

ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ профессиональной мобильной радиосвязи

А.А.Гридякина, директор по работе с органами государственной власти Группы компаний "ПРОТЕЙ" / gridyakina@protei.ru,

А.В.Пинчук, технический директор ООО "ПРОТЕЙ" / avp@protei.ru,

Н.А.Соколов, д.т.н., директор по науке ООО "ПРОТЕЙ-СТ" / sokolov@protei.ru,

В.А.Фрейнкман, директор по маркетингу и системным исследованиям ООО "ПРОТЕЙ" / freinkman@protei.ru

УДК 621.396.1, DOI: 10.22184/2070-8963.2023.114.6.36.45

Эксплуатируемые сегодня системы профессиональной мобильной радиосвязи (ПМР) морально устарели, так как не отвечают ряду современных требований потенциальных пользователей. При разработке перспективной системы ПМР возникает ряд сложных взаимосвязанных задач. В статье рассматриваются три задачи такого рода. Во-первых, необходимо сформировать соответствующие концептуальные положения, обеспечивающие поэтапное развитие системы профессиональной мобильной радиосвязи. Во-вторых, базируясь на предлагаемой концепции, следует выбрать оптимальный стандарт, позволяющий реализовать необходимые технические средства. В-третьих, должен быть разработан такой набор основных функций перспективной системы ПМР, который позволит решать задачи, актуальные для всех потенциальных пользователей.

ВВЕДЕНИЕ

Эволюционные процессы, свойственные отрасли "Электросвязь", затронули и систему профессиональной мобильной радиосвязи. Этот факт обусловлен рядом причин, среди которых уместно выделить три движущие силы.

Первая причина заключается в возрастающих потребностях потенциальных пользователей ПМР,

заинтересованных в новых видах услуг. Кроме того, значительная часть пользователей предъявляет более высокие требования к качеству связи, ее безопасности, надежности и набору доступных при использовании системы ПМР функциональных возможностей. Эксплуатируемые сегодня системы ПМР не всегда отвечают современным запросам абонентов, а в обозримой перспективе

они могут стать препятствием для повышения эффективности производственных процессов, присущих "Индустрии 4.0", а в дальнейшем и "Индустрии 5.0" [1].

Вторая причина – необходимость координации процессов развития ПМР с общими направлениями модернизации инфокоммуникационной системы в целом. Подобная координация стимулируется рядом факторов технического, экономического и организационного характера.

Третья причина – возрастающая актуальность применения аппаратно-программных средств, разработанных в Российской Федерации и сертифицированных в соответствии с требованиями законодательства нашей страны, но при этом соответствующих действующим и перспективным требованиям индустрии. Авторы статьи имеют в виду создание комплекса полноценных отечественных технических средств, позволяющих обеспечить устойчивое функционирование сети связи общего пользования (ССоП) в целом и системы ПМР в частности.

Данная статья содержит три раздела, связанных между собой. В первом изложены концептуальные положения, направленные на эволюционные процессы развития системы ПМР с учетом общих тенденций развития отрасли "Электросвязь". Второй раздел посвящен задаче выбора стандарта ПМР, отвечающего набору ключевых требований. Составление перечня основных функций перспективной системы ПМР, превращающих ее в универсальный инструмент для всех потенциальных пользователей, является предметом третьего раздела статьи.

Концепция развития системы ПМР

Направления развития профессиональной мобильной радиосвязи целесообразно рассматривать как одну из составных частей концепции модернизации инфокоммуникационной системы современного предприятия (ИССП). Это означает, что необходима разработка таких принципов построения системы ПМР, которые были бы увязаны с процессами создания и поэтапного развития ИССП. Кроме того, необходима эффективная интеграция с сопутствующими техническими средствами. Соответствующий методологический подход был предложен в статье [2], опубликованной на страницах журнала "ПЕРВАЯ МИЛЯ".

Ключевые положения создания и поэтапного развития ИССП будут с некоторыми, не столь существенными, изменениями определяться концепцией "Сеть-2030" [3, 4], формируемой Международным

союзом электросвязи [5]. Концепции "Сеть-2030" присущи следующие важные особенности:

- новое восприятие информации (способы обмена данными, подразумевающие качественно новые дополнения используемых решений);
- новые услуги (дополняющие функциональные возможности, доступные в настоящее время);
- новые пакетные технологии (то есть методы обработки, передачи и распределения информации, устраняющие недостатки, которые объективно присущи IP-технологиям);
- новые архитектуры (переход к таким структурным методам построения сети, которые бы отвечали перспективным требованиям).

Ряд подобных функциональных возможностей будет в перспективе реализован и в системе ПМР с учетом особенностей данного вида связи и требований каждой конкретной ИССП. Приведенные соображения позволяют разработать функциональную модель системы ПМР как составной части ИССП. Предлагаемая модель изображена на рис.1.

Следует подчеркнуть, что все технические средства перспективной ПМР могут функционировать также как полностью автономная инфокоммуникационная система. Некоторые виды оборудования, включенные в состав рассматриваемой модели, могут быть реализованы совместно с другими техническими средствами. Подробнее аспекты реализации оборудования изложены в разделе "Основные компоненты перспективной системы ПМР".

Терминалы, обозначенные на рис.1 как $T_{ПМР}$, подключаются к ресурсам системы ПМР через базовые станции (БС). Для двух $T_{ПМР}$ пунктирной стрелкой показана возможность их непосредственного взаимодействия, минуя оборудование БС. Аппаратно-программные средства контроллера БС обеспечивают функции сопряжения с проводными компонентами системы ПМР. В качестве таких компонентов в составе предложенной модели показаны: сервер ПМР, диспетчерский коммутатор, система управления, база данных и сервер приложений. Через межсетевой экран, служащий для поддержки высокого уровня информационной безопасности, система ПМР взаимодействует с ИССП, ССоП (в состав которой наряду с разными сетями входит также интернет) и средства мобильной радиосвязи предыдущего поколения (ПМР-ПП). Функции взаимодействия с ПМР-ПП потребуются в тех случаях, когда на некоторое время необходимо сохранить эксплуатируемые технические средства.

