В случае IS-IS при установленном флаге L в анонсе ASLA (см. параграф 4.2 с [RFC8919] получатель **должен** быть способен воспринимать Administrative Group TLV, заданные в [RFC5305], и Extended Administrative Group TLV, заданные [RFC7308].

## 13. Расчёт путей по гибкому алгоритму

Маршрутизатор **должен** быть настроен на участие в данном Flex-Algorithm и **должен** выбрать FAD на основе правил, заданных в параграфе 5.3. Базовая обработка FAD TLV, прежде чем он сможет рассчитывать пути по данному Flex-Algorithm.



При вычислении пути по гибкому алгоритму не применяется проверки двухсторонней связности, но при расчёте применяется результат независимой от Flex-Algorithm проверки двухсторонней связности.

Как указано в разделе 11, участие в любом конкретном Flex-Algorithm **должно** анонсироваться по плоскостям данных. Расчёт путей по любому конкретному гибкому алгоритму зависит от плоскости данных. Несколько плоскостей данных **могут** одновременно применять один гибкий алгоритм и FAD для него. Трафик каждой плоскости данных будет пересылаться на основе записей пересылки для этой конкретной плоскости данных. Определение FAD не зависит от плоскости данных и применяется всеми плоскостями данных Flex-Algorithm.

Обработка плоскостями данных узлов, не участвующих в гибком алгоритме, зависит от конкретной плоскости данных. Если плоскость данных желает при расчёте пути Flex-Algorithm учитывать лишь участвующие в алгоритме узлы, все узлы, которые не анонсируют своего участия в данном Flex-Algorithm для этой плоскости данных, **должны** вырезаться из топологии. Маршрутизация SR, включая SR-MPLS и SRv6, является плоскостью данных, которая **должна** применять такое вырезание при расчёте путей Flex-Algorithm.

При расчёте пути для данного Flex-Algorithm **должны** использоваться значения metric-type и calculation-type из FAD (5. Анонсирование определения гибкого алгоритма).

FAD может включать различные правила включения и исключения, а для указания конкретного бита в Admin Group или Extended Admin Group применяется термин color (цвет).

Для всех каналов топологии **должны** применяться указанные ниже правила (в приведённом порядке) вырезания каналов из топологии при расчётах Flex-Algorithm.

1. Проверяется наличие правил исключения Administrative Group в FAD. Если такие правила имеются, проверяется, не установлен ли для канала цвет, являющийся частью правила, и при обнаружении такого цвета канал **должен** исключаться из расчёта.
2. Проверяется наличие правил исключения SRLG в FAD. Если такие правила имеются, проверяется, входит ли канал в исключаемую SRLG, и при обнаружении вхождения канал **должен** исключаться из расчёта.
3. Проверяется наличие правил включения любой (include-any) Administrative Group в FAD. Если такие правила имеются, проверяется, установлен ли для канала цвет, являющийся частью правила, и при отсутствии такого цвета канал **должен** исключаться из расчёта.
4. Проверяется наличие правил включения всех (include-all) Administrative Group в FAD. Если такие правила имеются, проверяется, установлены ли для канала все цвета, являющиеся частью правила, и если не установлены все эти цвета, канал **должен** исключаться из расчёта.
5. Если в FAD применяется что-либо, отличное от метрики IGP (5. Анонсирование определения гибкого алгоритма), и такая метрика не анонсируется для конкретного канала в топологию, где выполняется расчёт, такой канал **должен** исключаться из расчёта. Метрику со значением 0 **недопустимо** учитывать в этом случае.

### 13.1. Множество областей и доменов

Любой расчёт дерева кратчайших путей IGP (Shortest Path Tree) ограничен одной областью. Это относится и к расчётам Flex-Algorithm. С учётом того, что рассчитывающий маршрутизатор не видит топологии следующих областей или домена, связанный с Flex-Algorithm путь к префиксу, проходящий через разные области или домены, будет рассчитываться лишь для локальной области. Выходной маршрутизатор L1/L2 (ABR в OSPF) или ASBR для разных доменов будет выбирать на основе лучшего пути для данного Flex-Algorithm в локальной области и такой выходной маршрутизатор ABR или ASBR будет отвечать за расчёт лучшего пути Flex-Algorithm через следующую область или домен. Это может привести к созданию пути, который будет неоптимальным из-за ограничений Flex-Algorithm. Если ABR или ASBR не имеет доступа к префиксу для данного Flex-Algorithm в следующей области или домене, трафик может отбрасываться таким ABR/ASBR.

Для расчёта оптимального сквозного пути через несколько областей или доменов для любого Flex-Algorithm в разделах 8 и 9 определена метрика префикса гибкого алгоритма (FAPM). При расчёте внешних маршрутов для префиксов от ASBR в удалённых областях OSPF в параграфе 10.2 определена метрика FAAM для ABR, указывающая доступность ASBR вместе с метрикой для конкретного Flex-Algorithm.

Если определение FAD, выбранное на основе правил из параграфа 5.3, включает флаг M, маршрутизатор ABR или ASBR **должен** включать FAPM (разделы 8 и 9) при анонсировании префикса, доступного в данном Flex-Algorithm между областями или доменами. Такая метрика будет совпадать с метрикой для достижения префикса в исходной области или домене для этого Flex-Algorithm. Это похоже на задание метрики при анонсировании между областями или доменами метрики для принятого по умолчанию алгоритма. Когда префикс недоступен в исходной области или домене в конкретном Flex-Algorithm, маршрутизатору ABR или ASBR **недопустимо** включать FAPM для Flex-Algorithm при анонсировании префикса между областями или доменами.

