
**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ/SYSTEM ANALYSIS,
MANAGEMENT AND PROCESSING OF INFORMATION**

DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.12.2>

EDN: CFYXBT

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛЕЗИОХРОННЫХ И ПАКЕТНЫХ ФРАГМЕНТОВ В СОСТАВЕ СОВРЕМЕННЫХ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Научная статья

Черников Д.Ю.^{1,*}, Цыпцова А.В.²¹ORCID : 0000-0003-0677-0500;^{1,2} Сибирский федеральный университет, Красноярск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (dchernikov[at]sfu-kras.ru)

Предложена: 16.11.2025; Принята: 14.10.2026; Опубликовано: 14.10.2026

Аннотация

Рассмотрены возможности трансформации технологий коммутации каналов в процессе формирования и маршрутизации голосовых вызовов, к виду пригодному для приемо-передачи и обработки в пакетных телекоммуникационных сетях. Подробно анализируются процедуры маршрутизации вызовов в пакетном коммутаторе, построенном на основе SoftSwitch Asterisk, дополненном приложением FreePBX и развернутом на вычислительных ресурсах виртуальной машины, организованной средствами гипервизора VMware ESXi. Приведены технические подробности, позволяющие получить представление о принципах работы, способах мониторинга и диагностики неполадок взаимодействующих фрагментов телекоммуникационных систем. Изложена информация по сторонним программным продуктам, дополняющим задействованные аппаратные компоненты, которые могут помочь при конфигурировании или преодолении возникающих трудностей. Большая часть приведенного материала излагается в виде пошаговых инструкций с достаточно подробной детализацией.

Ключевые слова: интерфейсы взаимодействия, пакетные мультисервисные сети, отладка исходящих и входящих вызовов, трансформации технологий коммутации каналов, принципы функционирования гипервизоров, вычислительные ресурсы виртуальной машины.

**THE INTERACTION BETWEEN PLESIOCHRONOUS AND PACKET FRAGMENTS WITHIN MODERN
TELECOMMUNICATIONS SYSTEMS**

Research article

Chernikov D.Y.^{1,*}, Tsypstova A.V.²¹ORCID : 0000-0003-0677-0500;^{1,2} Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

* Corresponding author (dchernikov[at]sfu-kras.ru)

Suggested: 16.11.2025; Accepted: 14.10.2026; Published: 14.10.2026

Abstract

The possibilities of transforming data link switching technologies, during the establishment and routing of voice calls into a form suitable for transmission, reception and processing in packet-switched telecommunications networks are examined. The procedures for routing calls in a packet-switched network, built on the basis of the Asterisk SoftSwitch, supplemented by the FreePBX application and deployed on the computing resources of a virtual machine organised using the VMware ESXi hypervisor, are analysed in detail. Technical details are provided to give an understanding of the operating principles, monitoring methods and troubleshooting of the interacting components of telecommunications systems. Information is presented on third-party software products that complement the hardware components involved, which may assist with configuration or in overcoming any difficulties that arise. Most of the material presented is set out in the form of step-by-step instructions with a sufficient level of detail.

Keywords: communication interfaces, packet multi-service networks, debugging outgoing and incoming calls, transformations in data link switching technologies, principles of hypervisor operation, virtual machine computing resources.

Введение

Одной из характерных особенностей, свойственных в настоящее время телекоммуникационным системам передачи информации, является широкое использование принципов пакетной передачи данных на основе IP технологий [1], [2], [3]. Данный вариант телекоммуникационных систем позволяет осуществлять передачу мультисервисного трафика с высокими скоростями, широко доступен и обладает всеми наиболее характерными свойствами, которые присущи пакетным системам передачи информации. Технологические тенденции таковы, что пакетная передача становится общей основой сетевой инфраструктуры как для стационарных, так и для подвижных сетей.

Взаимодействие плезиохронных (PDH) и пакетных (IP/MPLS, Ethernet) фрагментов в современных телекоммуникационных системах, как правило, строится на принципах конвергенции разнородного характера трафика и возможных вариантов инфраструктуры, в которых устаревающие, но надежные синхронные каналы связи

сопрягаются с гибкими пакетными сетями. В этой связи изложенный материал можно использовать в качестве практического руководства при настройке и конфигурировании целого ряда достаточно бюджетных вариантов подобного сопряжения.

Методы и принципы исследования

Анализ технологий организации взаимодействия плезиохронных и пакетных компонент осуществлялся с использованием схемы организации связи, представленной на рисунке 1, приведенном далее.

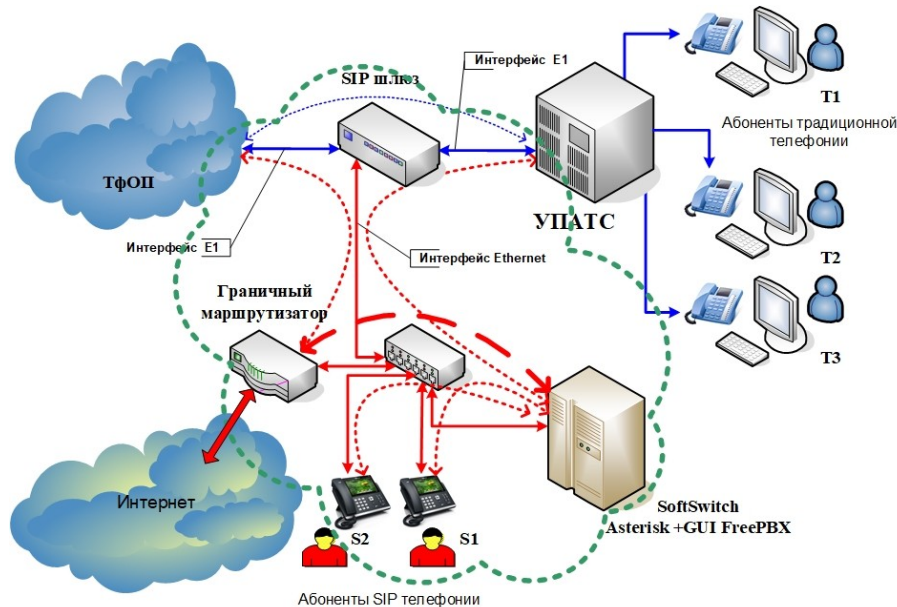


Рисунок 1 - Схема организации связи, использованная при проведении экспериментов

DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.12.2.1>

В качестве устройства, осуществляющего преобразование технологий коммутации каналов в пакетную коммутацию, использовался шлюз Alvis-GW-2E1 [4], [5]. В роли пакетного коммутатора телефонных (речевых) сообщений выступал SoftSwitch (SSW) Asterisk ver.16 [6], [7], [8], дополненный FreePBX ver.15 [9], [10] и развернутый на виртуальной машине (VM), организованной средствами гипервизора VmWare ESXi ver.7.0 [11], [12], [13], [14]. На рисунке 1 плезиохронные интерфейсы E1 изображены синим цветом, а пакетные интерфейсы — красным. Абоненты T1-T3 на рисунке 1 используют цифровые интерфейсы классической телефонной сети ISDN, а S1-S2 — sip-интерфейсы. Зеленым пунктиром обозначены границы корпоративной телекоммуникационной сети, в составе которой была развернута описываемая информационно-телекоммуникационная система. Все направления вызовов далее рассматриваются именно относительно SoftSwitch Asterisk — пакетного коммутатора речевых сообщений. Измерения интенсивности телекоммуникационного трафика проводились средствами гипервизора VmWare ESXi ver.7.0.