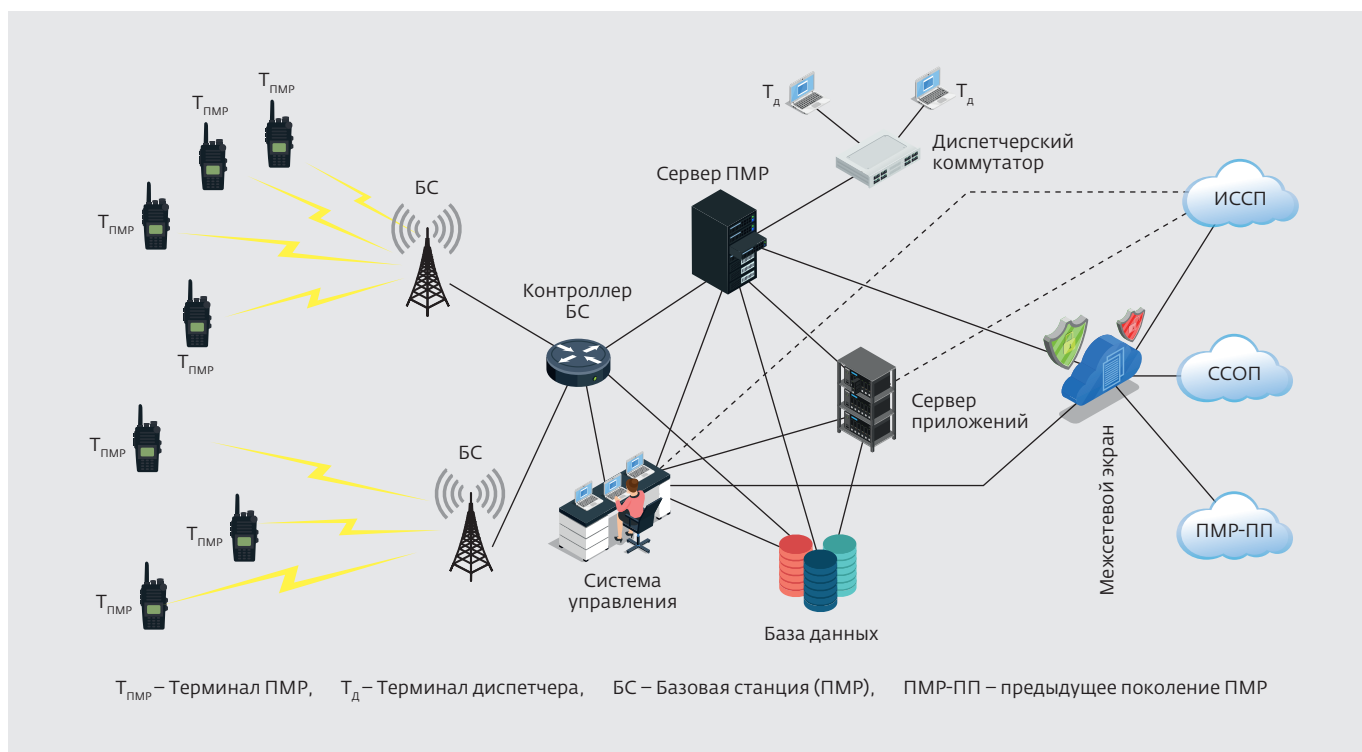


Рис.1. Функциональная модель перспективной системы ПМР

Пунктирные линии указывают на тот факт, что некоторые функциональные модули могут быть едиными для системы ПМР и ИССП в целом.

Услуги перспективной системы ПМР зависят от бизнес-процессов той компании, в интересах которой она создается. Примерами таких услуг, которые могут быть реализованы уже в настоящее время, служат следующие возможности:

- голосовая связь "точка – точка" (автоматическая или при помощи диспетчера);
- голосовая связь "точка – множество точек" (собственно, традиционная базовая услуга групповой голосовой связи в сетях ПМР);
- передача циркулярных голосовых и текстовых сообщений диспетчером;
- видеосвязь, включая соответствующие дополнительные услуги (например, стриминг – потоковое онлайн-вещание – внутри группы пользователей);
- обмен мультимедийной информацией (файлами, сообщениями);
- отправка коротких сообщений (в частности, SMS, широко используемых абонентами сотовых сетей, или их более современного аналога – сообщений унифицированных коммуникаций – Unified messaging (UM));

- обмен данными, которые, при необходимости, содержат сообщения Интернета вещей;
- промышленное телевидение как услуга класса CCTV over LTE, обычно применяемая в качестве системы видеонаблюдения;
- обмен информацией для управления производственными процессами, роботами различного рода, служебным транспортом и т.п.

Расширение спектра услуг перспективной системы ПМР будет определяться внутренними и внешними причинами. Причины внутреннего характера обусловлены эволюцией бизнес-процессов, которые, в свою очередь, будут зависеть от практических шагов по реализации концепций "Индустрии 4.0" и "Индустрии 5.0". Причины внешнего рода будут, в основном, определяться теми услугами, которые планируются к введению согласно ключевым положениям "Сеть-2030" и будут полезны с точки зрения ИССП. Примерами подобных услуг, анонсируемых авторами идеологии "Сеть-2030", служат такие функциональные возможности:

- переход к обмену трехмерными изображениями (обычно используется запись "2D → 3D"), что позволит предоставить

качественно новые виды обслуживания или заметно повысить информативную ценность того сервиса, который уже стал привычным для пользователей;

- повышение скоростей обмена данными, которые в практически доступных сетях пятого поколения уже оцениваются гигабитами за секунду, а в перспективных сетях шестого поколения могут оцениваться уже терабитами за секунду;
- снижение времени доставки информации, которое будет измеряться в мкс, что необходимо для ряда перспективных инфокоммуникационных услуг со сверхнизкой задержкой и высокой надежностью (URLLC).

