

Содержание

VAS Experts ePDG Monitoring System	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)	5
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	11
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

VAS Experts ePDG Monitoring System

Комплексная система мониторинга шлюза VoWiFi (ePDG)

1. Обзор решения

Система мониторинга VAS Experts ePDG Monitoring обеспечивает полный операционный контроль компонента **fast-edpdg** — шлюза VoWiFi (Voice over WiFi), реализующего пакетный шлюз данных (Evolved Packet Data Gateway) 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.
- **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 (EPDG-MIB под официальным enterprise OID VAS Experts .1.3.6.1.4.1.43823 / поддерево ePDG .43823.1), Alertmanager webhooks, Grafana provisioning. Интеграция в существующую NMS/OSS инфраструктуру без vendor lock-in.
- **Zero external dependencies на plugin-уровне** — встроенный /metrics endpoint в fast-edpdg, без Java, без JMX, без внешних агентов. Publish в формате Prometheus text exposition поверх HTTP.
- **Покрытие всего стека SWu→S2b** — IKEv2 (SWu), Diameter SWm/SWx/S6b, GTPv2-C (S2b) и GTP-U data plane — в одном endpoint. 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["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"]
    end
```

```

SWx/SWm/S6b"] GTPC["GTPv2-C S2b
to PGW/SMF"] CTRL["ePDG Controller
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["Алармирование"] 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	Prometheus text exposition поверх HTTP
Хранение (Storage)	Prometheus TSDB	Локальное хранение, 15-дневное хранение по умолчанию
Визуализация (Visualization)	Grafana + JSON provisioning	Автозагрузка 4 дашбордов
Алармирование (Alerting)	Alertmanager + SNMP Trap Sender	PromQL rules → webhook → SNMP v2c trap

3. Компоненты и метрики

Покрытие мониторингом

```

flowchart LR
EXP["fast-epdg
/metrics :9817"] EXP --> 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

Категория	Кол-во метрик	Интервал опроса	Ключевые показатели
Network	1	10 с	Статус соединений к peers (PGW/AAA/HSS)
IKEv2 (SWu)	3	10 с	Сообщения по типам (IKE_SA_INIT, IKE_AUTH, CREATE_CHILD_SA), latency histogram, ошибки
GTPv2-C (S2b)	4	10 с	Сообщения (Create/Modify/Delete Session), latency, ошибки, retransmissions
GTP-U data plane	3	10 с	Packets/bytes, tunnel ошибки
Diameter (SWm/SWx/S6b)	5	10 с	Сообщения по command code (DER/DEA, MAR/MAA, AAR/AAA), latency, ошибки, watchdog, connection status
Service KPI	4	10 с	Attach success rate, attach duration histogram, service availability, uptime
Session State	4	10 с	IKE SA, Child SA, GTP sessions, total subscribers
Application	3	10 с	Threads total, memory, лог-сообщения по уровням
System	4	10 с	CPU usage, memory, disk usage, 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 формате Prometheus text exposition. Именованию 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)

Имя	Тип	Назначение
epdg_config_reload_total	Counter	Счётчик конфигурационных reload (success/failure)

4.2 Network (1)

Имя	Тип	Назначение
epdg_network_connection_status	Gauge	Статус TCP/UDP-соединения к peer (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 IKEv2 request
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	Latency request→response
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 tunnel (uplink/downlink)
epdg_gtpu_bytes_total	Counter	Байты через GTP-U tunnel
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	Latency Diameter request→answer
epdg_diameter_errors_total	Counter	Ошибки по Experimental-Result-Code
epdg_diameter_watchdog_status	Gauge	Статус DWR/DWA watchdog per peer (0=timeout, 1=ok)
epdg_diameter_connection_status	Gauge	Статус Diameter connection per peer (0=disconnected, 1=connected)

4.7 Service KPI (4)

Имя	Тип	Назначение
epdg_service_attach_total	Counter	Попытки attach (success/failure) по APN
epdg_service_attach_duration_seconds	Histogram	Длительность attach (IKE_SA_INIT → session ready)
epdg_service_availability	Gauge	Availability flag (0=down, 1=up)
epdg_service_uptime_seconds	Gauge	Service uptime

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 sessions 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	CPU usage процесса
epdg_system_memory_bytes	Gauge	Системная память
epdg_system_disk_bytes	Gauge	Дисковое пространство
epdg_system_open_fds	Gauge	Открытые file descriptors

Типы метрик (напоминание)

Тип	Назначение
Counter	Монотонно растущий счётчик (сообщения, ошибки, reload-ы)
Gauge	Текущее значение (активные сессии, память, статус)
Histogram	Распределение значений с автоматическими percentile bucket'ами (latency, lifetime)

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 Prometheus text exposition v0.0.4 (OpenMetrics compatible). Поддерживается объединение для агрегации с центральным Prometheus оператора; `remote_write` для долгосрочного хранения в Thanos, Cortex, Grafana Mimir.

5.2 SNMP v2c — EPDG-MIB

Enterprise OID VAS Experts (`vas.expert`): **.1.3.6.1.4.1.43823** (регистрация IANA PEN). ePDG MIB живёт под деревом **.1.3.6.1.4.1.43823.1**. Другие продукты VAS Experts используют соседние поддеревья (например EPC Monitoring на `.43823.100`).

