

Содержание

Мониторинг ePDG	3
Комплексная система мониторинга шлюза VoWiFi (ePDG)	3
1. Обзор решения	3
Ключевые преимущества	3
Четырёхуровневая архитектура мониторинга	3
Количественный обзор по категориям	4
Принципы именования	4
4. Перечень метрик	4
4.1 Config (2)	5
4.2 Network (1)	5
4.3 IKEv2 SWu (3)	5
4.4 GTPv2-C S2b (4)	5
4.5 GTP-U data plane (3)	5
4.6 Diameter SWm/SWx/S6b (5)	5
4.7 Service KPI (4)	6
4.8 Session State (4)	6
4.9 Application (3)	6
4.10 System (4)	6
Типы метрик (напоминание)	6
5. Интерфейсы интеграции	7
5.1 Prometheus (CNCf Standard)	7
5.2 SNMP v2c — EPDG-MIB	7
5.3 Grafana	8
5.4 Alertmanager Webhooks	8
6. Система алармов	8
Категории алармов	8
Полный перечень алармов (20+ правил)	9
Процесс обработки алармов	9
Особенности	9
7. Визуализация и операционные дашборды	10
Состав дашбордов	10
Дизайн для Центра управления сетью (NOC)	10
8. Интеграция в единый стек EPC Monitoring	10
9. Покрывание метрик по уровням OSI	11
Детализация метрик по уровням	11
Уровень 9: Качество восприятия сервиса VoWiFi	12
10. Стандарты и совместимость	12
11. Модель развёртывания	13
Характеристики развёртывания	13
Варианты размещения	13
12. Конфигурация экспортёра метрик	13

Мониторинг ePDG

Комплексная система мониторинга шлюза VoWiFi (ePDG)

1. Обзор решения

Система мониторинга VAS Experts ePDG Monitoring обеспечивает полный операционный контроль компонента **fast-epdg** — шлюза VoWiFi (Voice over WiFi), работающего согласно 3GPP TS 29.273 и TS 24.302. Шлюз обеспечивает защищённую передачу голосового и пакетного трафика через недоверенные каналы Wi-Fi с IPSec/IKEv2 туннелированием и интеграцию с EPC-ядром через интерфейсы SWu, SWm, SWx, S2b, S6b.

Решение предоставляет единую платформу мониторинга для оперативных служб мобильного оператора — от уровня IPSec SA (L3 security) до KPI абонентского опыта VoWiFi.

Ключевые преимущества

- **Мониторинг в реальном времени** — обновление метрик каждые 10-15 секунд, непосредственное отображение состояния IKE SA / Child SA и GTP-туннелей в NOC-дашбордах без отложенной агрегации (здесь и далее NOC — Network Operation Center, центр управления сетью).
- **Проактивное обнаружение аномалий** — 20+ алармов с автоматической эскалацией по важности. Недоступность PGW/AAA, рост задержек IKEv2, рост ошибок EAP-AKA' — детектируются до того, как абоненты заметят проблемы со звонками.
- **Открытые интерфейсы интеграции** — Prometheus, SNMP v2c, Alertmanager webhooks, поддержка Grafana. Интеграция в существующую NMS/OSS инфраструктуру без привязки к вендору.
- **Минимальные внешние зависимости на уровне плагинов** — встроенный /metrics endpoint в fast-epdg, без Java, без JMX, без внешних агентов.
- **Покрытие всего стека SWu → S2b** — IKEv2 (SWu), Diameter SWm/SWx/S6b, GTPv2-C (S2b) и GTP-U data plane — в одном месте. 33 метрики суммарно, покрывают control plane и data plane.