Уместно отметить, что предлагаемая концепция допускает существенные изменения тех положений ее реализации, с которых начинается процесс создания перспективной системы ПМР. Залогом такой возможности служит тот стандарт, который должен быть выбран для воплощения в практику перспективной системы ПМР.

Выбор перспективного стандарта ПМР


Задача выбора стандарта для реализации современной ПМР заключается в поиске компромисса между несколькими вариантами. Эти варианты могут быть представлены тремя методологическими подходами:

1. разработка оригинального (на профессиональном жаргоне – проприетарного) стандарта, который не соответствует ни одной международной спецификации в близкой предметной области;
2. поиск решений, направленных на улучшение уже известных стандартов [6] (например, DMR и TETRA);
3. выбор международного стандарта (или их симбиоза), близкого к задачам ПМР

и позволяющего эволюционное развитие соответствующего комплекса технических средств, который эффективно адаптируется к требованиям каждой конкретной компании с меняющимися бизнес-процессами.

Анализ возможных путей для решения поставленной задачи, проведенный рядом независимых друг от друга исследовательских центров (включая компанию, с которой работают авторы данной статьи), позволяет сделать вывод о перспективности подхода III. Логичное решение – выбор варианта построения сети ПМР на базе стандартов 3GPP для четвертого и пятого поколений сетей сотовой подвижной связи и для предоставления услуг МСРПТ (Mission Critical РТТ). При построении автономных (наложенных/выделенных) сетей часто используется название Private LTE/5G [7]. Некоторые авторы используют иное обозначение – рLTE/5G.


Выбор указанного подхода базируется на совокупности обоснованных аргументов. Во-первых, такое решение обеспечит поддержку всех необходимых услуг ПМР (в настоящее время и на перспективу) на период времени, который, скорее всего, будет превышать длительность жизненного цикла соответствующих технических средств. Во-вторых, решения для построения современных систем ПМР уже сегодня могут быть реализованы почти полностью на базе отечественных разработок (базовые станции (БС), практически идентичные разрабатываемым сегодня рядом российских компаний в рамках ИЦК "Мобильная связь", программное обеспечение ядра сети и серверов приложений, мобильная ОС терминального оборудования, собственно мобильное приложение МСРПТ). На начальном этапе возможно использование достаточно широкого спектра терминального оборудования из дружественных стран, удовлетворяющего требованиям потенциальных



ИНОТЕЛ
Интеллект. Опыт. Результат.

ONEPLAN

**ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ И УСЛУГИ
ПО ПЛАНИРОВАНИЮ И ОПТИМИЗАЦИИ
СЕТЕЙ ПОДВИЖНОЙ
И ФИКСИРОВАННОЙ СВЯЗИ**