Если определение FAD, выбранное на основе правил из параграфа 5.3, включает флаг M, метрика FAPM **должна** применяться при расчёте доступности внешнего или междоменного префикса. Если FAPM для Flex-Algorithm не включается в анонс доступности межобластного или внешнего префикса, такой префикс **должен** считаться недоступным в этом Flex-Algorithm. В случае OSPF для ASBR при отсутствии FAAM в анонсе локальных ABR маршрутизатор ASBR **должен** считаться недоступным для этого Flex-Algorithm и анонсы внешних префиксов от такого ASBR не учитываются в данном Flex-Algorithm.

Метрику префикса Flex-Algorithm и метрику OSPF Flex-Algorithm ASBR **недопустимо** применять в расчёте Flex-Algorithm, если выбранное на основе правил параграфа 5.3 определение FAD не включает флаг M, описанный в параграфах 6.4 и 7.4.

Если для случая OSPF при расчёте внешних маршрутов в Flex-Algorithm выигрышный FAD включает флаг M и анонсирующий ASBR находится в удалённой области, метрика будет суммой указанных ниже значений:

- метрика FAPM для Flex-Algorithm, анонсированная ASBR с внешним маршрутом;



- метрика доступа к ASBR для Flex-Algorithm от локального ABR, т. е. метрика FAAM для этого Flex-Algorithm, анонсированная ABR в локальной области этого ASBR;
- зависящая от Flex-Algorithm метрика для доступа к локальному ABR.

По своей природе это похоже на расчёт метрики для маршрутов, полученных от удалённых ASBR в принятом по умолчанию алгоритме с использованием OSPFv2 Type 4 ASBR summary-LSA и OSPFv3 Inter-Area-Router-LSA.

Если определение FAD, выбранное на основе правил из параграфа 5.3, не включает флаг M, для расчёта маршрутов Flex-Algorithm **должна** применяться метрика IGP, связанная с достижимостью префикса, используемая базовыми протоколами IS-IS и OSPF. При расчёте внешних маршрутов в OSPF достижимость ASBR определяется на основе OSPFv2 Type 4 summary-LSA и OSPFv3 Inter-Area-Router-LSA.

Использовать Flex-Algorithm для достижимости префиксов между областями или доменами при сброшенном флаге M **не рекомендуется**. Причина заключается в том, что без явного анонса метрики префикса Flex-Algorithm (и анонса метрики Flex-Algorithm ASBR при расчёте внешних маршрутов OSPF) невозможно сделать вывод о доступности ABR или ASBR для межсетевого или междоменного префикса в следующей области или домене для данного Flex-Algorithm. Передача трафика Flex-Algorithm для такого префикса в сторону ABR или ASBR может привести к петле или постоянному отбрасыванию трафика.

В процессе расчёта маршрутов связанная с Flex-Algorithm метрика может превысить максимальное значение, которое может быть выражено 32-битовым числом без знака. В таких случаях при расчёте и в анонсах **должно** приниматься значение 0xFFFFFFFF.

FAPM **недопустимо** анонсировать с маршрутами IS-IS L1 или L2 внутри области, OSPFv2 или OSPFv3 внутри области. Если FAPM анонсируется с маршрутами этих типов, такая метрика **должна** игнорироваться при расчёте достижимости префиксов.

Флаг M в FAD не применим к префиксам, анонсируемым как локаторы SRv6. IS-IS SRv6 Locator TLV [RFC9352] включает поля Algorithm и Metric. При анонсировании SRv6 Locator между областями или доменами **должно** применяться поле Metric в Locator TLV для IS-IS независимо от флага M в анонсе FAD.

Анонсы внешних префиксов OSPF и NSSA **могут** включать ненулевой адрес пересылки в анонсах префиксов базового протокола. В таком случае связанная с Flex-Algorithm достижимость внешнего префикса определяется связанной с Flex-Algorithm достижимостью адреса пересылки.

В OSPF процедуры преобразования анонсов внешних префиксов NSSA в анонсы внешних префиксов, выполняемые NSSA ABR [RFC3101], не зависят от Flex-Algorithm. Транслятор NSSA **должен** включать OSPF FAPM sub-TLV для всех Flex-Algorithm, которые были в исходном анонсе внешнего префикса NSSA от NSSA ASBR в преобразованный анонс внешнего префикса независимо от его участия в этих Flex-Algorithm или доступности NSSA ASBR в них.

Область может быть разделена с точки зрения Flex-Algorithm из-за ограничений и/или метрики, применяемых в ней, с сохранением неразрывности в базовом алгоритме. В таких случаях некоторые адресаты внутри разделённой области могут стать недоступными в этом Flex-Algorithm и не смогут использовать межобластной путь. Это является следствием того, что анонсы доступности межобластных префиксов станут недоступными для внутренних получателей этой области. **Рекомендуется** минимизировать риск такого разделения за счёт достаточной избыточности внутри области для каждого применяемого Flex-Algorithm.

## 14. Flex-Algorithm и плоскость пересылки

В этом разделе описано использование путей Flex-Algorithm для пересылки.