Четырёхуровневая архитектура мониторинга

Уровень	Компонент	Технология
Сбор (Collection)	Встроенный /metrics endpoint fast-epdg	Текстовый формат Prometheus поверх HTTP
Хранение (Storage)	Prometheus TSDB	Локальное хранение, 15-дневное хранение по умолчанию
Визуализация (Visualization)	Grafana + поддержка JSON	Автозагрузка 4 дашбордов
Сигнализация (Alerting)	Alertmanager + SNMP Trap Sender	PromQL rules → webhook → SNMP v2c trap

Количественный обзор по категориям

Категория	Кол-во метрик	Интервал опроса	Ключевые показатели
Config	2	10 с	Статус конфигурации, счётчик reload
Network	1	10 с	Статус соединений с узлами (PGW/AAA/HSS)
IKEv2 (SWu)	3	10 с	Сообщения по типам (IKE_SA_INIT, IKE_AUTH, CREATE_CHILD_SA), диаграмма задержки, ошибки
GTPv2-C (S2b)	4	10 с	Сообщения (Create/Modify/Delete Session), задержки, ошибки, ретрансляции
GTP-U data plane	3	10 с	Packets/bytes, ошибки туннелирования
Diameter (SWm/SWx/S6b)	5	10 с	Сообщения по command code (DER/DEA, MAR/MAA, AAR/AAA), задержки, ошибки, watchdog, статус соединения
Service KPI	4	10 с	Процент успешных попыток, гистограмма продолжительности, доступность сервиса, время безотказной работы
Session State	4	10 с	IKE SA, Child SA, GTP-сессии, всего пользователей
Application	3	10 с	Количество потоков, память, лог-сообщения по уровням
System	4	10 с	Утилизация CPU, память, утилизация памяти, открытые FD
Итого	33 метрики		

Принципы именования

Все метрики имеют префикс `epdg_` и организованы по иерархии:

```
epdg_
├── config_*           # Конфигурация
├── network_*         # Сетевой уровень
├── ikev2_*           # SWu (IKEv2/IPSec)
├── gtp_*             # S2b control-plane GTPv2-C
├── gtpu_*            # S2b data-plane GTP-U
├── diameter_*        # SWm/SWx/S6b
├── service_*         # KPI сервисов (attach, availability, uptime)
├── session_*         # Состояние сессий (IKE SA, Child SA, GTP,
subscribers)
├── app_*             # Метрики приложения (memory, threads, logs)
└── system_*         # Системные метрики (CPU, disk, network)
```

4. Перечень метрик

Все метрики экспортируются через единый `/metrics` endpoint в текстовом формате Prometheus. Именование следует правилам Prometheus: `epdg_<группа>_<имя>[_unit]`, тип

Counter имеет суффикс `_total`, Histogram — суффикс `_seconds / _bytes`.

4.1 Config (2)

Имя	Тип	Назначение
<code>epdg_config_status</code>	Gauge	Статус конфигурации компонента (0=error, 1=ok)
<code>epdg_config_reload_total</code>	Counter	Счётчик конфигурационных загрузок (success/failure)

4.2 Network (1)

Имя	Тип	Назначение
<code>epdg_network_connection_status</code>	Gauge	Статус TCP/UDP-соединения к узлу (0=down, 1=up) — применяется к PGW (S2b), AAA (SWm), HSS (SWx)

4.3 IKEv2 SWu (3)

Имя	Тип	Назначение
<code>epdg_ikev2_messages_total</code>	Counter	Счётчик IKEv2 сообщений (IKE_SA_INIT / IKE_AUTH / CREATE_CHILD_SA / INFORMATIONAL)
<code>epdg_ikev2_request_duration_seconds</code>	Histogram	Распределение времени ответа на запросы IKEv2
<code>epdg_ikev2_errors_total</code>	Counter	IKEv2 ошибки (NO_PROPOSAL_CHOSEN, AUTHENTICATION_FAILED, INVALID_SYNTAX и т.д.)