step@rpls.ru
+7 812 590-77-11
www.rpls.ru

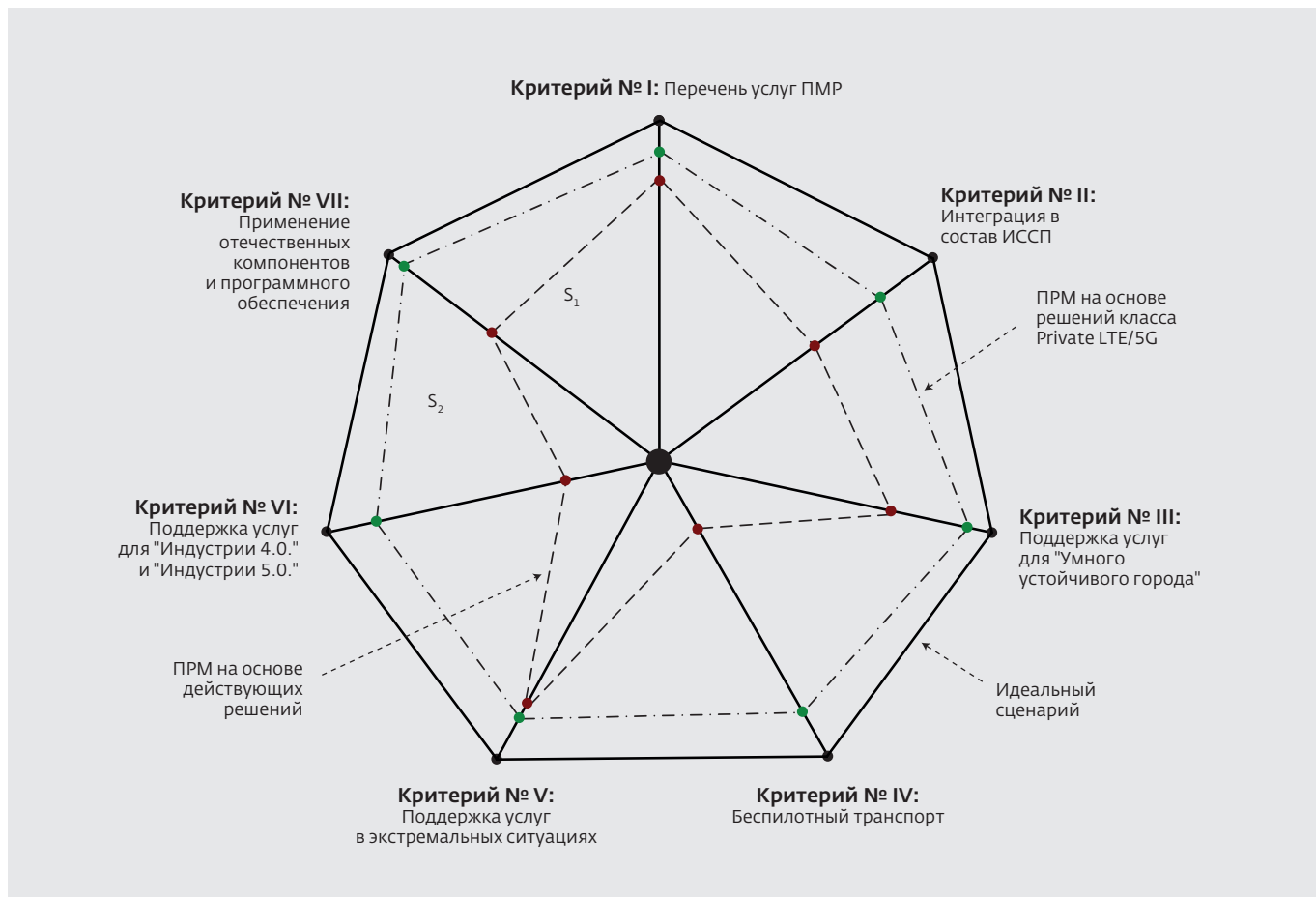


Рис.2. Показатели эффективности решения Private LTE/5G

заказчиков по физическому исполнению, защищенности от климатических воздействий, функционалу и эргономике. В-третьих, применение симбиоза стандартов LTE/5G обеспечит поддержку инфокоммуникационных услуг, присущих концепциям "Умный устойчивый город" [8] и Интернет вещей [9].

Каждый из трех перечисленных выше аргументов, в свою очередь, содержит несколько обоснованных доводов. В частности, для Интернета вещей формируются два приложения, которые не могут быть эффективно реализованы эксплуатируемыми телеметрическими датчиками и средствами обработки получаемой информации. Речь идет о подводном [10] и подземном [11] Интернете вещей, что существенно повышает уровень комплексной безопасности [12, 13].

На рис.2 приведены семь показателей, отображающих качественный уровень эффективности решения, построенного на базе применения стандартов 3GPP для сетей четвертого и пятого поколений (LTE/5G). Количество показателей выбрано

условно, исходя из логики развития инфокоммуникационной отрасли. Идеальный сценарий подразумевает, что все показатели достигают максимального уровня, который принят за единицу.

На рис.2 внутренний семиугольник площадью S_1 отражает значение показателей, характерных для ПМР на основе действующих решений. Величины всех показателей (для внутреннего и внешнего семиугольников) выбраны на основе экспертных оценок. Внешний семиугольник площадью S_2 иллюстрирует значение показателей, ожидаемых для ПМР, которая построена на базе решений, основанных на принципах Private LTE/5G. Различие величин S_2 и S_1 определяет эффективность решения на качественном уровне. Для получения количественных оценок потребуются дополнительные исследования, исходными данными для которых будут служить результаты внедрения решений ПМР, построенных по указанным принципам и на базе стандартов 3GPP для сетей четвертого и пятого поколений.