```
flowchart TB
  IANA["IANA PEN enterprises  
.1.3.6.1.4.1"] --> VAS["VAS VAS Experts  
.1.3.6.1.4.1.43823"]
  VAS --> EPDG["EPDG EPDG-MIB  
.43823.1"]
  EPDG --> EPC["EPC EPC Monitoring  
.43823.100"]
  EPC --> IANA --> VAS --> EPDG --> EPC --> OBJ["epdgObjects  
.43823.1.1"]
  OBJ --> EPDG --> NOTIF["epdgNotifications  
.43823.1.2"]
  NOTIF --> EPDG --> CONF["epdgConformance  
.43823.1.3"]
  CONF --> OBJ --> SERVICE["service .1.1.1"]
  SERVICE --> OBJ --> IKE["ikev2 .1.1.2"]
  IKE --> OBJ --> GTP["gtp .1.1.3"]
  GTP --> OBJ --> DIAM["diameter .1.1.4"]
  DIAM --> OBJ --> SESS["sessions .1.1.5"]
  SESS --> OBJ --> SYS["system .1.1.6"]
  SYS --> OBJ --> NET["network .1.1.7"]
  NET --> NOTIF --> TRAPAGR["7 raise / 7 clear  
pairs"]
```

Итого **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.

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** — availability, attach KPI, sessions, interfaces status
- **IKEv2 Details** — messages, performance, errors, IKE SA lifecycle
- **GTP Details** — GTPv2-C + GTP-U данные по PGW peers
- **Diameter Details** — messages по applications, latency, watchdog

Автоматическая установка через Grafana provisioning API. 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

Severity	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 attach, peer unreachable	Немедленная эскалация: Email + SNMP Trap + Webhook. Повтор 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 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

Дашборд	Панели	Назначение
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["IKE OVER"]
 OVER -->|Click session count| GTP_OVER["GTP OVER"]
 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. Покрывтие 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 --> 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 peers (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 peers

QoE-индикатор	Метрики-источники	Интерпретация
Задержка назначения bearer	epdg_gtp_request_duration_seconds{msg=create-session} p99	> 500 мс — задержка готовности voice path
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 message types и error codes
3GPP TS 33.402	3GPP security for non-3GPP access	EAP-AKA' / IKEv2 security parameters
3GPP TS 23.402	Non-3GPP access architecture	Структура interfaces (SWu/SWm/SWx/S6b/S2b)
3GPP TS 32.421	Performance Measurement	Методология KPI сбора
3GPP TS 32.409	Performance measurement charging	Структура счётчиков
IETF RFC 7296	IKEv2	Message types, error notifications, SA states
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"]
    EPDG --> PLUGIN
  end
  subgraph Host2 ["Сервер мониторинга"]
    PROM["Prometheus"]
    GRAF["Grafana"]
    AM["Alertmanager"]
    SNMPTRAP["SNMP Trap Sender (webhook gateway)"]
    PROM --> GRAF
    PROM --> AM
    AM --> SNMPTRAP
  end
  subgraph Host3 ["Внешние системы"]
    NMS["Операторская NMS (HP OpenView / NetAct / Tivoli)"]
    CHAT["ChatOps (Telegram / PagerDuty)"]
  end
  PLUGIN --> |HTTP :9817/metrics| PROM
  PROM --> |UDP 162| NMS
  AM --> |Webhook| CHAT

```

Характеристики развёртывания

Параметр	Значение
Metrics footprint	In-process (~2 MB memory overhead)
Внешние зависимости	Самодостаточный пакет fast-epdg (rpm)
Управление	fast-epdg.service systemd
Конфигурация	Секция monitoring в fast-epdg.conf
Обновление	Hot reload конфигурации без даунтайма
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** — plugin работает в адресном пространстве fast-epdg, нулевой footprint
- **Co-located Prometheus** — Prometheus рядом с ePDG, scrape через localhost
- **Централизованный** — единый Prometheus собирает со всех ePDG узлов (federation)

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.