4.4 GTPv2-C S2b (4)

Имя	Тип	Назначение
<code>epdg_gtp_messages_total</code>	Counter	Сообщения GTPv2-C (Create/Modify/Delete Session, Echo)
<code>epdg_gtp_request_duration_seconds</code>	Histogram	Время ожидания запрос → ответ
<code>epdg_gtp_errors_total</code>	Counter	GTP-C ошибки по Cause Code
<code>epdg_gtp_retransmissions_total</code>	Counter	Перенаправление GTP-C запросов

4.5 GTP-U data plane (3)

Имя	Тип	Назначение
<code>epdg_gtpu_packets_total</code>	Counter	Пакеты через GTP-U туннель (uplink/downlink)
<code>epdg_gtpu_bytes_total</code>	Counter	Байты через GTP-U туннель
<code>epdg_gtpu_errors_total</code>	Counter	Ошибки туннелирования (TEID mismatch, decap fail)

4.6 Diameter SWm/SWx/S6b (5)

Имя	Тип	Назначение
<code>epdg_diameter_messages_total</code>	Counter	DER/DEA (SWm), MAR/MAA (SWx), AAR/AAA (S6b), STR/STA
<code>epdg_diameter_request_duration_seconds</code>	Histogram	Время ожидания запрос → ответ по Diameter
<code>epdg_diameter_errors_total</code>	Counter	Ошибки по Experimental-Result-Code

Имя	Тип	Назначение
epdg_diameter_watchdog_status	Gauge	Статус DWR/DWA watchdog до узла (0=timeout, 1=ok)
epdg_diameter_connection_status	Gauge	Статус соединения по Diameter до узла (0=disconnected, 1=connected)

4.7 Service KPI (4)

Имя	Тип	Назначение
epdg_service_attach_total	Counter	Попытки соединения (success/failure) по APN
epdg_service_attach_duration_seconds	Histogram	Длительность соединения (IKE_SA_INIT → session ready)
epdg_service_availability	Gauge	Флаг доступности (0=down, 1=up)
epdg_service_uptime_seconds	Gauge	Время доступности сервиса

4.8 Session State (4)

Имя	Тип	Назначение
epdg_session_ike_sa_total	Gauge	Активные IKE SA
epdg_session_child_sa_total	Gauge	Активные Child SA (IPSec tunnels)
epdg_session_gtp_sessions_total	Gauge	Активные GTP-C сессии на S2b
epdg_session_subscribers_total	Gauge	Уникальные абоненты (подключённые UE)

4.9 Application (3)

Имя	Тип	Назначение
epdg_app_threads_total	Gauge	Общее число рабочих потоков
epdg_app_memory_bytes	Gauge	Память процесса по типам
epdg_app_log_messages_total	Counter	Лог-сообщения по уровням (debug/info/warn/error/fatal)

4.10 System (4)

Имя	Тип	Назначение
epdg_system_cpu_usage_percent	Gauge	Загрузка CPU
epdg_system_memory_bytes	Gauge	Системная память
epdg_system_disk_bytes	Gauge	Дисковое пространство
epdg_system_open_fds	Gauge	Открытые описания файлов

Типы метрик (напоминание)

Тип	Назначение
Counter	Моноotonно растущий счётчик (сообщения, ошибки, перезагрузки)
Gauge	Текущее значение (активные сессии, память, статус)
Histogram	Распределение значений с автоматическими срезами по интервалам (длительность, время жизни)

5. Интерфейсы интеграции

```
flowchart LR
  CORE["VAS Experts ePDG Monitoring"] --> P["Prometheus CNCF / OpenMetrics"]
  CORE --> S["SNMP v2c EPDG-MIB"]
  CORE --> G["Grafana JSON Provisioning"]
  CORE --> W["Webhooks ChatOps"]
  CORE --> AM["Alertmanager Routing"]
  P --> P1["Cloud-native NMS Thanos / Cortex / Mimir"]
  S --> S1["Legacy NMS HP OpenView, NetAct IBM Tivoli"]
  G --> G1["NOC Wall Displays Drill-down Analytics"]
  W --> W1["Telegram / Slack PagerDuty / OpsGenie"]
  AM --> AM1["Smart routing Severity-based"]
```

5.1 Prometheus (CNCF Standard)

Нативный `/metrics` endpoint на порту **9817** встроен в `fast-epdg`. Формат — стандартный текстовый формат Prometheus v0.0.4 (совместим с OpenMetrics). Поддерживается объединение для агрегации с центральным Prometheus оператора; поддержка команды `remote_write` для долгосрочного хранения в Thanos, Cortex, Grafana Mimir.