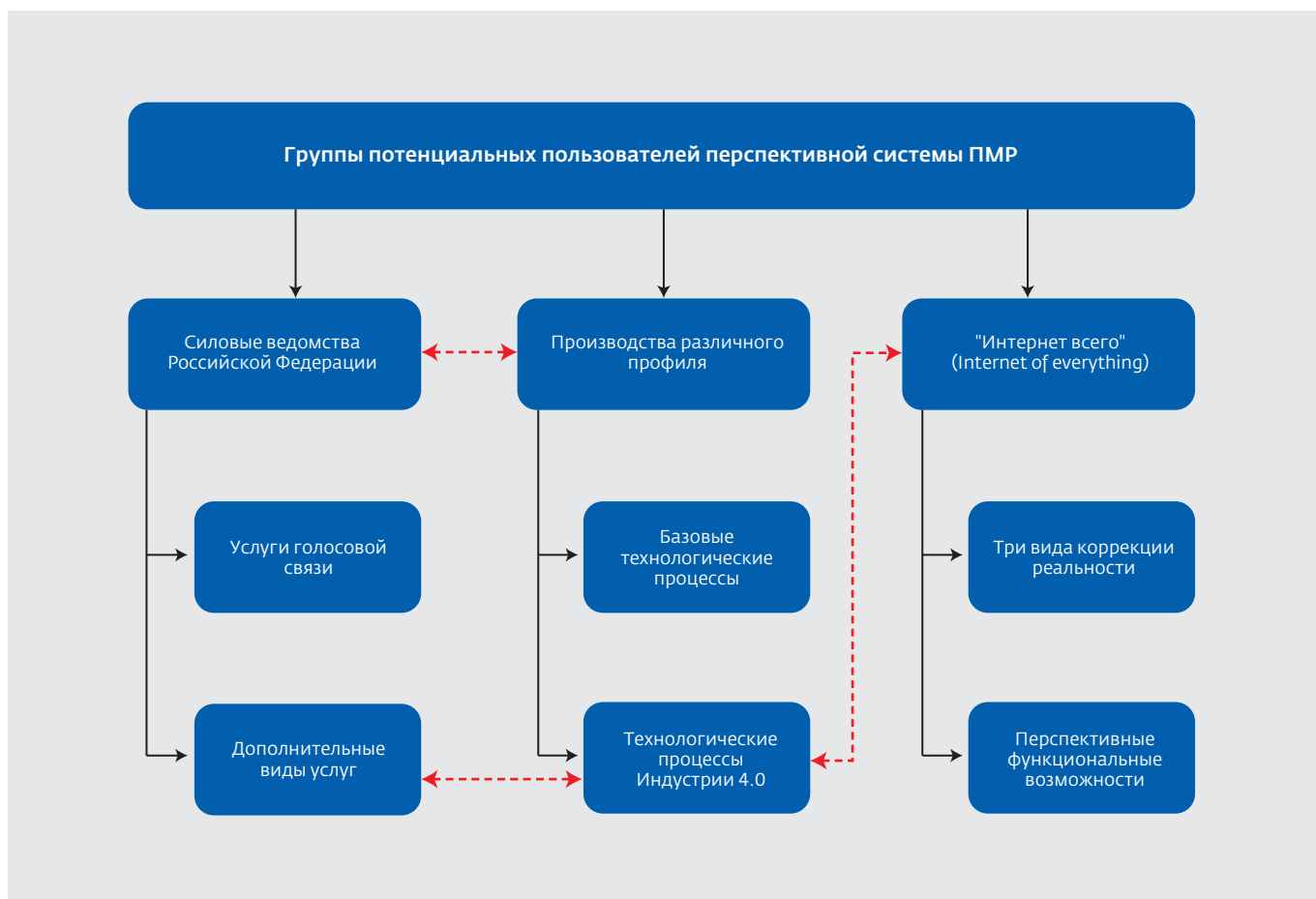


Рис.3. Типовые группы пользователей системы ПМР

ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ПМР

Существенная особенность потенциальных пользователей перспективной системы ПМР заключается в разнообразии их производственных процессов, эволюционирующих к тому же по разным сценариям. Пожалуй, множество приложений перспективной системы ПМР существенно шире, чем набор вариантов применения других видов электросвязи. По этой причине необходимо найти разумный компромисс между перечнем услуг, которые будут востребованы самыми разными группами пользователей, и соответствующими задачами, возлагаемыми на технические средства перспективной системы ПМР. Таким образом, следует провести классификацию услуг перспективной системы ПМР.

Первым логичным шагом для классификации инфокоммуникационных услуг ПМР представляется выделение типичных групп пользователей. Предлагаемый перечень таких групп приведен на рис.3. Подобный перечень может быть расширен,

детализирован или сокращен, если одна из подобных операций будет признана уместной.

В первую группу входят пользователи, прямо или косвенно связанные со специальными оперативными задачами, обеспечением экстренного реагирования. Ключевым приоритетом для них является оперативное и комплексное получение необходимых услуг с высокими качественными показателями. Данное утверждение касается и сложно доступных территорий (например, за пределами границ городов и сельских населенных пунктов).

Основными видами услуг для них долгое время считались приложения, основанные на голосовой связи. Они будут играть важную роль и в будущем. В частности, уже упомянутая выше услуга высокоприоритетной групповой связи ("Нажмите, чтобы говорить для критически важных приложений") рассматривается как одно из основных приложений в перспективной системе ПМР. Однако важно отметить, что дополнительные виды услуг также становятся критически важными для данной категории

пользователей и должны существенно расширить спектр функциональных возможностей, доступных – в настоящее время и в обозримой перспективе – пользователям первой группы, что позволит кардинально увеличить эффективность использования услуг профессиональной радиосвязи при решении профильных задач.

Сотрудники, занятые в производственных предприятиях различного профиля, образуют вторую группу пользователей. Услуги ПМР в этой группе ориентированы на поддержку базовых технологических процессов, специфика которых зависит от вида конкретного производственного предприятия и уровня его соответствия требованиям времени. Очевидно, что эти требования в ближайшие годы будут определяться ключевыми характеристиками "Индустрии 4.0". В данной группе пользователей также критичным является расширение возможностей групповой профессиональной радиосвязи, выход за рамки "голосового общения".

Пользователи так называемого Интернета всего – Internet of Everything [14] – формируют третью группу клиентов системы ПМР. Связка "Интернет всего и система ПМР" требует отдельного исследования, а в этой статье акцентируется внимание на двух примерах. Во-первых, практический интерес связан с тремя видами коррекции объективно существующей реальности для решения ряда практических задач. Речь идет о виртуальной [15], дополненной [16] и измененной [17] реальности. Во-вторых, будут востребованы перспективные функциональные возможности Интернета всего, которые в настоящее время активно разрабатываются инновационными компаниями.

Пунктирными линиями на рис.3 показаны возможные взаимодействия между приложениями, входящими в состав разных групп. Подобные виды взаимодействия могут порождать синергетический эффект, характерный для межотраслевых связей.

Таким образом, основные функции перспективной системы ПМР выходят за рамки тех представлений, которые были типичны в последнее время. Эти функции будут увязаны с требованиями, похожими на те, которые характерны для концепции "Сеть-2030", но с учетом специфических задач для системы ПМР. По этой причине аппаратно-программные средства ПМР, образующие ядро системы Private LTE/5G, уместно разрабатывать как универсальную платформу, которая будет служить основой для создания гаммы инновационного телекоммуникационного оборудования. Такое ядро разработано компанией, в которой работают авторы статьи, как отечественный продукт в подлинном смысле

этого понятия. При этом соблюдены все требования, специфицированные соответствующими стандартами консорциума 3GPP.

Ядро системы Private LTE/5G образуется совокупностью технических средств, для которых отечественная терминология еще не разработана (следует отметить, что и в англоязычной технической литературе соответствующий понятийный аппарат далек от совершенства). По этой причине для описания элементов ядра будут использоваться англоязычные названия с переводом на русский язык, которые, по мнению авторов, отражают суть выполняемых ими функций.