### 14.1. Пересылка MPLS SR для Flex-Algorithm

В этом параграфе описано использование путей Flex-Algorithm для пересылки SR MPLS.

Анонсы Prefix-SID включают значение SR-Algorithm и поэтому связаны с ним. Prefix-SID также связаны с конкретной топологией, которая наследуется от связанного анонса достижимости префикса. Когда анонсированное значение алгоритма является значением Flex-Algorithm, Prefix-SID связывается с путями, рассчитанными по этому Flex-Algorithm в соответствующей топологии.

Путь Flex-Algorithm **должен** быть установлен в плоскости пересылки MPLS с использования метки MPLS, соответствующей Prefix-SID, анонсированному для этого Flex-Algorithm. Если Prefix-SID для данного Flex-Algorithm неизвестен, соответствующий Flex-Algorithm путь не может быть установлен в плоскости пересылки MPLS.

Трафик, который предполагается маршрутизировать по путям Flex-Algorithm, **должен** отбрасываться, если такие пути недоступны.

Дополнительные пути без петель (Loop Free Alternate или LFA) paths ([RFC6571] и его варианты) для данного Flex-Algorithm **должны** рассчитываться с теми же ограничениями, какие применяются для расчёта основных путей с этим Flex-Algorithm. Пути LFA **должны** использовать только Prefix-SID, анонсированные специально для данного алгоритма. Путям LFA **недопустимо** использовать Adjacency SID, относящийся к каналу, который был исключён из расчётов Flex-Algorithm.

Если применяется защита LFA для пути данного алгоритма Flex-Algorithm, всем маршрутизаторам области, участвующим в этом алгоритме, **следует** анонсировать хотя бы один, связанный с Flex-Algorithm, идентификатор Node-SID. Эти Node-SID служат для направления трафика по резервному пути, рассчитанному LFA.

### 14.2. Пересылка SRv6 для Flex-Algorithm

В этом параграфе описано использование путей Flex-Algorithm для пересылки SRv6.

В SRv6 узлу предоставляется конкретный (топология, алгоритм) локатор для каждой пары топология-алгоритм, поддерживаемой этим узлом. Каждый локатор является агрегатным префиксом для всех SID с совпадающей топологией и алгоритмом, предоставляемых на этом узле.

Анонс локатора SRv6 в IS-IS [RFC9352] включает значение MTID (Multi-Topology Identifier), связывающее локатор с конкретной топологией. Кроме того, анонс SRv6 включает значение алгоритма, явно связывающее локатор с конкретным алгоритмом. Когда значение алгоритма анонсируется с локатором, представляющим Flex-Algorithm, пути к префиксу локатора **должны** рассчитываться с использованием указанного Flex-Algorithm в связанной топологии.

Записи пересылки для префикса локатора, анонсированного в IS-IS, **должны** быть установлены в плоскости пересылки принимающих маршрутизаторов с поддержкой SRv6, когда в них участвует соответствующая топология/алгоритм. Записи пересылки для локаторов, связанных с Flex-Algorithm, в которых узел не участвует, **недопустимо** устанавливать в плоскости пересылки.

Когда локатор связан с Flex-Algorithm, пути LFA к префиксу локатора **должны** рассчитываться с применением такого Flex-Algorithm в связанной топологии, чтобы гарантировать соблюдение тех же ограничений, что и в расчёте основного пути. Пути LFA **должны** использовать лишь SRv6 SID, анонсированные специально для данного Flex-Algorithm.

Если LFA применяется для защиты локаторов, связанных с данным Flex-Algorithm, всем маршрутизаторам области, участвующим в этом Flex-Algorithm, **следует** анонсировать хотя бы один связанный с Flex-Algorithm локатор и END SID на узел, а также один END.X SID для каждого канала, не исключённого из расчёта с этим Flex-Algorithm. Эти локаторы и SID применяются для направления трафика по резервному пути LFA.

### 14.3. Пересылка для Flex-Algorithm в других плоскостях данных

Любая плоскость данных, желающая применять связанную с Flex-Algorithm пересылку, должна установить ту или иную форму связанных с Flex-Algorithm записей пересылки. Зависящая от плоскости данных пересылка для Flex-Algorithm **должна** быть определена для каждой плоскости данных, но это определение выходит за рамки документа.

## 15. Эксплуатационные соображения

### 15.1. Работа в нескольких областях

Расчёты Flex-Algorithm и определение FAD действуют в рамках области. В IS-IS элемент Router Capability TLV, где анонсируется FAD sub-TLV, **должен** иметь сброшенный бит S, чтобы предотвратить лавинную рассылку за пределы уровня, где анонс создан. Хотя в OSPF можно лавинно рассылать FAD sub-TLV в RI LSA в рамках AS, выбор FAD происходит для каждой индивидуальной зоны, где алгоритм будет применяться.

Для конкретного Flex-Algorithm не требуется идентичность FAD во всех областях сети. Например, трафик для одного Flex-Algorithm может оптимизироваться по задержке (например, с метрикой задержки) в одной области и по доступной пропускной способности (например, с метрикой IGP) в другой области или уровне.