Выбор оборудования, использованного в составе экспериментальной системы не случаен. Несмотря на значительные изменения в приоритетах телекоммуникаций, SSW Asterisk продолжает оставаться весьма универсальной технологической платформой. Есть достаточно оснований полагать [7], [8], [15], [17], что эта система сохраняет высокий потенциал для интеграции с различными более современными решениями, интересующими бизнес-среду сегодня. Однако ей предстоит адаптироваться к новым условиям, где голосовые телефонные вызовы уже не играют ключевой роли в общей инфраструктуре связи.

Изначально проведенный анализ всегда исходил из того, что абонент А, с номером NNNN, звонил абоненту В, с номером MMMM. При этом анализ номера NNNN для выбора направления маршрутизации вызова будем называть А-анализом, а аналогичные действия в отношении MMMM — В-анализом. В классическом варианте маршрутизация вызова производилась исходя из информации, содержащейся в MMMM, иными словами, посредством В-анализа.

В общем случае взаимодействие пакетного коммутатора абонента А с аналогичным оборудованием абонента В может происходить либо после успешной регистрации коммутатора А на коммутаторе В, либо успешной регистрации В на коммутаторе А, либо вообще без использования процедур регистрации, если взаимодействующие сети считают друг друга *trusted* — доверенными [3].

При проведении анализа активно использовалось инструментальное программное обеспечение **sngrep** [18] — полезный инструмент, для захвата и анализа SIP трафика, построения трейсов и фильтров SIP сообщений [16], [17]. Основной задачей данного инструмента, являлась визуализация процесса отладки SIP протокола, что позволило сделать процесс отладки проще и понятнее. **Sngrep** отображает потоки SIP — вызовов (sip flow) прямо в консоли сервера, на котором развернут SSW SoftSwitch. Кроме этого **sngrep** показывает SIP — обмен сообщениями в удобной и читаемой форме. И, как показывает практика, данная утилита является одним из предпочтительных инструментов VoIP-инженеров, использующих ее для диагностики систем пакетной телефонии.

К особенностям **sngrep** можно отнести:

- захват SIP пакетов от устройств или чтение из PCAP файла;
- поддержка транспортов UDP, TCP и частично TLS;
- возможность использования фильтрации BPF (Berkeley Packet Filter) пакетов;
- функции сохранения перехваченных пакетов в файле PCAP.

Потоки E1, ранее широко используемые для организации взаимодействия между коммутаторами телефонных вызовов различного вида, отходят на второй план, уступая лидирующие позиции пакетным транкам. Возможности перехода от полностью плезиохронного взаимодействия к пакетному подробно рассмотрен в [14] на примере подключения классической учрежденческой АТС в пакетную сеть средствами специализированного шлюза, позволяющего организовывать и конфигурировать пакетные соединительные линии, работающие с использованием VoIP технологий, в которых телефонная сигнализация реализуется посредством протокола sip. Поэтому далее основное внимание будет уделено технологиям организации именно пакетных sip-транков.

Основные результаты

Исходя из ранее высказанных предположений основным вариантом организации взаимодействия между отдельными самостоятельными компонентами в составе пакетных сетей являются sip-транки. Форма для внесения общих настроек sip-транка для пакетного коммутатора Asterisk [8], [9] имеет следующий вид (рисунок 2):

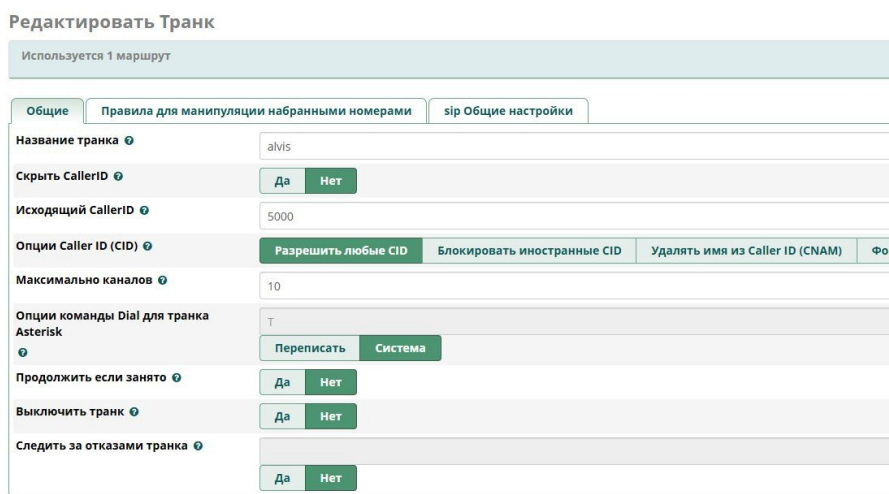


Рисунок 2 - Конфигурация транка Asterisk
DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.12.2.2>

Имя транка, указанное в первом поле формы, впоследствии используется во всех случаях, когда речь идет о работе с данным транком. Обработка событий в транке осуществляется отдельно для входящего и исходящего вызовов. Для организации взаимодействия Asterisk со шлюзом Alvis при обработке исходящих вызовов, шлюз предварительно регистрируется на Asterisk. Со стороны Asterisk конфигурация транка выглядит как показано на рисунке 3, представленном далее:

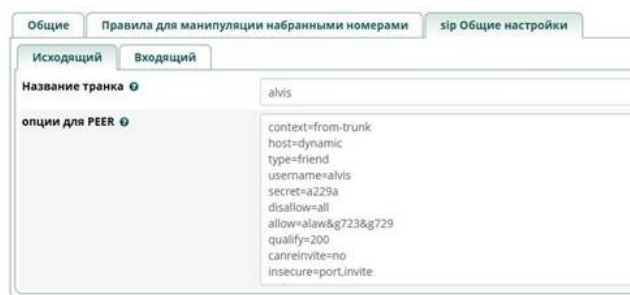
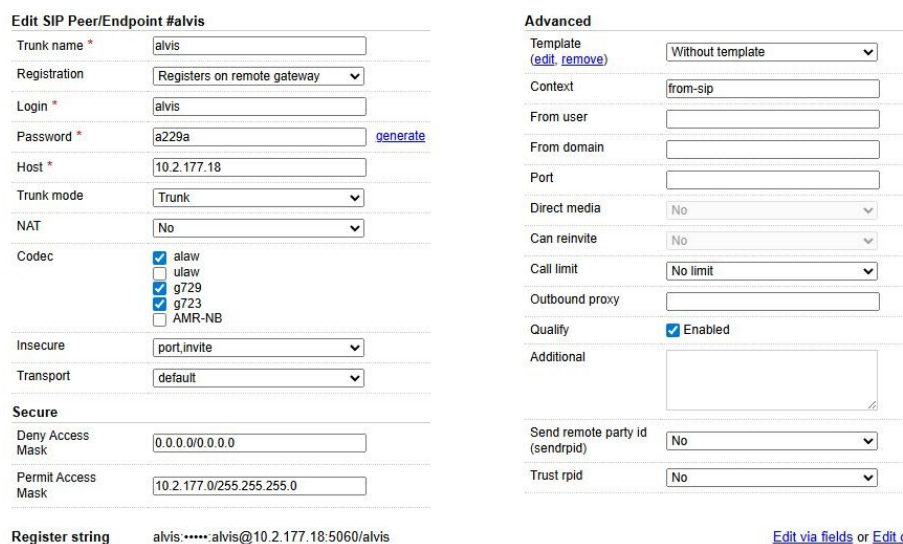