Структура ядра реализации системы ПМР нового поколения на базе технологии Private LTE приведена на рис.4. Названия элементов ядра заимствованы из ряда источников. В частности, значительная часть терминов приведена в технических отчетах 3GPP [18, 19]. В этом источнике, по крайней мере, содержится информация об используемых интерфейсах. Краткую характеристику всех элементов ядра уместно привести, двигаясь слева направо и сверху вниз.

BS (Base Station) (LTE/5G) представляет собой такую БС, которая соответствует стандартам, указанным в скобках. Оборудование этой БС не входит в состав ядра, на что указывает штрихпунктирная линия. Такая же линия отделяет ядро от сети IP (IP-network), через которую осуществляется внешняя связь.

Облако IP-Network следует рассматривать как пример внешней сети электросвязи, с которой осуществляется взаимодействие пользователей ядра Private LTE/5G. Предполагается, что эта сеть основана на стеке протоколов TCP/IP.

Оборудование SGW (Serving Gateway) – это обслуживающий шлюз стандарта LTE. Посредством этого шлюза осуществляется взаимодействие с BS (LTE/5G) и с элементами ядра. Для реализации необходимых функций взаимодействия оборудование SGW поддерживает интерфейсы, показанные на рис.4.

Элемент GGSN/PGW (Gateway GPRS Support Node / Public Data Network Gateway) выполняет ряд важных функций, примерами которых служат маршрутизация, динамическая выдача IP-адресов, управление информацией о внешних сетях и собственных абонентах (в том числе тарификация услуг), ведение соответствующих баз данных.

Блок PCRF (Policy and Charging Rules Function) отвечает за начисление платы за предоставленные услуги, поддерживая разные принципы тарификации. Кроме того, этот блок управляет характеристиками качества обслуживания пользователей. Речь

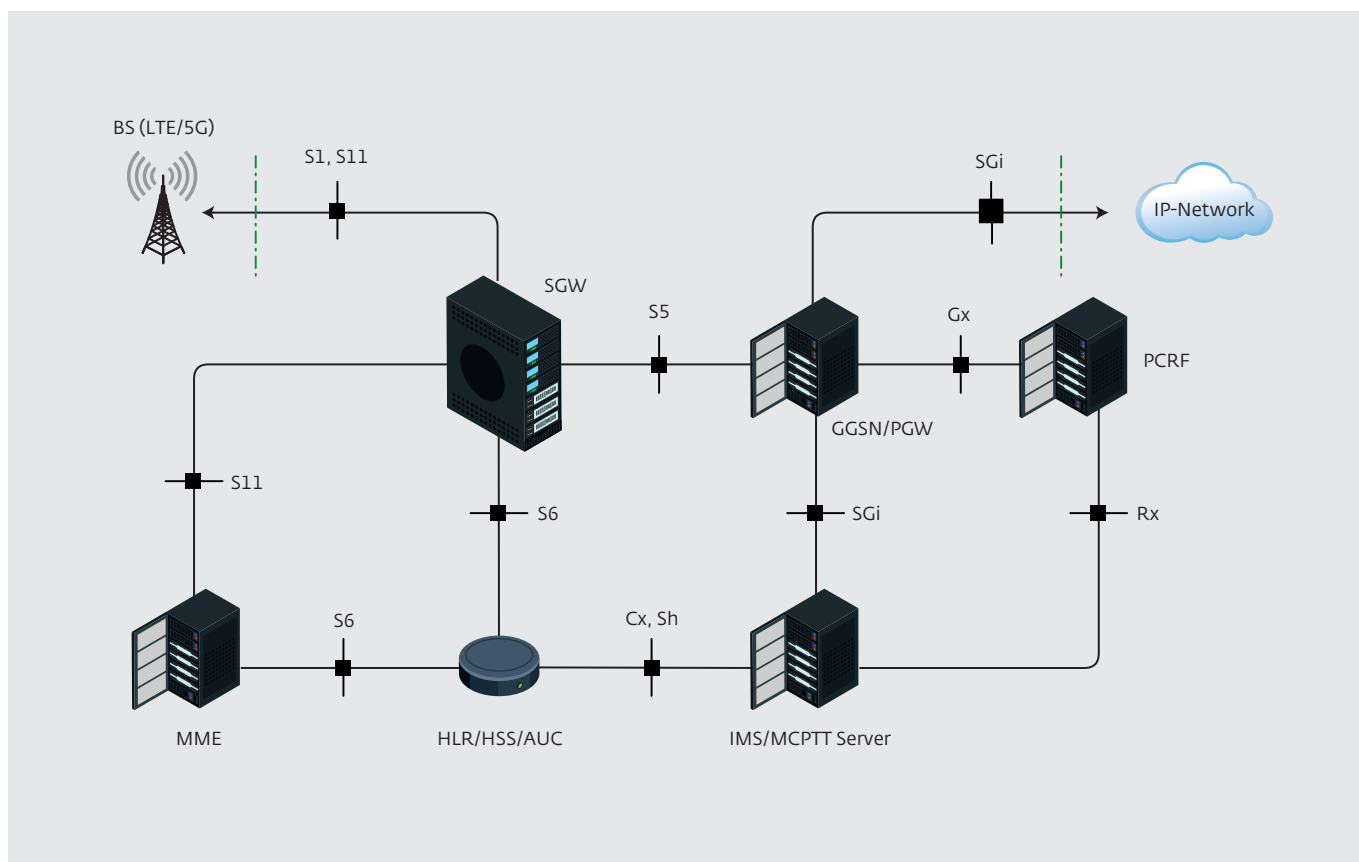


Рис.4. Структура ядра системы Private LTE

идет не только о речевой нагрузке, но и о мультимедийном трафике.

Технические средства MME (Mobility Management Entity) реализуют хранилище данных о каждом пользователе, который обслуживается оператором связи. Основная задача MME состоит в управлении мобильностью. Выполняемые функции, в значительной мере, универсальны для всех сетей сотовой архитектуры.