5.2 SNMP v2c — EPDG-MIB

47 OID покрывают SMI-аналог Prometheus-метрик + **14 trap notifications** (с парами `raise/clear` согласно RFC 3877 ALARM-MIB). Совместимость с HP OpenView, IBM Tivoli NetCool, Nokia NetAct, Huawei U2000.

```
flowchart TB
  IANA["IANA PEN enterprises .1.3.6.1.4.1"] --> VAS["VAS Experts .1.3.6.1.4.1.43823 (vas.expert)"]
  EPDG["EPDG EPDG-MIB .43823.1"] --> EPC["EPC Monitoring .43823.100"]
  IANA --> VAS --> EPDG --> EPC --> OBJ["epdgObjects .43823.1.1"]
  EPDG --> NOTIF["epdgNotifications .43823.1.2"]
  EPDG --> CONF["epdgConformance .43823.1.3"]
  OBJ --> SERVICE["service .1.1.1"]
  OBJ --> IKE["ikev2 .1.1.2"]
  OBJ --> GTP["gtp .1.1.3"]
  OBJ --> DIAM["diameter .1.1.4"]
  OBJ --> SESS["sessions .1.1.5"]
  OBJ --> SYS["system .1.1.6"]
  OBJ --> NET["network .1.1.7"]
```

6 OID"] NOTIF --> TRAPAGR["7 raise / 7 clear pairs"]

Примеры SNMP-запросов:

```
# Все дерево ePDG
snmpwalk -v2c -c public <host> .1.3.6.1.4.1.43823.1

# Service availability (Gauge 0..1)
snmpget -v2c -c public <host> .1.3.6.1.4.1.43823.1.1.1.1.0
```

5.3 Grafana

4 поддерживающих JSON дашборда (35+ панелей суммарно):

- **ePDG Overview** — доступность, KPI соединений, сессии, состояние интерфейсов
- **IKEv2 Details** — сообщения, производительность, ошибки, жизненный цикл IKE SA
- **GTP Details** — GTPv2-C + GTP-U данные по PGW узлам
- **Diameter Details** — сообщения по приложениям, задержки, watchdog

Автоматическая установка через API, поддерживающее Grafana. Адаптивный дизайн для мониторов состояния центра управления сети (NOC) с автообновлением каждые 15 секунд.

5.4 Alertmanager Webhooks

Webhook-интерфейс для интеграции с любой системой оповещений: Telegram Bot, Slack, PagerDuty Events API v2, OpsGenie, Microsoft Teams. Отдельный **SNMP Trap Sender** service конвертирует Alertmanager webhooks в SNMP v2c traps с Enterprise OID.

6. Система алармов

Категории алармов

Критичность	Алармы	Описание	Реакция
Critical	ePDG_Service_Down, ePDG_High_Attach_Failure_Rate, ePDG_PGW_Unreachable, ePDG_AAA_Unreachable, ePDG_Diameter_Watchdog_Timeout	Компонент недоступен, массовый отказ соединений, узлы недоступны	Немедленная эскалация: Email + SNMP Trap + Webhook. Повтор раз в 1 час

Критичность	Алармы	Описание	Реакция
Warning	ePDG_High_IKEv2_Latency, ePDG_High_GTP_Latency, ePDG_High_IKEv2_Error_Rate, ePDG_High_GTP_Error_Rate, ePDG_High_Memory_Usage, ePDG_High_CPU_Usage, ePDG_Low_Disk_Space, ePDG_High_Error_Log_Rate	Деградация производительности, аномалии ресурсов	Email. Повтор раз в 4 часа. Подавляется при наличии Critical на том же компоненте