Рисунок 3 - Конфигурация исходящего транка Asterisk
DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.12.2.3>

В свою очередь регистрация на Asterisk и обработка входящего вызова осуществляется транком шлюза Alvis со следующей конфигурацией (рисунок 4):



Edit SIP Peer/Endpoint #alvis

Trunk name *: alvis

Registration: Registers on remote gateway

Login *: alvis

Password *: a229a [generate](#)

Host *: 10.2.177.18

Trunk mode: Trunk

NAT: No

Codec: ☒ alaw ☐ ulaw ☒ g729 ☒ g723 ☐ AMR-NB

Insecure: port,invite

Transport: default

Secure

Deny Access Mask: 0.0.0.0/0.0.0.0

Permit Access Mask: 10.2.177.0/255.255.255.0

Register string: alvis:****:alvis@10.2.177.18:5060/alvis [Edit via fields](#) or [Edit](#)

Advanced

Template: Without template

Context: from-sip

From user:

From domain:

Port:

Direct media: No

Can reinvoke: No

Call limit: No limit

Outbound proxy:

Qualify: ☒ Enabled

Additional:

Send remote party id (sendrpid): No

Trust rpid: No

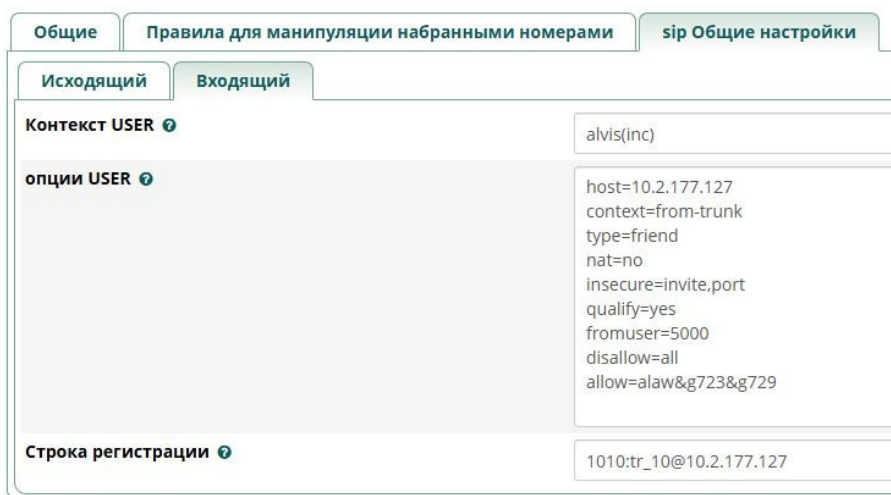
Рисунок 4 - Конфигурация входящего транка шлюза Alvis

DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.12.2.4>

Имя транка Asterisk — **alvis** является логином, используемым для регистрации транка шлюза, а пункт меню Registration в левом столбце на рисунке 4, указывает на необходимость регистрации транка **alvis** на удаленном устройстве — Registration on remote gateway. При этом пункт меню Host определяет адрес этого устройства. В формах, приведенных на рисунках 3 и 4 явным образом присутствует возможность ограничения количества одновременных вызовов, которые могут быть одновременно направлены по данному транку. В рассматриваемом примере со стороны шлюза таких ограничений не введено (No limit), а со стороны SSW Asterisk установлено ограничение в 10 одновременных вызовов.

Взаимодействие между Asterisk и шлюзом Alvis при обработке входящего вызова, начинается с регистрации уже интерфейса Asterisk на шлюзе Alvis.

Регистрация интерфейса Asterisk осуществляется следующими средствами (рисунок 5):



Общие **Правила для манипуляции набранными номерами** **sip Общие настройки**

Исходящий **Входящий**

Контекст USER alvis(inc)

опции USER

host=10.2.177.127
context=from-trunk
type=friend
nat=no
insecure=invite,port
qualify=yes
fromuser=5000
disallow=all
allow=alaw&g723&g729

Строка регистрации 1010:tr_10@10.2.177.127

Рисунок 5 - Конфигурация входящего транка Asterisk

DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.12.2.5>

Регистрация Asterisk производится на транке шлюза, конфигурация которого приведена на рисунке 6.

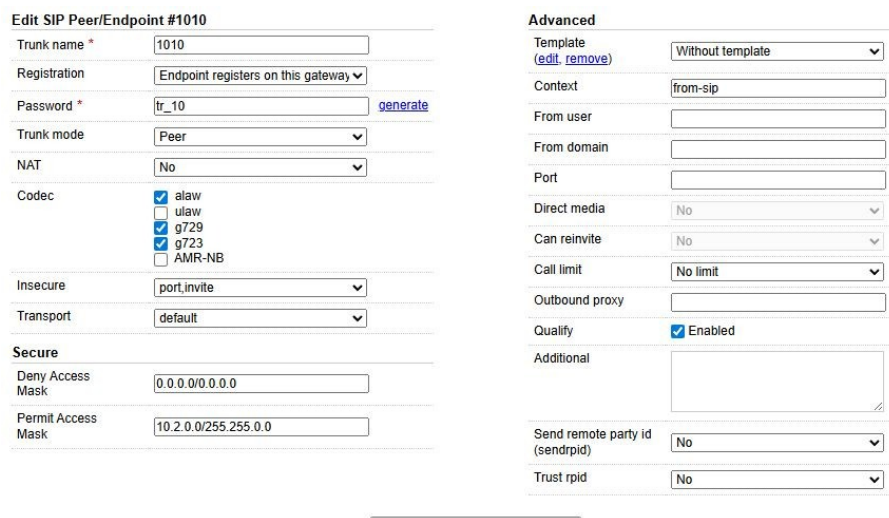


Рисунок 6 - Конфигурация исходящего транка шлюза Alvis
DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.12.2.6>

В этом случае пункт меню Registration в левом столбце на рисунке 6, указывает на необходимость регистрации транка на данном устройстве, а пункт меню Host попросту отсутствует.