Оборудование HLR/HSS/AUC (Home Location Register / Home Subscriber Server / Authentication Center) представляет собой специализированную базу данных, которая содержит информацию о каждой подписке (SIM-карте) для терминалов или устройств, которые могут быть зарегистрированы в сети. Система содержит информацию об административном состоянии, настройках, параметрах подписки абонентов, текущем местоположении и другие сведения. Встроенная система аутентификации реализует все основные используемые алгоритмы аутентификации, а также новые спецификации, предназначенные для сетей 5G. Предусмотрено также выполнение всех операций, необходимых для внедрения платформы мультимедийной IP-подсистемы (IMS – IP

Multimedia Subsystem) и поддержки одной из важнейших функций системы ПМР – услуги MCPTT.

При реализации услуг VoNR/MCPTT (сокращение VoNR от Voice over New Radio – голос посредством нового радио) поверх сети пятого поколения архитектура будет несколько другой, хотя и похожей. Она показана на рис.5. Несходство решений объясняется различиями в архитектуре ядра сетей 4G и 5G.

В левой верхней части рис.5 показаны примеры терминального оборудования пользователей – персональный компьютер (ПК) и мобильный телефонный аппарат (МТА). Они взаимодействуют с оборудованием системы через совокупность БС. Спецификации используемых интерфейсов приведены в документах консорциума 3GPP [18, 19].

Краткое описание назначений аппаратно-программных средств, применяемых для поддержки услуг класса VoNR/MCPTT, приведено, как и для рис.4, в направлениях слева направо и сверху вниз:

- SMF (Session Management Function) – функции управления сессиями;
- UPF (User Plane Function) – функции обработки пользовательских данных;

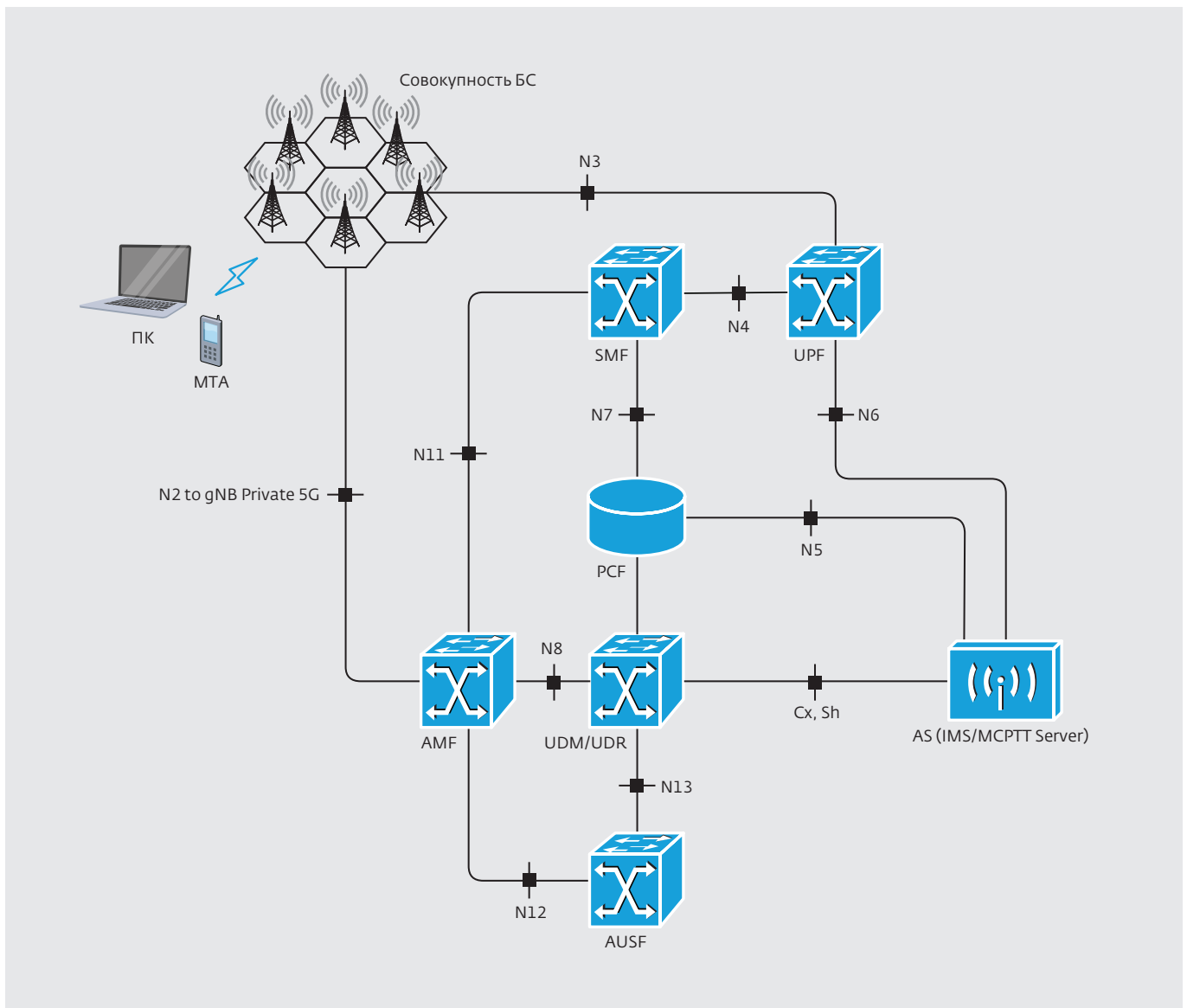


Рис.5. Архитектура системы для реализации услуг VoNR/MCPTT

- PCF (Policy Control Function) – функции управления политикой;
- AMF (Access and Mobility Management Function) – функции управления доступом и мобильностью;
- UDM/UDR (Unified Data Management/ Unified Data Repository) – функции унифицированного управления данными и единого хранения информации;
- AS (Access Stratum) – функции страты доступа, IMS/MCPTT Server – сервер оборудования IMS/MCPTT;
- AUSF (Authentication Server Function) – функции сервера аутентификации.