Полный перечень алармов (20+ правил)

```

flowchart LR
  AL["ePDG Alert Rules  
20+"] --> CR["Critical  
5 rules"]
  AL --> WR["Warning  
8 rules"]
  AL --> INFO["Recording  
34 rules"]
  CR --> C1["Service_Down  
availability == 0"]
  CR --> C2["Attach_Failure_Rate  
> 10%"]
  CR --> C3["PGW_Unreachable  
connection_status{s2b} == 0"]
  CR --> C4["AAA_Unreachable  
connection_status{swm} == 0"]
  CR --> C5["Diameter_Watchdog_Timeout  
watchdog_status == 0"]
  WR --> W1["High_IKEv2_Latency  
p95 > 1.0 s"]
  WR --> W2["High_GTP_Latency  
p95 > 0.5 s"]
  WR --> W3["High_IKEv2_Error_Rate  
> 5%"]
  WR --> W4["High_GTP_Error_Rate  
> 5%"]
  WR --> W5["High_Memory_Usage  
> 80%"]
  WR --> W6["High_CPU_Usage  
> 80%"]
  WR --> W7["Low_Disk_Space  
< 10%"]
  WR --> W8["High_Error_Log_Rate  
> 10/s"]
  INFO --> I1["attach_success_rate  
preaggregated"]
  INFO --> I2["p95_p99_latency  
preaggregated"]
  INFO --> I3["throughput  
preaggregated"]

```

Процесс обработки алармов

```

sequenceDiagram
  participant M as Метрика (Prometheus)
  participant R as Alert Rule (PromQL)
  participant AM as Alertmanager
  participant E as Email (SMTP)
  participant SG as SNMP Trap Gateway
  participant NMS as Внешняя NMS
  participant W as Webhook (ChatOps)
  M->>R: Значение превышает порог
  R->>R: Ожидание (for: 1-10 мин)
  R->>AM: Alert FIRING
  AM->>AM: Group by [alertname, component]
  AM->>AM: Inhibition check (critical подавляет warning)
  alt severity = critical
  AM->>E: Email [CRITICAL]
  AM->>SG: Webhook → SNMP Trap
  SG->>NMS: SNMP v2c Trap (OID .1.3.6.1.4.1.43823.1.2.X)
  AM->>W: Webhook (Telegram / PagerDuty)
  else severity = warning
  AM->>E: Email [WARNING]
  end
  Note over M,R: Метрика возвращается в норму
  R->>AM: Alert RESOLVED
  R->>SG: clear-trap (paired notification)
  AM->>E: Email [RESOLVED]

```

Особенности

- **Inhibition:** Critical-алармы автоматически подавляют Warning для того же компонента
- **Grouping:** Алармы группируются по alertname + component с 30-секундным окном
- **Dead time / Hysteresis:** параметр for от 1 до 10 минут предотвращает ложные срабатывания
- **Trap pairing:** raise/clear одновременных событий для соответствия RFC 3877 ALARM-MIB

7. Визуализация и операционные дашборды

Состав дашбордов

Дашборд	Панели	Назначение
ePDG Overview	10	Доступность сервиса, коэффициент успешного подключения, количество активных сеансов, состояние SWu/SWm/S2b, пропускная способность по интерфейсам
IKEv2 Details	10	Сообщения в секунду по типам, гистограмма продолжительности запросов, задержка в 95-м процентиле, ошибки по типам, жизненный цикл IKE SA
GTP Details	8	Сообщения GTPv2-C по PGW, повторные передачи, ошибки по коду причины, GTP-U (восходящий/нисходящий канал), несущие
Diameter Details	7	Количество сообщений по приложениям (SWm/SWx/S6b), продолжительность запросов, состояние сторожевого таймера, распределение кодов результатов, хронология состояний соединений

Дизайн для Центра управления сетью (NOC)

```

flowchart TB
  NOC["NOC Dashboard Layer"] --> OVER["ePDG Overview  
KPI Summary"]
  NOC --> IKE["IKEv2 Details  
Drill-down"]
  NOC --> GTP["GTP Details  
Drill-down"]
  NOC --> DIA["Diameter Details  
Drill-down"]
  OVER -->|Click attach KPI| IKE
  OVER -->|Click session count| GTP
  OVER -->|Click peer status| DIA
  
```

- **Автообновление:** 15-секундный период обновления
- **Адаптивная цветовая схема:** зелёный → жёлтый → красный по пороговым значениям
- **Drill-down:** от Overview к детализации до компонента
- **Time-range selector:** от 5 минут до 30 дней истории
- **JSON provisioning:** дашборды разворачиваются автоматически