Как описано в параграфе 5.1, IS-IS позволяет регенерировать выигрышное определение FAD с уровня 2 на уровень 1 без каких-либо изменений. Это позволяет оператору настроить FAD на одном или нескольких маршрутизаторах уровня 2 без необходимости повторять настройку в каждой области уровня 1, если намерение состоит в использовании одного FAD для конкретного Flex-Algorithm на всех уровнях. Аналогичным способом это можно реализовать в OSPF путём использования лавинной рассылки в AS для RI LSA с анонсами FAD sub-TLV для определённого Flex-Algorithm.

Регенерация FAD с уровня 1 на уровень 2 не поддерживается в IS-IS, поэтому для регенерации FAD между уровнями IS-IS определение FAD **должно** задаваться на маршрутизаторах уровня 2. В OSPF определение FAD возможно в любой области и оно будет распространяться на весь домен маршрутизации OSPF с использованием лавинной рассылки RI LSA в масштабе AS.

### 15.2. Использование правила исключения SRLG с Flex-Algorithm

Имеется два разных способа использования информации SRLG с Flex-Algorithm.

- В контексте одного Flex-Algorithm SRLG можно применять для расчёта резервных путей, как описано в [RTGWG-SEGMENT-ROUTING-TI-LFA]. Для этого не требуется связывать какое-либо ограничение SRLG с данным определением Flex-Algorithm.
- В контексте нескольких Flex-Algorithm SRLG можно применять для создания непересекающихся наборов путей за счёт исключения каналов, относящихся к конкретной группе SRLG из топологии, где пути рассчитываются с конкретным Flex-Algorithm. Такое исключение:
  - упрощает использование уже развёрнутых конфигураций SRLG для организации непересекающихся путей между двумя или более Flex-Algorithms;
  - требует явного связывания данного Flex-Algorithm с конкретным набором ограничений SRLG, как указано в параграфах 6.5 и 7.5.

Эти варианты применения не связаны между собой.

### 15.3. Max-Metric

В IS-IS и OSPF имеются механизмы установки значения метрики IGP на канале, делающего этот канал недоступным или применяемым в самом крайнем случае (last resort). Аналогичные функции нужны и для показателей Min Unidirectional Link Delay и TE, поскольку они могут применяться в расчётах путей Flex-Algorithm.

Канал можно сделать недоступным для всех Flex-Algorithm, использующих метрику Min Unidirectional Link Delay, как описано в параграфе 5.1, удалив анонсы Flex-Algorithm ASLA Min Unidirectional Link Delay для этого канала. Канал можно назначить как крайнюю меру, установив в анонсах Flex-Algorithm для задержки ASLA на этом канале значение задержки  $16777215 (2^{24} - 1)$ .

Канал можно сделать недоступным для всех Flex-Algorithm, использующих метрику TE, как описано в параграфе 5.1, удалив анонсы Flex-Algorithm ASLA TE для этого канала. Канал можно назначить как крайнюю меру, установив в анонсах Flex-Algorithm для задержки ASLA на этом канале значение метрики TE  $(2^{24} - 1)$  в IS-IS и  $(2^{32} - 1)$  в OSPF.

## 15.4. Задание и изменение гибкого алгоритма

При настройке узла для участия в конкретном Flex-Algorithm, следует внимательно рассмотреть компоненты FAD (calculation-type, metric-type, ограничения). Настройка участия в определённом Flex-Algorithm не гарантирует, что узел будет активно участвовать в алгоритме, поскольку он может не поддерживать calculation-type, metric-type или некоторые ограничения, анонсируемые выигрышным определением FAD (5.3. Базовая обработка FAD TLV). Изменения в конфигурации FAD также следует рассматривать в свете возможностей участвующих маршрутизаторов в области действия анонсов FAD.

Как отмечено в параграфе 5.3, изменение FAD может потребовать пересчёта SPF<sup>1</sup> в масштабе сети и повторного схождения. Это следует учитывать при планировании и внесении изменений в FAD.

## 15.5. Число гибких алгоритмов

Максимальное число Flex-Algorithm определяется диапазоном 128-255, как указано в разделе 4. Гибкий алгоритм. Хотя такое возможно, но не предполагается, что все такие алгоритмы будут применяться одновременно. Обычно в сети будет использоваться лишь часть возможных Flex-Algorithms.

## 16. Совместимость с имеющимися расширениями

Это расширение не создаёт проблем совместимости с имеющимися протоколами и расширениями. В IS-IS, OSPFv2 и OSPFv3 чётко задана обработка нераспознанных TLV и sub-TLV, что позволяет создавать новые расширения, подобные описанным здесь, без возникновения проблем совместимости.

## 17. Вопросы безопасности

Этот документ добавляет две новые возможности нарушить работу сетей IGP.

- Злоумышленник может захватить конкретный Flex-Algorithm, анонсируя FAD с приоритетом 255 (или иным значением выше, чем у легитимных узлов).
- Злоумышленник может создать ложное впечатление о поддержке (или её отсутствии) маршрутизатором конкретного Flex-Algorithm.

Обе эти атаки можно предотвратить с помощью имеющихся защитных расширений, как описано в [RFC5304] и [RFC5310] для IS-IS, в [RFC2328] и [RFC7474] для OSPFv2, в [RFC4552] и [RFC5340] для OSPFv3.