При настройке взаимодействия sip-устройств особое внимание необходимо уделить маршрутизации входящих вызовов для Asterisk, которые определяются содержанием экранной формы FreePBX — **Входящая маршрутизация**. Маршрутизация входящих вызовов, пришедших из транка, как правило, сводится к направлению вызова либо на абонентское окончание, либо в другой транк для дальнейшей маршрутизации. Направление вызова на абонентское окончание может производиться в форме представленной на рисунке 7. В этой форме сразу после произвольного описания указывается ожидаемый номер (номер DID), а в пункте **Установить направление** выбирается назначение — **Внутренние номера**, после чего выбирается одно из существующих на данный момент абонентских окончаний.

Входящая маршрутизация

Добавить входящий маршрут

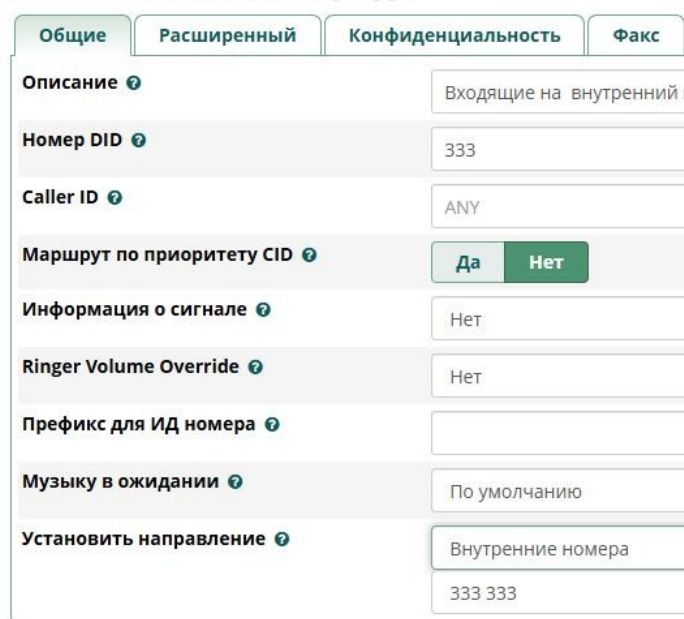


Рисунок 7 - Маршрутизация входящих вызовов
DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.12.2.7>

Так, в примере, приведенном на рисунке, в качестве направления для окончательной обработки входящего вызова, который предназначен для DID 333, выбрано абонентское окончание с номером 333 — последняя строка на рисунке 7. При большом количестве абонентских окончаний, способных принимать входящие вызовы, приходящие с транка, число строк, в которых должны быть прописаны прямые соответствия для каждого из приходящих DID может оказаться достаточно большим, что безусловно трудоемко и затянет обработку входящего вызова. Поэтому крайне целесообразно использовать единую маску, которая устанавливает соответствие между DID входящих вызовов и номерами абонентских окончаний. Такая маска начинается с символа подчеркивание, за которым следуют постоянные цифры, входящие в ожидаемый DID и символы X, которые обозначают, что на их месте могут присутствовать любые цифры $\in \{0, \dots, 9\}$. Так, в примере приведенном на рисунке 8 указана маска `_71XX`, которая показывает, что входящий DID — четырехзначный и начинается с 71, т.е. ожидаемые DID $\in \{7100, 7101, \dots, 7199\}$.

Входящая маршрутизация

Маршрут: Входящие на внутренние номера 71XX

Общие	Расширенный	Конфиденциальность	Факс	Другое
Описание ?		Входящие на внутренние номера 71XX		
Номер DID ?		<code>_71XX</code>		
Caller ID ?		ANY		
Маршрут по приоритету CID ?		☒ Да ☐ Нет		
Информация о сигнале ?		Нет		
Ringer Volume Override ?		Нет		
Префикс для ИД номера ?				
Музыку в ожидании ?		По умолчанию		
Установить направление ?		Дополнительные назначения Для направления на внутренние номера		

Рисунок 8 - Использование маски входящих вызовов

DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.12.2.8>

Редактировать: Для направления на внутренние номера
 WARNING: This destination is being used by other module objects. Changing this destination i

Target ?	<code>from-internal,{FROM DID},1</code>
Описание ?	Для направления на внутренние номера
Примечания ?	
Return ?	☒ Yes ☐ No

Рисунок 9 - Правило формирования номера абонентского окончания

DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.12.2.9>

Использование маски для ожидаемых DID вида `_71XX` приводит к необходимости вычисления номера абонентского окончания, на которое в конечном итоге маршрутизируется входящий вызов. Процедура вычисления номера оформляется в виде **Дополнительного назначения**, которое доступно из пункта главного меню **Администратор** --> **Дополнительные назначения**. Управляющая строка формируется на основе синтаксиса написания подобных строк для Asterisk [6], [7], [8]. Так, представленная на рисунке 9 строка `from-internal,{FROM DID},1` означает что вызов обрабатывается в контексте `from-internal`, никаких действий по изменению приходящего DID производить не нужно (отсутствуют изменения перед `$`), приоритет вызова — первый.

При обработке входящего вызова может возникнуть ситуация, когда данный вызов необходимо сразу перенаправить в другой транк. Так на рисунке 10 представлена конфигурация sip-транка Asterisk предназначенного для маршрутизации вызова в sip-транк ATC Panasonic KX DTE-100 [19].

Входящая маршрутизация

Маршрут: Входящие на KX-DTE100

Общие	Расширенный	Конфиденциальность	Факс
Описание ⓘ		Входящие на KX-DTE100	
Номер DID ⓘ		_1XX	
Caller ID ⓘ		ANY	
Маршрут по приоритету CID ⓘ		☒ Да ☐ Нет	
Информация о сигнале ⓘ		Нет	
Ringer Volume Override ⓘ		Нет	
Префикс для ID номера ⓘ			
Музыку в ожидании ⓘ		По умолчанию	
Установить направление ⓘ		Транки	
		to_rtk_tde (sip)	

Рисунок 10 - Описание маршрута входящего вызова при его направлении в транк
DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.12.2.10>

Общие	Правила для манипуляции набранными номерами	sip Общие настройки
Исходящий Входящий		
Название транка ⓘ		rtktde
опции для PEER ⓘ		username=rtktde type=friend secret=trunk0875 qualify=200 nat=yes insecure=port,invite host=dynamic dtmfmode=rfc2833 disallow=all context=from-trunk

Рисунок 11 - Конфигурация исходящего транка Asterisk в направлении KX TDE-100
DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.12.2.11>