Обратим внимание, что сервер IMS/MCPTT идентично показан в нижнем правом углу рассматриваемой структуры как для реализации услуг ПМР поверх сети четвертого, так и поверх сети пятого поколения. Сервер (функция) обеспечивает поддержку дополнительных услуг, предоставляемых посредством подсистемы IMS (голосовая и мультимедийная связь), а также базовых функций групповой связи, которые определены для услуг класса MCPTT. С точки зрения архитектуры сетей 4G и 5G подсистема IMS/MCPTT может рассматриваться как сервер приложений. Его реализация и интеграция в сеть не сильно зависит от используемого поколения опорной сети.

Использование технологий и архитектуры сетей 4G или 5G для построения перспективных сетей ПМР позволит решить ряд актуальных задач, с которыми не всегда справляются технические средства предшествующего поколения. В первую очередь, это касается расширения перечня услуг, доступных абонентам сетей ПМР, далеко за рамки групповой голосовой связи, за счет услуг передачи данных и мультимедийной информации. Примером служит видеостриминг (поточковая передача видео в режиме реального времени) абонентам группы от одного из абонентов сети ПМР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенные в этой статье соображения позволяют сделать ряд выводов, которые можно свести к трем положениям.

Во-первых, перспективную систему профессиональной мобильной радиосвязи следует создавать на базе решений, использующих архитектуру сетей 4G и 5G, в частности, при строительстве выделенных (обособленных) сетей ПМР их архитектура будет соответствовать канонической архитектуре сетей Private LTE/5G, описанной в документах ассоциации GSMA.

Во-вторых, эволюция системы профессиональной мобильной радиосвязи будет осуществляться с учетом требований внутренних (например, концепции "Сеть-2030") и внешних (в частности, "Индустрии 4.0") движущих сил, что будет эффективно обеспечиваться в случае выбора решений Private LTE/5G.

В-третьих, опыт реализации ядра системы Private LTE/5G, включая подсистему групповой профессиональной связи МСРТТ, доказал возможность использования полностью отечественных разработок для создания широкого спектра современного инфокоммуникационного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Шеер А.В.** Индустрия 4.0. От прорывной бизнес-модели к автоматизации бизнес-процессов. М.: Дело, 2020. 272 с.
2. **Куликов Н.А., Пинчук А.В., Соколов Н.А.** Особенности разработки инновационных решений на длительную перспективу // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2019. № 5. С. 48–53.
3. **Росляков А.В.** "СЕТЬ-2030": взгляд МСЭ-Т на будущее сетей фиксированной связи // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2021. № 4. С. 50–59.
4. **Кучерявый А.Е., Бородин А.С., Киричек Р.В.** Сети связи 2030 // Электросвязь. 2018. № 11. С. 52–56.
5. ITU-T. New Services and Capabilities for Network 2030: Description, Technical Gap and Performance Target Analysis. Focus Group on Technologies for Network 2030 (FG NET-2030). Geneva, 2019. 45 p.
6. **Ulema M.** Fundamentals of Public Safety Networks and Critical Communications Systems: Technologies, Deployment and Management. Wiley-IEEE Press, 2018. 321 p.
7. Решение Private LTE/5G. [Электронный ресурс]. URL: <https://protei.ru/solutions/private-lte5g> (дата обращения 31.07.2023).
8. **Качанов С.А., Пинчук А.В., Соколов Н.А.** Принципы реализации концепции "Умный устойчивый город" // Технологии гражданской безопасности. 2018. № 4. С. 5–24.
9. **Росляков А.В., Ваняшин С.В., Гребешков А.Ю., Самсонов М.Ю.** Интернет вещей. Самара: ПГУ-ТИ, Ас Гард, 2014. 340 с.
10. **Tie Q., Zhao Z., Tong Z., Chen C., Chen P.C.L.** Underwater Internet of Things in Smart Ocean: System Architecture and Open Issues // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2020. Vol. 16. Issue 7. PP. 4297–4307.
11. **Salam A., Raza U.** Signals in the Soil: Developments in Internet of Underground Things. Springer, 2020. 448 p.
12. **Пинчук А.В., Секереш В.В., Соколов Н.А.** Методологический подход к построению системы комплексной безопасности. Часть 1 // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2015. № 5. С. 58–64.
13. **Пинчук А.В., Секереш В.В., Соколов Н.А.** Методологический подход к построению системы комплексной безопасности. Часть 2 // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2015. № 6. С. 52–57.
14. **Song H.** Internet of Everything: Key Technologies, Practical Applications and Security of IoT. Singapore: World Scientific Publishing Company, 2022. 1118 p.
15. **Greengard S.** Virtual Reality (The MIT Press Essential Knowledge series). Cambridge: The MIT Press, 2019. 264 p.
16. **Linowes J., Babilinski K.** Augmented Reality for Developers. Birmingham: Packt Publishing, 2017. 548 p.
17. **Леваков А.К., Соколов Н.А.** Концепция "Измененная реальность" // Вестник связи. 2018. № 11. С. 3–6.
18. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification "Group Services and System Aspects"; Release 16 Description; Summary of Rel. 16 Work Items (Release 16). Sophia Antipolis: 3GPP, 2022. 163 p.
19. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification "System architecture for the 5G System (5GS)" (3GPP TS 23.501 version 17.9.0 Release 17). Sophia Antipolis: 3GPP, 2023. 574 p.