Если аутентифицированный узел захвачен злоумышленником, такой мошеннический узел может анонсировать FAD для любого Flex-Algorithm. Это может привести к тому, что трафик для такого Flex-Algorithm будет направлен не туда или не доставлен совсем, например, за счёт использования неподдерживаемых metric-type, calculation-type или ограничений. Такую атаку не удастся предотвратить с помощью аутентификации и она ничем не отличается от других вариантов анонсирования ложных сведений через IS-IS или OSPF.

## 18. Взаимодействие с IANA

### 18.1. Взаимодействие с IANA для IGP

#### 18.1.1. Реестр IGP Algorithm Types

Этот документ вносит указанную в таблице 1 запись в реестр IGP Algorithm Types.

Значение	Описание	Документ
128-255	Гибкие алгоритмы	RFC 9350, раздел 4

Таблица 1. Реестр IGP Algorithm Types.

#### 18.1.2. Реестр IGP Metric-Type

Агентство IANA создало реестр IGP Metric-Type в группе реестров Interior Gateway Protocol (IGP) Parameters. Для регистрации применяется процедура Standards Action [RFC8126] [RFC7120]. Выделенные здесь значения из диапазона 0-255 указаны в таблице 2.

Тип	Описание	Документ
0	IGP Metric	RFC 9350, параграф 5.1
1	Min Unidirectional Link Delay в соответствии с параграфом 4.2 в [RFC8570] и 4.2 в [RFC7471]	RFC 9350, параграф 5.1
2	Traffic Engineering Default Metric в соответствии с параграфом 3.7 в [RFC5305] и Traffic Engineering Metric в соответствии с параграфом 2.5.5 в [RFC3630]	RFC 9350, параграф 5.1

Таблица 2. Реестр IGP Metric-Type.

### 18.2. Реестр IGP Flexible Algorithm Definition Flags

Агентство IANA создало реестр IGP Flexible Algorithm Definition Flags в группе реестров Interior Gateway Protocol (IGP) Parameters. Для регистрации применяется процедура Standards Action. Новые значения следует выделять по порядку битов (6.4. IS-IS Flexible Algorithm Definition Flags Sub-TLV). Исходное назначение показано в таблице 3.

Бит	Имя	Документ
0	Флаг метрики префикса (M-flag)	RFC 9350, параграфы 6.4 и 7.4

Таблица 3. Реестр IGP Flexible Algorithm Definition Flags.

<sup>1</sup>Shortest Path First - сначала кратчайший путь.

## 18.3. Взаимодействие с IANA для IS-IS

### 18.3.1. Реестр IS-IS Sub-TLVs for IS-IS Router CAPABILITY TLV

Этот документ вносит указанную в таблице 4 запись в реестр IS-IS Sub-TLVs for IS-IS Router CAPABILITY TLV.

Таблица 4. Реестр IS-IS Sub-TLVs for IS-IS Router CAPABILITY TLV.

Значение	Описание	Документ
26	Определение гибкого алгоритма (FAD)	RFC 9350, параграф 5.1

### 18.3.2. Реестр IS-IS Sub-TLVs for TLVs Advertising Prefix Reachability

Этот документ вносит указанную в таблице 5 запись в реестр IS-IS Sub-TLVs for TLVs Advertising Prefix Reachability.

Таблица 5. Реестр IS-IS Sub-TLVs for TLVs Advertising Prefix Reachability.

Тип	Описание	Документ
6	Flexible Algorithm Prefix Metric (FAPM)	RFC 9350, раздел 8

### 18.3.3. Реестр IS-IS Sub-Sub-TLVs for Flexible Algorithm Definition Sub-TLV

Агентство IANA создало реестр IS-IS Sub-Sub-TLVs for Flexible Algorithm Definition Sub-TLV внутри группы реестров IS-IS TLV Codepoints. Для регистрации применяется процедура Expert Review (отметим, что группа IS-IS TLV Codepoints включает рекомендацию применять Expert Review для всех реестров в ней).

Записи sub-sub-TLV, заданных в этом документе для включения в реестр, показаны в таблице 6.

Таблица 6. Реестр IS-IS Sub-Sub-TLVs for Flexible Algorithm Definition Sub-TLV.

Тип	Описание	Документ
0	Резерв	RFC 9350
1	Flexible Algorithm Exclude Admin Group	RFC 9350, параграф 6.1
2	Flexible Algorithm Include-Any Admin Group	RFC 9350, параграф 6.2
3	Flexible Algorithm Include-All Admin Group	RFC 9350, параграф 6.3
4	Flexible Algorithm Definition Flags	RFC 9350, параграф 6.4
5	Flexible Algorithm Exclude SRLG	RFC 9350, параграф 6.5
6-255	Не выделены	

## 18.4. Взаимодействие с IANA для OSPF

### 18.4.1. Реестр OSPF Router Information (RI) TLVs

Этот документ вносит указанную в таблице 7 запись в реестр OSPF Router Information (RI) TLVs.

Таблица 7. Реестр OSPF Router Information (RI) TLVs.

Значение	Описание	Документ
16	Flexible Algorithm Definition (FAD) TLV	RFC 9350, параграф 5.2

### 18.4.2. Реестр OSPFv2 Extended Prefix TLV Sub-TLVs

Этот документ вносит указанную в таблице 8 запись в реестр OSPFv2 Extended Prefix TLV Sub-TLVs.

Таблица 8. Реестр OSPFv2 Extended Prefix TLV Sub-TLVs.