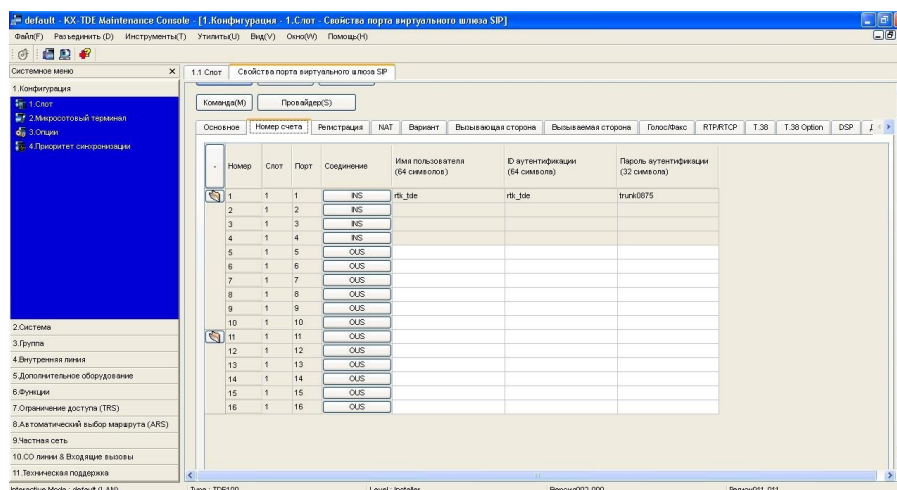


Рисунок 12 - Конфигурация входящего транка Panasonic KX TDE-100
DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.12.2.12>

На рисунках 11 и 12 представлены конфигурации sip-транков Asterisk и Panasonic KX TDE-100 протестированные для соединения между собой.

Информация о состоянии (статусе) sip-транков говорит о готовности sip-транков поддерживать требуемый информационный обмен. Содержание рисунка 13 сформировано на основе данных, полученных как со стороны Asterisk, так и со стороны шлюза Alvis соответственно. Со стороны Asterisk это осуществляется за счет использования пункта главного меню **Отчеты --> Информация об Asterisk**.

alvis/alvis	10.2.177.127	D	No	No	5060	OK (11 ms)
alvis(inc)	10.2.177.127		No	No	5060	OK (2 ms)
mc240_inc/mc240	10.2.177.43		No	No	5060	UNREACHABLE
mc240_out/mc240	10.2.177.43		No	No	5060	UNREACHABLE
rtktde/rtktde	10.2.177.122	D	Yes	Yes	1024	OK (83 ms)

Рисунок 13 - Состояние транков Asterisk
DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.12.2.13>

Со стороны шлюза данная информация предоставляется в пункте главного меню Alvis Gateway --> Status.

Состояние транков, приведенное на рисунке 13, позволяет осуществлять маршрутизацию трафика телефонных вызовов с использованием протокола sip.

Обсуждение

Приведенные и описанные конфигурации sip-транков были протестированы за счет выполнения телефонных вызовов между абонентами, подключенными к различным фрагментам телекоммуникационной сети, представленной на рисунке 1, средствами пакетной сети (S1-S2), цифровыми интерфейсами классической телефонной сети сторонней АТС (T1-T3), а также в качестве sip-клиентов, зарегистрированных непосредственно на шлюзе Alvis.

В качестве отправной точки рассмотрим sip flow — поток (сценарий, диаграмму) sip-вызова внутренним абонентом Asterisk — S1 с номером А — 7120, абонента В с номером 7119, использующего традиционный для PDH сетей кодек alaw, и приведенный далее на рисунке 14.

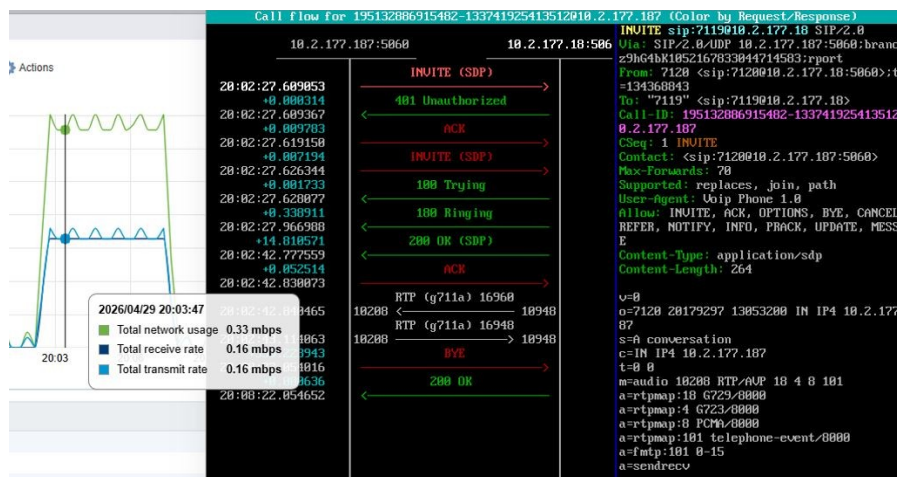


Рисунок 14 - Интенсивность трафика на сетевом интерфейсе ВМ и sip flow диаграмма для вызова абонентом А (S1) - 7120 абонента В (S2) - 7119
DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.12.2.14>

В левой части за заднем плане рисунка 14 приведен результат мониторинга трафика на сетевом интерфейсе ВМ в ситуации, когда рассматриваемый вызов является единственным вызовом, обрабатываемым ресурсами SSW Asterisk. При этом интенсивность трафика с учетом всех накладных расходов составляет ~160 кбит/сек в каждом из двух направлений. В правой части рисунка 14 приведена sip flow диаграмма данного вызова и подробно — содержимое сообщения INVITE. Ранее упомянутая утилита sngrep, использованная для детализации данного вызова, позволяет получить подробное содержание всех sip сообщений, которыми обмениваются абоненты при его организации и завершении. Незначительная разница во времени для мониторинга событий на сетевом интерфейсе гипервизора и на sip flow диаграмме утилиты sngrep обусловлена рассинхронизацией временных шкал, задействованных инструментальных средств. В ходе анализа Call flow, приведенного на рисунке 14 с использованием утилиты sngrep после нажатия на клавишу F4 на экране появляется информация о варианте кодека, использованного при формировании RTP-пакетов (alaw — g.711) и номерах портов со стороны абонентов А и В.

В наиболее общем случае приоритет использования аудиокодеков для Asterisk определяется в пункте главного меню FreePBX **Настройка -> Установки Asterisk для sip**. Так, при назначении кодека g.729 в качестве приоритетного и с учетом возможности его использования для каждого из используемых телефонных аппаратов был выполнен тестовый вызов теперь уже внутреннего sip-абонента Asterisk. Результаты мониторинга сетевого трафика ВМ и диаграмма вызова внутреннего sip-абонента SSW Asterisk с использованием кодека g.729 приведена на рисунке 15.

