

Table of Contents

Мониторинг ePDG	3
Комплексная система мониторинга шлюза VoWiFi (ePDG)	3
1. Обзор решения	3
Ключевые преимущества	3
2. Архитектура системы мониторинга	3
Четырёхуровневая архитектура мониторинга	4
3. Компоненты и метрики	4
Покрытие мониторингом	4
Количественный обзор по категориям	4
Принципы именования	5
4. Перечень метрик	5
4.1 Config (2)	6
4.2 Network (1)	6
4.3 IKEv2 SWu (3)	6
4.4 GTPv2-C S2b (4)	6
4.5 GTP-U data plane (3)	6
4.6 Diameter SWm/SWx/S6b (5)	6
4.7 Service KPI (4)	7
4.8 Session State (4)	7
4.9 Application (3)	7
4.10 System (4)	7
Типы метрик (напоминание)	7
5. Интерфейсы интеграции	7
5.1 Prometheus (CNCF Standard)	8
5.2 SNMP v2c — EPDG-MIB	8
5.3 Grafana	9
5.4 Alertmanager Webhooks	9
6. Система алармов	9
Категории алармов	9
Полный перечень алармов (20+ правил)	9
Процесс обработки алармов	10
Особенности	10
7. Визуализация и операционные дашборды	10
Состав дашбордов	10
Дизайн для Центра управления сетью (NOC)	11
8. Интеграция в единый стек EPC Monitoring	11
9. Покрытие метрик по уровням OSI	12
Детализация метрик по уровням	12
Уровень 9: Качество восприятия сервиса VoWiFi	12
10. Стандарты и совместимость	13
11. Модель развёртывания	13
Характеристики развёртывания	14
Варианты размещения	14
12. Конфигурация экспортёра метрик	14

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.

2. Архитектура системы мониторинга

```
flowchart TB
    subgraph DataPlane ["Data Plane"]
        IPSEC["IPSec ESP IKEv2 SA / Child SA Kernel xfrm"]
        GTPU["GTP-U Tunneller S2b Data"]
    end
    subgraph ControlPlane ["Control Plane"]
        EPDG["ePDG ↔ PGW"]
        IKE["IKEv2 SWu EAP-AKA' auth"]
        DIAM["Diameter Client SWx/SWm/S6b"]
        GTPC["GTPv2-C S2b to PGW/SMF"]
        CTRL["ePDG Controller"]
    end
```

```

Attach/Detach FSM"] end subgraph Collection["Сбор метрик"] PROMEXP["fast-epdg
/metrics endpoint
:9817"] end subgraph Storage["Хранение"] PROM["Prometheus
TSDB
15-day retention"] end subgraph Visualization["Визуализация"] GRAF["Grafana
4 дашборда, 35+ панелей"] end subgraph Alerting["Сигнализация"] AM["Alertmanager
Routing / Inhibition"] EMAIL["Email SMTP"] SNMPGW["SNMP Trap Sender
Webhook → Trap gateway"] NMS["Внешняя NMS
SNMP v2c UDP/162"] WH["Webhooks
Telegram / PagerDuty"] end IKE --> PROMEXP IPSEC --> PROMEXP GTPC --> PROMEXP GTPU -->
PROMEXP DIAM --> PROMEXP CTRL --> PROMEXP PROMEXP --> PROM PROM --> GRAF PROM --> AM
AM --> EMAIL AM --> SNMPGW SNMPGW --> NMS AM --> WH

```

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

3. Компоненты и метрики

Покрытие мониторингом

```

flowchart LR
  EXP["fast-epdg /metrics :9817"] --> CFG["Config 2 метрики"]
  EXP --> NET["Network 1 метрика"]
  EXP --> PROTO["Protocols L5-L7 15 метрик"]
  EXP --> SVC["Service KPI 4 метрики"]
  EXP --> SESS["Session State 4 метрики"]
  EXP --> APP["Application 3 метрики"]
  EXP --> SYS["System 4 метрики"]
  PROTO --> IKEV2["IKEv2 SWu — 3"]
  PROTO --> GTPC["GTPv2-C S2b — 4"]
  PROTO --> GTPU["GTP-U S2b data — 3"]
  PROTO --> DIA["Diameter SWm/SWx/S6b — 5"]

```

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)

Категория	Кол-во метрик	Интервал опроса	Ключевые показатели
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. Именованию следует правилам Prometheus: `epdg_<группа>_<имя>[_unit]`, тип Counter имеет суффикс `_total`, Histogram — суффикс `_seconds / _bytes`.

4.1 Config (2)

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

4.2 Network (1)

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

4.4 GTPv2-C S2b (4)

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

4.5 GTP-U data plane (3)

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

4.6 Diameter SWm/SWx/S6b (5)

Имя	Тип	Назначение
epdg_diameter_messages_total	Counter	DER/DEA (SWm), MAR/MAA (SWx), AAR/AAA (S6b), STR/STA
epdg_diameter_request_duration_seconds	Histogram	Время ожидания запрос → ответ по Diameter
epdg_diameter_errors_total	Counter	Ошибки по Experimental-Result-Code
epdg_diameter_watchdog_status	Gauge	Статус DWR/DWA watchdog до узла (0=timeout, 1=ok)

Имя	Тип	Назначение
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 оператором; 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-MIB  
.43823.1"] --> EPC["EPC Monitoring  
.43823.100"]
  IANA --> VAS --> EPDG --> EPC
  EPDG --> OBJ["epdgObjects  
.43823.1.1"]
  EPDG --> NOTIF["epdgNotifications  
.43823.1.2  
14 trap types"]
  EPDG --> CONF["epdgConformance  
.43823.1.3"]
  OBJ --> SERVICE["service .1.1.1  
4 OID"]
  OBJ --> IKE["ikev2 .1.1.2  
6 OID"]
  OBJ --> GTP["gtp .1.1.3  
8 OID"]
  OBJ --> DIAM["diameter .1.1.4  
7 OID"]
  OBJ --> SESS["sessions .1.1.5  
8 OID"]
  OBJ --> SYS["system .1.1.6  
8 OID"]
  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
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"]
 NOC --> 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 :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"]
 L3["L3 Network
IP, IPSec ESP, GTP-U"]
 L4["L4 Transport
TCP/UDP/SCTP"]
 L5["L5 Session
GTPv2-C, IKEv2"]
 L6["L6 Presentation
IKEv2/IPSec encryption, EAP-AKA"]
 L7["L7 Application
Diameter, service bearer ops"]
 Operations["Operations
KPI, SLA, Capacity"]
 CX["CX Level
Subscriber Experience"]
 L1 --> L2
 L2 --> L3
 L3 --> L4
 L4 --> L5
 L5 --> L6
 L6 --> L7
 L7 --> Operations
 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"]
  end
  EPDG --> PLUGIN
  PLUGIN --> PROM
  PROM --> GRAF
  PROM --> AM
  AM --> SNMPTRAP
  
```

(HP OpenView / NetAct / Tivoli)"] CHAT["ChatOps (Telegram / PagerDuty)"] end PLUGIN -->|HTTP :9817/metrics| PROM SNMPTRAP -->|UDP 162| NMS AM -->|Webhook| 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.