8. Интеграция в единый стек EPC Monitoring

ePDG мониторинг полностью интегрирован в общий мониторинг пакетного ядра:

```

flowchart TB
  subgraph Common["Единый Monitoring Stack"]
    PROM["Prometheus"]
    GRAF["Grafana"]
    AM["Alertmanager"]
  end
  subgraph Sources["Источники метрик EPC"]
    DPI["FastDPI  
:9110"]
    SMF["SMF /metrics  
:9090"]
    PCEF["fast-pcef /metrics"]
  end
  
```

```
:9090"] PCRF["FastPCRF"] EPDG["fast-epdg
:9817"] end DPI --> PROM SMF --> PROM PCEF --> PROM PCRF --> PROM EPDG --> PROM PROM -->
GRAF PROM --> AM
```

Оператор NOC видит **все компоненты EPC** (DPI, SMF, PCEF, FastPCRF, ePDG) в одном интерфейсе Grafana, с единой системой алармов и маршрутизации уведомлений через один Alertmanager.

9. Покрытие метрик по уровням OSI

```
graph LR
  L1["L1 Physical  
NIC counters via system"] --> L2["L2 Data Link  
MAC, VLAN"]
  L2 --> L3["L3 Network  
IP, IPsec ESP, GTP-U"]
  L3 --> L4["L4 Transport  
TCP/UDP/SCTP"]
  L4 --> L5["L5 Session  
GTPv2-C, IKEv2"]
  L5 --> L6["L6 Presentation  
IKEv2/IPsec encryption, EAP-AKA"]
  L6 --> L7["L7 Application  
Diameter, service bearer ops"]
  L7 --> CX["CX Level  
Subscriber Experience"]
  L1 --> L2 --> L3 --> L4 --> L5 --> L6 --> L7 --> Operations --> CX
  style L1 fill:#e74c3c,color:#fff
  style L2 fill:#e67e22,color:#fff
  style L3 fill:#f39c12,color:#fff
  style L4 fill:#2ecc71,color:#fff
  style L5 fill:#1abc9c,color:#fff
  style L6 fill:#3498db,color:#fff
  style L7 fill:#9b59b6,color:#fff
  style Operations fill:#34495e,color:#fff
  style CX fill:#2c3e50,color:#fff
```

Детализация метрик по уровням

Модель OSI:

Уровень	Метрики	Примеры
L1/L2 Physical / Data Link	—	Покрывается отдельным node_exporter / аналогом на уровне ОС (не входит в перечень метрик ePDG)
L3 Network / IPsec tunnels	3	epdg_gtpu_packets_total, epdg_gtpu_bytes_total, epdg_gtpu_errors_total — GTP-U data plane
L4 Transport	1	epdg_network_connection_status — TCP к узлам (PGW/AAA/HSS)
L5 Session	3	epdg_session_ike_sa_total, epdg_session_child_sa_total, epdg_session_gtp_sessions_total
L6 Presentation/Security	3	epdg_ikev2_messages_total, epdg_ikev2_request_duration_seconds, epdg_ikev2_errors_total — IKEv2/IPsec шифрование и EAP-AKA' аутентификация
L7 Application	9	epdg_diameter_* (SWm/SWx/S6b, 5 метрик), epdg_gtp_* (GTPv2-C, 4 метрики)

Операторский уровень:

Уровень	Метрики	Примеры
Operations	11	epdg_service_availability, epdg_service_uptime_seconds, epdg_app_* (3), epdg_system_* (4), epdg_config_* (2)
Customer Experience	3	epdg_service_attach_duration_seconds p95, epdg_service_attach_total (success rate), epdg_ikev2_request_duration_seconds p99