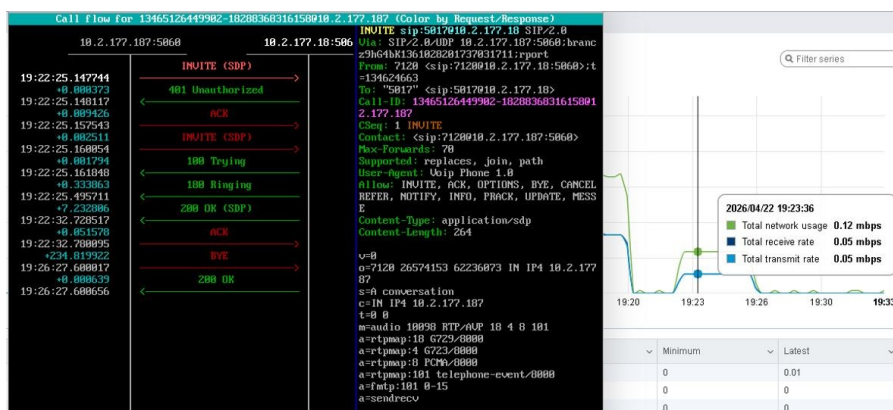


Рисунок 15 - Телефонный вызов внутреннего абонента Asterisk S2 с использованием кодека g.729
DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.12.2.15>

Обязательным условием для успешного выполнения данного вызова является то, что абоненты S1 и S2 должны располагать sip-телефонами, способными поддерживать более экономичный кодек g.729. Как показывает результат мониторинга данного вызова, интенсивность трафика в каждом из направлений с учетом накладных расходов составляет ~50 кбит/сек. О приоритете использования аудиокодеков также можно судить исходя из их перечня, приводимого в правой нижней части sip flow диаграммы на рисунке 15.

Рассмотрим результат мониторинга вызова абонента В (T1 — см. рисунок 1), расположенного в сети PDH — рисунок 16. В этом случае в промежутке SSW Asterisk — классическая цифровая УПАТС неотъемлемым компонентом является шлюз ALVIS-GW-2E1.

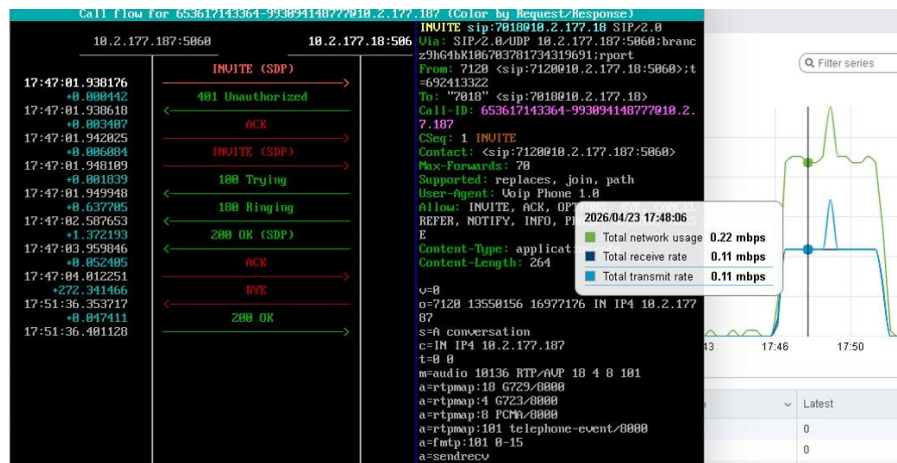


Рисунок 16 - Диаграмма sip flow и мониторинг сетевого интерфейса исходящего вызова на абонента В (Т1) с номером 7018

DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.12.2.16>

Как показывает результат мониторинга данного вызова (рисунок 16) несмотря на то что, в промежутке SSW Asterisk — ALVIS-GW-2E1 используется кодек g.729, интенсивность трафика в каждом из направлений с учетом накладных расходов составляет уже 110 кбит/сек.

Продолжим сравнивать результаты мониторинга вызовов между внутренними абонентами SSW Asterisk с использованием кодеков различного типа, с вызовами сторонних абонентов. Рассмотрим call flow вызова абонентом с номером 5503 внутреннего абонента В SSW Asterisk с номером 7120, который представлен на рисунке 17. При его организации был использован кодек g.723.

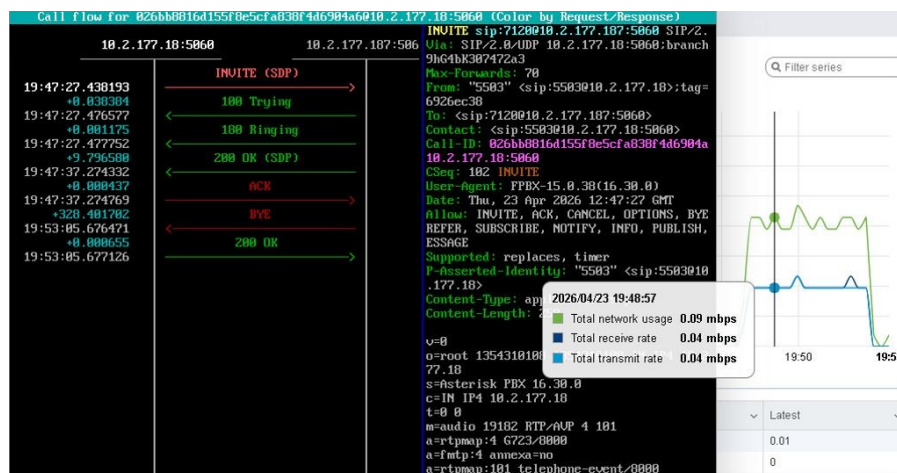


Рисунок 17 - Внутренний вызов SSW Asterisk с использованием кодека g.723

DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.12.2.17>

Результат мониторинга данного вызова (рисунок 17) показывает, что при использовании кодека g.723 интенсивность трафика в каждом из направлений с учетом накладных расходов составляет порядка 40 кбит/сек, что в 1.25 раза меньше чем для кодека g.729 и в четыре раза меньше чем для кодека alaw — фактически обязательного при вызове абонентов расположенных в сети PDH.

Заключение

Подводя итог, отметим, что ключевая особенность взаимодействия рассмотренных технологий заключается в необходимости компенсации их принципиальных различий. Строгая временная привязка (TDM) в сетях PDH противопоставляется асинхронному характеру передачи данных (сопровождающемуся джиттером и задержками) в пакетных сетях. Данная проблема успешно решается с помощью специализированных шлюзов.

Анализ возможностей конвергенции в рамках комбинированной схемы организации связи (см. рисунок 1) подтверждает, что программный коммутатор (SSW) Asterisk является гибким и эффективным инструментом для реализации подобных технических решений. Примечательно, что внутренняя структура используемого шлюза Alvis [4], [5] также базируется на кастомизированной и облегченной версии Asterisk. Если в процессе эксплуатации



потребуется расширение функционала, целесообразно перейти на более производительное оборудование — например, транковый IP-шлюз SMG-2016 [20].

Таким образом, применение SSW Asterisk для формирования, обработки и маршрутизации речевых сообщений открывает широкие возможности, как минимум на этапе предпроектного анализа потребностей потенциальных клиентов. При этом аппаратные ограничения, связанные с пропускной способностью сетевого интерфейса виртуальной машины, в большинстве сценариев не критичны. Даже при использовании ресурсоемкого кодека G.711 alaw (с полосой около 80 Кбит/с на канал и суммарным сетевым трафиком порядка 0,33 Мбит/с для сигнально-медийного потока) стандартный интерфейс 1 Гбит/с способен одновременно обслуживать более 3 000 абонентов. Стоит подчеркнуть, что данная оценка является консервативной, так как не учитывает возможность прямой коммутации RTP-трафика между абонентами внутри одного узла.