Значение	Описание	Документ
3	Flexible Algorithm Prefix Metric (FAPM)	RFC 9350, раздел 9

### 18.4.3. Реестр OSPFv3 Extended-LSA Sub-TLVs

Этот документ вносит указанные в таблице 9 записи в реестр OSPFv3 Extended-LSA Sub-TLVs.

Таблица 9. Реестр OSPFv3 Extended-LSA Sub-TLVs.

Значение	Описание	Документ
26	Flexible Algorithm Prefix Metric (FAPM)	RFC 9350, раздел 9
33	OSPF Flexible Algorithm ASBR Metric	RFC 9350, параграф 10.2

### 18.4.4. Реестр OSPF Flex-Algorithm Prefix Metric Bits

Агентство IANA создало реестр OSPF Flex-Algorithm Prefix Metric Bits внутри реестра Open Shortest Path First (OSPF) Parameters. Регистрация выполняется по процедуре IETF Review. Биты 1-7 не выделены, исходное назначение показано в таблице 10.

Таблица 10. Реестр OSPF Flex-Algorithm Prefix Metric Bits.

Номер бита	Описание	Документ
0	E bit - External Type	RFC 9350, раздел 9

### 18.4.5. Реестр Opaque Link-State Advertisements (LSA) Option Types

Этот документ регистрирует указанное в таблице 11 значение в реестре Opaque Link-State Advertisements (LSA) Option Types внутри группы реестров Open Shortest Path First (OSPF) Opaque Link-State Advertisements (LSA) Option Types.

Таблица 11. Реестр Opaque Link-State Advertisements (LSA) Option Types.

Значение	Неинтерпретируемый тип	Документ
11	OSPFv2 Extended Inter-Area ASBR (EIA-ASBR) LSA	RFC 9350, параграф 10.1

### 18.4.6. Реестр OSPFv2 Extended Inter-Area ASBR TLVs

Агентство IANA создало реестр OSPFv2 Extended Inter-Area ASBR TLVs внутри группы реестров Open Shortest Path First v2 (OSPFv2) Parameters. Для реестра применяется процедура IETF Review или IESG Approval. Исходные значения приведены в таблице 12.



Таблица 12. Реестр OSPFv2 Extended Inter-Area ASBR TLVs.

Значение	Описание	Документ
1	Extended Inter-Area ASBR	RFC 9350

Значения 2-32767 не распределены, значения 32768-33023 выделены для экспериментов (Experimental Use), 0 и 33024-65535 являются резервными.

### 18.4.7. Реестр OSPFv2 Extended Inter-Area ASBR Sub-TLVs

Агентство IANA создало реестр OSPFv2 Extended Inter-Area ASBR Sub-TLVs внутри реестра Open Shortest Path First v2 (OSPFv2) Parameters. Регистрация выполняется по процедуре IETF Review или IESG Approval. Исходные значения приведены в таблице 13.

Таблица 13. Реестр OSPFv2 Extended Inter-Area ASBR Sub-TLVs.

Значение	Описание	Документ
1	OSPF Flexible Algorithm ASBR Metric	RFC 9350

Значения 2-32767 не распределены, значения 32768-33023 выделены для экспериментов (Experimental Use), 0 и 33024-65535 являются резервными.

### 18.4.8. Реестр OSPF Flexible Algorithm Definition TLV Sub-TLVs

Агентство IANA создало реестр OSPF Flexible Algorithm Definition TLV Sub-TLVs внутри группы реестров Open Shortest Path First (OSPF) Parameters. Для реестра применяется процедура IETF Review или IESG Approval.

Реестр OSPF Flexible Algorithm Definition TLV Sub-TLVs будет определять sub-TLV с любым уровнем вложенности для Flexible Algorithm TLV и новые значения могут выделяться по процедуре регистрации.

Регистрируемые документом sub-TLV указаны в таблице 14.

Таблица 14. Реестр OSPFv2 OSPF Flexible Algorithm Definition TLV Sub-TLVs.

Номер бита	Описание	Документ
0	Резерв	RFC 9350
1	Flexible Algorithm Exclude Admin Group	RFC 9350, параграф 7.1
2	Flexible Algorithm Include-Any Admin Group	RFC 9350, параграф 7.2
3	Flexible Algorithm Include-All Admin Group	RFC 9350, параграф 7.3
4	Flexible Algorithm Definition Flags	RFC 9350, параграф 7.4
5	Flexible Algorithm Exclude SRLG	RFC 9350, параграф 7.5

Значения 6-32767 не распределены, а значения 32768-33023 выделены для экспериментов (Experimental Use) и не требуют регистрации в IANA. Значения 33024-65535 в настоящее время не выделены. Для получения значений из этого диапазона **должна** быть выпущена спецификация IETF, с соответствующими запросами к IANA.

### 18.4.9. Реестр Link Attribute Application Identifiers

Этот документ регистрирует указанные в таблице 15 идентификаторы в реестре Link Attribute Application Identifiers.

Таблица 15. Реестр флагов IGP Flexible Algorithm Definition.

