

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 | Моноotonно 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"]
  EPDG --> NOTIF["NOTIF epdgNotifications  
.43823.1.1"]
  EPDG --> CONF["CONF epdgConformance  
.43823.1.3"]
  EPDG --> SERVICE["SERVICE service .1.1.1"]
  EPDG --> IKE["IKE ikev2 .1.1.2"]
  EPDG --> GTP["GTP gtp .1.1.3"]
  EPDG --> DIAM["DIAM diameter .1.1.4"]
  EPDG --> SESS["SESS sessions .1.1.5"]
  EPDG --> SYS["SYS system .1.1.6"]
  EPDG --> NET["NET network .1.1.7"]
  NOTIF --> TRAPAGR["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.

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+"] AL --> 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 -->|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. 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.