Финансирование

Работа подготовлена в рамках гранта «Люминесцентные материалы, преобразующие излучение света диодов в целевые спектры для решения научных и технологических задач», FSRZ-2026-0011.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The work was prepared within the framework of a grant Luminescent materials transforming diode light into target spectra for scientific and technological tasks, FSRZ-2026-0011.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Дибров М.В. Сети и телекоммуникации. Маршрутизация в IP-сетях: учебник и практикум для вузов / М.В. Дибров. — Москва : Юрайт, 2025. — 423 с. — URL: <https://urait.ru/bcode/568524> (дата обращения: 06.01.2026).
2. Смирнова Е.В. Технологии TCP/IP в современных компьютерных сетях: учебное пособие / Е.В. Смирнова. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. — 638 с.
3. Иванова Т.И. Абонентские терминалы и компьютерная телефония / Т.И. Иванова. — Москва : Эко-Трендз, 2001. — 240 с.
4. Alvis-Gw-2E1 Руководство по настройке // Портал компании Гарант-плюс. — 2021. — URL: http://mh.otx.ru/wp-content/uploads/2013/08/Alvis-GW-2E1-InstallGuide_Rus_-Rev1.4.pdf (дата обращения: 15.01.2026).
5. Настройка E1 шлюза Alvis-Gw-2E1 Asterisk IP-телефония // Настройка VoIP оборудования. — 2015. — URL: <https://voxlink.ru/kb/voip-devices-configuration/conf-alvis-gw-2e1/> (дата обращения: 12.01.2026).
6. Ван Меггелен Д. «Asterisk — Полное руководство» / Д. Ван Меггелен, Р. Брайант, Л. Мэдсен. — Севастопол : О`Рейли, 2020. — 309 с.
7. Брайант Р. Астериск — будущее телефонии / Р. Брайант, Л. Мэдсен, Д. Ван Меггелен. — Севастопол : О`Рейли, 2013. — 293 с. — URL: <https://www.oreilly.com/catalog/errata.csp?isbn=0636920140610> (дата обращения: 01.07.2026).
8. Никоноров М.Ю. Телефония Asterisk с нуля Подробное пошаговое руководство Приложение к одноименному видеокурсу / М.Ю. Никоноров, А.В. Ефременко // Сайт для системных администраторов. — 2014. — URL: <https://comp-lenta.ru/videokurs-telefoniya-asterisk-s-nulya/> (дата обращения: 15.01.2026).
9. Цыпцова А.В. Особенности конфигурирования функционала дополнительных услуг для абонентов Asterisk/FreePBX / А.В. Цыпцова, Д.Ю. Черников // Информационно-телекоммуникационные системы и технологии. — Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2021. — С. 123–125.
10. Руководство администратора FreePBX на русском языке // Общество с ограниченной ответственностью «Мерион Нетворкс». — 2023. — URL: <https://wiki.merionet.ru/articles/rukovodstvo-administratora-freepbx-na-russkom-yazyke> (дата обращения: 09.01.2026).
11. Цыпцова А.В. Практика использования Softswitch Asterisk/FreePBX в среде виртуальных машин / А.В. Цыпцова, Д.Ю. Черников // Современные проблемы радиоэлектроники : материалы XXIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 127-й годовщине Дня радио. — Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2022. — С. 513–517.
12. Инструкция по настройке FreePBX // Портал оператора связи Canmos. — 2012. — URL: https://canmos.ru/images/Canmos_FreePBX.pdf (дата обращения: 09.01.2026).
13. Михеев М.О. Администрирование VMware vSphere / М.О. Михеев. — Москва : ДМК Пресс, 2012. — 504 с.
14. Черников Д.Ю. Использование учрежденческих АТС в составе мультисервисных пакетных сетей электросвязи / Д.Ю. Черников, А.А. Тимофеев, Д.В. Римацкий // Cifra. Информационные технологии и телекоммуникации. — 2026. — № 2(10). — DOI: 10.60797/itech.2026.10.2.
15. Цыпцова А.В. Виртуализация ресурсов серверов Huawei Fusion Server 1288H / А.В. Цыпцова, Д.Ю. Черников // Проспект Свободный – 2021 : Материалы XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. — Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2021. — С. 2337–2340.
16. Иванова В.С. Оценка производительности виртуальных сетевых интерфейсов средствами системы мониторинга гипервизора ESXi / В.С. Иванова, Д.Ю. Черников // Информатизация образования и методика



электронного обучения: цифровые технологии в образовании : материалы V Международной научной конференции. В 2-х частях.; под ред. Носкова. — Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2021. — С. 130–134.

17. Канарик В.С. Исследование трафика VoIP SIP телефонных систем / В.С. Канарик, Д.Ю. Черников // Современные проблемы радиоэлектроники : материалы XXIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 127-й годовщине Дня радио. — Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2021. — С. 482–486.

18. Анализ SIP трафика в Asterisk с помощью sngrep // Установка и настройка sngrep для дампа трафика asterisk. — 2018. — URL: <https://serveradmin.ru/analiz-sip-trafika-v-asterisk-s-pomoshhyu-sngrep/?ysclid=mt9o8h3ast925026078> (дата обращения: 17.07.2026).

19. PANASONIC IP ATC KX-TDE100RU // Телефония и телекоммуникации. — 2024. — URL: <https://assoshop.ru/panasonic-ip-ats-kx-tde100ru-s-bp-tip-s-tda-0108/> (дата обращения: 07.07.2026).

20. Гибридная платформа SMG-2016 с функциями IP ATC // Системная интеграция цифровых технологий. — 2023. — URL: https://rtelecom.ru/catalog/sysps/ip_elteks/6094.php (дата обращения: 01.07.2026).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Dibrov M.V. Seti i telekommunikatsii. Marshrutizatsiya v IP-setyakh: uchebnik i praktikum dlya vuzov [Networks and telecommunications. Routing in IP networks: textbook and workshop for universities] / M.V. Dibrov. — Moscow : Yurait, 2025. — 423 p. — URL: <https://urait.ru/bcode/568524> (accessed: 06.01.2026). [in Russian]

2. Smirnova E.V. Tekhnologii TCP/IP v sovremennikh kompyuternikh setyakh: uchebnoe posobie [TCP/IP technologies in modern computer networks: a textbook] / E.V. Smirnova. — Moscow : MSTU named after N.E. Bauman, 2019. — 638 p. [in Russian]

3. Ivanova T.I. Abonentskie terminali i kompyuternaya telefoniya [Subscriber terminals and computer telephony] / T.I. Ivanova. — Moscow : Eko-Trendz, 2001. — 240 p. [in Russian]