Бит	Описание	Документ
3	Гибкий алгоритм (X-bit)	RFC 9350, раздел 12

## 19. Литература

### 19.1. Нормативные документы

- [ISO10589] ISO, "Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Intermediate System to Intermediate System intra-domain routing information exchange protocol for use in conjunction with the protocol for providing the connectionless-mode network service (ISO 8473)", Second Edition, ISO/IEC 10589:2002, November 2002.
- [RFC2119] Bradner, S., "Key words for use in RFCs to Indicate Requirement Levels", BCP 14, [RFC 2119](https://www.rfc-editor.org/info/rfc2119), DOI 10.17487/RFC2119, March 1997, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc2119>>.
- [RFC4203] Kompella, K., Ed. and Y. Rekhter, Ed., "OSPF Extensions in Support of Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS)", RFC 4203, DOI 10.17487/RFC4203, October 2005, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc4203>>.
- [RFC5250] Berger, L., Bryskin, I., Zinin, A., and R. Coltun, "The OSPF Opaque LSA Option", RFC 5250, DOI 10.17487/RFC5250, July 2008, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc5250>>.
- [RFC5307] Kompella, K., Ed. and Y. Rekhter, Ed., "IS-IS Extensions in Support of Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS)", RFC 5307, DOI 10.17487/RFC5307, October 2008, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc5307>>.
- [RFC7308] Osborne, E., "Extended Administrative Groups in MPLS Traffic Engineering (MPLS-TE)", RFC 7308, DOI 10.17487/RFC7308, July 2014, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc7308>>.
- [RFC7684] Psenak, P., Gredler, H., Shakir, R., Henderickx, W., Tantsura, J., and A. Lindem, "OSPFv2 Prefix/Link Attribute Advertisement", RFC 7684, DOI 10.17487/RFC7684, November 2015, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc7684>>.
- [RFC7770] Lindem, A., Ed., Shen, N., Vasseur, JP., Aggarwal, R., and S. Shaffer, "Extensions to OSPF for Advertising Optional Router Capabilities", RFC 7770, DOI 10.17487/RFC7770, February 2016, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc7770>>.
- [RFC7981] Ginsberg, L., Previdi, S., and M. Chen, "IS-IS Extensions for Advertising Router Information", RFC 7981, DOI 10.17487/RFC7981, October 2016, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc7981>>.
- [RFC8174] Leiba, B., "Ambiguity of Uppercase vs Lowercase in RFC 2119 Key Words", BCP 14, [RFC 8174](https://www.rfc-editor.org/info/rfc8174), DOI 10.17487/RFC8174, May 2017, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc8174>>.



- [RFC8362] Lindem, A., Roy, A., Goethals, D., Reddy Vallem, V., and F. Baker, "OSPFv3 Link State Advertisement (LSA) Extensibility", RFC 8362, DOI 10.17487/RFC8362, April 2018, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc8362>>.
- [RFC8660] Bashandy, A., Ed., Filsfils, C., Ed., Previdi, S., Decraene, B., Litkowski, S., and R. Shakir, "Segment Routing with the MPLS Data Plane", RFC 8660, DOI 10.17487/RFC8660, December 2019, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc8660>>.
- [RFC8665] Psenak, P., Ed., Previdi, S., Ed., Filsfils, C., Gredler, H., Shakir, R., Henderickx, W., and J. Tantsura, "OSPF Extensions for Segment Routing", RFC 8665, DOI 10.17487/RFC8665, December 2019, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc8665>>.
- [RFC8666] Psenak, P., Ed. and S. Previdi, Ed., "OSPFv3 Extensions for Segment Routing", RFC 8666, DOI 10.17487/RFC8666, December 2019, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc8666>>.
- [RFC8667] Previdi, S., Ed., Ginsberg, L., Ed., Filsfils, C., Bashandy, A., Gredler, H., and B. Decraene, "IS-IS Extensions for Segment Routing", RFC 8667, DOI 10.17487/RFC8667, December 2019, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc8667>>.
- [RFC8919] Ginsberg, L., Psenak, P., Previdi, S., Henderickx, W., and J. Drake, "IS-IS Application-Specific Link Attributes", RFC 8919, DOI 10.17487/RFC8919, October 2020, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc8919>>.
- [RFC8920] Psenak, P., Ed., Ginsberg, L., Henderickx, W., Tantsura, J., and J. Drake, "OSPF Application-Specific Link Attributes", RFC 8920, DOI 10.17487/RFC8920, October 2020, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc8920>>.
- [RFC9352] Psenak, P., Ed., Filsfils, C., Bashandy, A., Decraene, B., and Z. Hu, "IS-IS Extensions to Support Segment Routing over the IPv6 Data Plane", RFC 9352, DOI 10.17487/RFC9352, February 2023, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc9352>>.