Уровень 9: Качество восприятия сервиса VoWiFi

QoE-индикатор	Метрики-источники	Интерпретация
Время подключения VoWiFi	epdg_service_attach_duration_seconds p95	> 3 сек — абонент замечает задержку при переключении на WiFi
Непрерывность сервиса	epdg_session_ike_sa_total delta	Массовый сброс > 50 IKE SA = проблема доступности
Успешность аутентификации	ePDG_High_Attach_Failure_Rate alert rate	> 5% = проблема с HSS/AAA узлами
Задержка назначения bearer	epdg_gtp_request_duration_seconds{msg=create-session} p99	> 500 мс — задержка готовности голосового канала
Ошибки GTP-U tunnel	epdg_gtpu_errors_total rate / epdg_gtpu_packets_total	> 0.1% = деградация качества голоса
IKEv2-надёжность	epdg_ikev2_errors_total по типам	NO_PROPOSAL_CHOSEN / AUTHENTICATION_FAILED — проблемы с certs / UE

10. Стандарты и совместимость

Стандарт	Область	Применение
3GPP TS 29.273	SWx/S6b/SWm	Методология учёта Diameter-сообщений и результирующих кодов
3GPP TS 24.302	SWu (IKEv2)	Определение IKEv2 типов сообщений и кодов ошибок
3GPP TS 33.402	3GPP security for non-3GPP access	Параметры безопасности EAP-AKA' / IKEv2
3GPP TS 23.402	Non-3GPP access architecture	Структура интерфейсов (SWu/SWm/SWx/S6b/S2b)
3GPP TS 32.421	Performance Measurement	Методология сбора KPI
3GPP TS 32.409	Performance measurement charging	Структура счётчиков
IETF RFC 7296	IKEv2	Типы сообщений, уведомления об ошибках, состояние SA
IETF RFC 6733	Diameter	Command codes, Result-Codes
IETF RFC 4187	EAP-AKA	Аутентификация через SIM
IETF RFC 3877	ALARM MIB	Структура Enterprise MIB для алармов
IETF RFC 3418	SNMPv2 MIB	Совместимость SNMP v2c
Prometheus Exposition Format	Metrics (v0.0.4)	Формат экспорта метрик
OpenMetrics	CNCF Standard	Перспективная совместимость

11. Модель развёртывания

```
flowchart TB
  subgraph Host1["Сервер ePDG"]
    EPDG["fast-epdg (VoWiFi gateway)"]
    PLUGIN["/metrics endpoint :9817"]
  end
  subgraph Host2["Сервер мониторинга"]
    PROM["Prometheus"]
    GRAF["Grafana"]
    AM["Alertmanager"]
    SNMPTRAP["SNMP Trap Sender (webhook gateway)"]
  end
  subgraph Host3["Внешние системы"]
    NMS["Операторская NMS (HP OpenView / NetAct / Tivoli)"]
    CHAT["ChatOps (Telegram / PagerDuty)"]
  end
  EPDG --> PLUGIN
  PLUGIN --> PROM
  PROM --> GRAF
  PROM --> AM
  PROM --> SNMPTRAP
  NMS --> CHAT
```

Характеристики развёртывания

Параметр	Значение
Metrics footprint	Интегрированные (~2 MB memory overhead)
Внешние зависимости	Самодостаточный пакет fast-epdg (rpm)
Управление	fast-epdg.service systemd
Конфигурация	Секция monitoring в fast-epdg.conf
Обновление	Обновление конфигурации без прерывания работы
ОС	Linux (RHEL/CentOS 8+, Ubuntu 22.04+)
Порт	9817 TCP (listen 0.0.0.0, настраивается)
Время развёртывания	< 5 минут (enable plugin в config + restart)

Варианты размещения

- **On-premise** — плагин работает в адресном пространстве fast-epdg, нулевое потребление ресурсов
- **Co-located Prometheus** — Prometheus собирает метрики с приложения, работающего на том же хосте
- **Централизованный** — единый Prometheus собирает со всех ePDG узлов

12. Конфигурация экспортёра метрик

Секция monitoring в fast-epdg.conf:

```
monitoring {
  enabled = yes
  listen_port = 9817
  listen_address = 0.0.0.0
  update_interval = 10
  metrics {
    ikev2 = yes
    gtp = yes
    diameter = yes
  }
}
```

```
    service = yes
    session = yes
    app = yes
    system = yes
  }
}
```

Каждая группа метрик может быть независимо включена/выключена без перекомпиляции.