4. Alvis-Gw-2E1 Rukovodstvo po nastroiike [Alvis-Gw-2E1 Setup Guide] // Garant-plus company portal. — 2021. — URL: http://mh.otx.ru/wp-content/uploads/2013/08/Alvis-GW-2E1-InstallGuide_Rus_-Rev1.4.pdf (accessed: 15.01.2026). [in Russian]

5. Nastroiika Ye1 shlyuza Alvis-Gw-2E1 Asterisk IP-telefoniya [Configuring the E1 gateway Alvis-Gw-2E1 Asterisk IP telephony.] // Configuring VoIP equipment. — 2015. — URL: <https://voxlink.ru/kb/voip-devices-configuration/conf-alvis-gw-2e1/> (accessed: 12.01.2026). [in Russian]

6. Van Meggelen D. «Asterisk - Polnoe rukovodstvo» [Asterisk — the Complete Guide] / D. Van Meggelen, R. Braiant, L. Medsen. — Sebastopol : O'Reili, 2020. — 309 p. [in Russian]

7. Braiant R. Asterisk — budushchee telefonii [Asterisk — the future of telephony] / R. Braiant, L. Medsen, D. Van Meggelen. — Sebastopol : O'Reili, 2013. — 293 p. — URL: <https://www.oreilly.com/catalog/errata.csp?isbn=0636920140610> (accessed: 01.07.2026). [in Russian]

8. Nikonorov M.Yu. Telefoniya Asterisk s nulya Podrobnое poshagovoe rukovodstvo Prilozhenie k odnoimennomu videokursu [Asterisk Telephony from scratch is a detailed step-by-step guide to the video course of the same name] / M.Yu. Nikonorov, A.V. Yefremenko // Website for system administrators. — 2014. — URL: <https://comp-lenta.ru/videokurs-telefoniya-asterisk-s-nulya/> (accessed: 15.01.2026). [in Russian]

9. Tsipstova A.V. Osobennosti konfigurirovaniya funktsionala dopolnitelnykh uslug dlya abonetrov Asterisk/FreePBX [Features of configuring the functionality of additional services for Asterisk/FreePBX subscribers] / A.V. Tsipstova, D.Yu. Chernikov // Informacionno-telekommunikatsionnye sistemy i tekhnologii [Information and telecommunication systems and technologies]. — Kemerovo : T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 2021. — P. 123–125. [in Russian]

10. Rukovodstvo administratora FreePBX na russkom yazike [The FreePBX Administrator's Guide is in Russian] // Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu "Merion Networks" [Limited Liability Company "Merion Networks"]. — 2023. — URL: <https://wiki.merionet.ru/articles/rukovodstvo-administratora-freepbx-na-russkom-yazyke> (accessed: 09.01.2026). [in Russian]

11. Tsipstova A.V. Praktika ispolzovaniya Softswitch Asterisk/FreePBX v srede virtualnykh mashin [The practice of using Asterisk/FreePBX Softswitch in a virtual machine environment] / A.V. Tsipstova, D.Yu. Chernikov // Sovremennyye problemy radioelektroniki [Modern problems of radio electronics] : proceedings of the XXIII All-Russian Scientific and Technical Conference with International participation dedicated to the 127th anniversary of Radio Day. — Krasnoyarsk : Siberian Federal University, 2022. — P. 513–517. [in Russian]

12. Instruksiya po nastroiike FreePBX [Instructions for setting up FreePBX] // The portal of the Canmos telecom operat. — 2012. — URL: https://canmos.ru/images/Canmos_FreePBX.pdf (accessed: 09.01.2026). [in Russian]

13. Mikheev M.O. Administrirovanie VMware vSphere [Administration of VMware vSphere] / M.O. Mikheev. — Moscow : DMK Press, 2012. — 504 p. [in Russian]

14. Chernikov D.Yu. Ispolzovanie uchrezhdencheskikh ATS v sostave multiservisnykh paketnykh setei elektrosvyazi [The use of institutional PBX within multiservice packet telecommunications networks] / D.Yu. Chernikov, A.A. Timofeev, D.V. Rimatsky // Cifra. Informatsionnye tekhnologii i telekommunikatsii [Cifra. Information Technology and Telecommunications]. — 2026. — № 2(10). — DOI: 10.60797/itech.2026.10.2 [in Russian]

15. Tsipstova A.V. Virtualizatsiya resursov serverov Huawei Fusion Server 1288H [Virtualization of Huawei Fusion Server 1288H server resources] / A.V. Tsipstova, D.Yu. Chernikov // Prospekt Svobodnyj – 202 [Svobodny Avenue – 2021] : proceedings of the XVII International Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists. — Krasnoyarsk : Siberian Federal University, 2021. — P. 2337–2340. [in Russian]



16. Ivanova V.S. Otsenka proizvoditelnosti virtualnykh setevykh interfeisov sredstvami sistemi monitoringa gipervizora EXSi [Performance evaluation of virtual network interfaces using the EXSi hypervisor monitoring system] / V.S. Ivanova, D.Yu. Chernikov // Informatizatsiya obrazovaniya i metodika elektronnoy obucheniya: cifrovye tekhnologii v obrazovanii [Informatization of education and e-learning methods: digital technologies in education] : proceedings of the V International Scientific Conference]. In 2 parts.; edited by Noskova. — Krasnoyarsk : Siberian Federal University, 2021. — P. 130–134. [in Russian]
17. Kanarik V.S. Issledovanie trafika VoIP SIP telefonnykh sistem [VoIP SIP phone system traffic research] / V.S. Kanarik, D.Yu. Chernikov // Sovremennye problemy radioelektroniki [Modern problems of radio electronics] : materials of the XXIII All-Russian Scientific and Technical Conference with international participation, dedicated to the 127th anniversary of Radio Day. — Krasnoyarsk : Siberian Federal University, 2021. — P. 482–486. [in Russian]
18. Analiz SIP trafika v Asterisk s pomoshchyu sngrep [Analyzing SIP traffic in Asterisk using sngrep] // Ustanovka i nastroyka sngrep dlya dampa trafika asterisk [Installing and configuring sngrep for dumping asterisk traffic]. — 2018. — URL: <https://serveradmin.ru/analiz-sip-trafika-v-asterisk-s-pomoshhyu-sngrep/?ysclid=mt9o8h3ast925026078> (accessed: 17.07.2026). [in Russian]
19. PANASONIC IP ATS KX-TDE100RU [PANASONIC IP PBX KX-TDE100RU] // Telefoniya i telekommunikatsii [Telephony and telecommunications]. — 2024. — URL: <https://assoshop.ru/panasonic-ip-ats-kx-tde100ru-s-bp-tip-s-tda-0108/> (accessed: 07.07.2026). [in Russian]
20. Gibridnaya platforma SMG-2016 s funktsiyami IP ATS [The SMG-2016 hybrid platform with IP PBX functions.] // Sistemnaya integratsiya cifrovyykh tekhnologiy [Systemic integration of digital technologies]. — 2023. — URL: https://rtelecom.ru/catalog/sysps/ip_elteks/6094.php (accessed: 01.07.2026). [in Russian]