## 19.2. Дополнительная литература

- [RFC2328] Moy, J., "OSPF Version 2", STD 54, [RFC 2328](#), DOI 10.17487/RFC2328, April 1998, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc2328>>.
- [RFC3101] Murphy, P., "The OSPF Not-So-Stubby Area (NSSA) Option", RFC 3101, DOI 10.17487/RFC3101, January 2003, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc3101>>.
- [RFC3630] Katz, D., Kompella, K., and D. Yeung, "Traffic Engineering (TE) Extensions to OSPF Version 2", RFC 3630, DOI 10.17487/RFC3630, September 2003, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc3630>>.
- [RFC3906] Shen, N. and H. Smit, "Calculating Interior Gateway Protocol (IGP) Routes Over Traffic Engineering Tunnels", RFC 3906, DOI 10.17487/RFC3906, October 2004, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc3906>>.
- [RFC4552] Gupta, M. and N. Melam, "Authentication/Confidentiality for OSPFv3", RFC 4552, DOI 10.17487/RFC4552, June 2006, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc4552>>.
- [RFC5304] Li, T. and R. Atkinson, "IS-IS Cryptographic Authentication", RFC 5304, DOI 10.17487/RFC5304, October 2008, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc5304>>.
- [RFC5305] Li, T. and H. Smit, "IS-IS Extensions for Traffic Engineering", RFC 5305, DOI 10.17487/RFC5305, October 2008, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc5305>>.
- [RFC5310] Bhatia, M., Manral, V., Li, T., Atkinson, R., White, R., and M. Fanto, "IS-IS Generic Cryptographic Authentication", RFC 5310, DOI 10.17487/RFC5310, February 2009, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc5310>>.
- [RFC5340] Coltun, R., Ferguson, D., Moy, J., and A. Lindem, "OSPF for IPv6", RFC 5340, DOI 10.17487/RFC5340, July 2008, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc5340>>.
- [RFC6571] Filsfils, C., Ed., Francois, P., Ed., Shand, M., Decraene, B., Uttaro, J., Leymann, N., and M. Horneffer, "Loop-Free Alternate (LFA) Applicability in Service Provider (SP) Networks", RFC 6571, DOI 10.17487/RFC6571, June 2012, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc6571>>.
- [RFC7120] Cotton, M., "Early IANA Allocation of Standards Track Code Points", BCP 100, RFC 7120, DOI 10.17487/RFC7120, January 2014, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc7120>>.
- [RFC7471] Giacalone, S., Ward, D., Drake, J., Atlas, A., and S. Previdi, "OSPF Traffic Engineering (TE) Metric Extensions", RFC 7471, DOI 10.17487/RFC7471, March 2015, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc7471>>.
- [RFC7474] Bhatia, M., Hartman, S., Zhang, D., and A. Lindem, Ed., "Security Extension for OSPFv2 When Using Manual Key Management", RFC 7474, DOI 10.17487/RFC7474, April 2015, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc7474>>.
- [RFC8126] Cotton, M., Leiba, B., and T. Narten, "Guidelines for Writing an IANA Considerations Section in RFCs", BCP 26, [RFC 8126](#), DOI 10.17487/RFC8126, June 2017, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc8126>>.
- [RFC8570] Ginsberg, L., Ed., Previdi, S., Ed., Giacalone, S., Ward, D., Drake, J., and Q. Wu, "IS-IS Traffic Engineering (TE) Metric Extensions", RFC 8570, DOI 10.17487/RFC8570, March 2019, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc8570>>.
- [RFC8986] Filsfils, C., Ed., Camarillo, P., Ed., Leddy, J., Voyer, D., Matsushima, S., and Z. Li, "Segment Routing over IPv6 (SRv6) Network Programming", RFC 8986, DOI 10.17487/RFC8986, February 2021, <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc8986>>.
- [ROUTING-PLANES-USING-SR] Hegde, S. and A. Gulko, "Separating Routing Planes using Segment Routing", Work in Progress, Internet-Draft, draft-gulkohegde-routing-planes-using-sr-00, 13 March 2017, <<https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-gulkohegde-routing-planes-using-sr-00>>.
- [RTGWG-SEGMENT-ROUTING-TI-LFA] Litkowski, S., Bashandy, A., Filsfils, C., Francois, P., Decraene, B., and D. Voyer, "Topology Independent Fast Reroute using Segment Routing", Work in Progress, Internet-Draft, draft-ietf-

## Благодарности

В этом документе, среди прочего, рассматривается задача, которую пытаются решить в [ROUTING-PLANES-USING-SR]. Все авторы этого документа согласились присоединиться к данному документу.

Спасибо Eric Rosen, Tony Przygienda, William Britto A. J., Gunter Van de Velde, Dirk Goethals, Manju Sivaji, and Baalajee S. за их подробные рецензии и отличные комментарии.

Спасибо Cengiz Halit за его рецензию и отклики на начальном этапе решения.

Спасибо Kenji Kumaki за его комментарии.

Спасибо Асее Lindem за редакционные замечания.

## Адреса авторов

**Peter Psenak** (editor)

Cisco Systems, Inc.  
Apollo Business Center  
Mlynske nivy 43  
82109 Bratislava  
Slovakia  
Email: [ppsenak@cisco.com](mailto:ppsenak@cisco.com)

**Shraddha Hegde**

Juniper Networks, Inc.  
Embassy Business Park  
Bangalore 560093  
KA  
India  
Email: [shraddha@juniper.net](mailto:shraddha@juniper.net)

**Clarence Filsfils**

Cisco Systems, Inc.  
Brussels  
Belgium  
Email: [cfilsfil@cisco.com](mailto:cfilsfil@cisco.com)

**Ketan Talaulikar**

Cisco Systems, Inc  
India  
Email: [ketant.ietf@gmail.com](mailto:ketant.ietf@gmail.com)

**Arkadiy Gulko**

Edward Jones  
Email: [arkadiy.gulko@edwardjones.com](mailto:arkadiy.gulko@edwardjones.com)

## Перевод на русский язык

Николай Малых

[nmalykh@protokols.ru](mailto:nmalykh@protokols.ru)