УДК 004.728.3

Описательная модель канального уровня сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11

Перегудов М. А., Стешковой А. С., Щеглов А. В.

Постановка задачи: *развитие сетей цифровой радиосвязи актуализирует вопрос оценки эффективности их функционирования на канальном уровне. Известные описательные, аналитические и имитационные модели отдельных процедур канального уровня сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11 являются частными моделями, которые не учитывают их взаимосвязь и не позволяют оценить эффективность канального уровня в целом.* ***Целью работы*** *является разработка обобщенной описательной модели канального уровня сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11. Предлагается учесть взаимосвязь основных процедур канального уровня, отвечающих за регистрацию абонента в сети, установление и проведение его сеанса связи. Задачи помехоустойчивого кодирования, традиционно относимые к задачам канального уровня, в статье не рассматриваются так как в соответствии со спецификацией семейства стандартов IEEE 802.11 они отнесены к физическому уровню.* ***Используемые методы:*** *решение задачи описания взаимосвязи основных процедур канального уровня сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11 основано на построении в соответствии со спецификацией IEEE 802.11 алгоритмических моделей функционирования соответствующих процедур.* ***Новизна:*** *элементами новизны является учет в алгоритмических моделях процедур регистрации и проведения сеанса связи алгоритма установления данного сеанса связи.* ***Результат:*** *построение алгоритмических моделей процедур канального уровня сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11 показало, что описательная модель канального уровня помимо описания процедур, отвечающих за регистрацию абонента в сети, установление и проведение его сеанса связи, учитывает взаимосвязи таких процедур.* ***Практическая значимость:*** *модель применима при создании аналитических и имитационных моделей канального уровня сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11, позволяющих количественно оценивать его эффективность.*

Ключевые слова: *сеть цифровой радиосвязи, IEEE 802.11, канальный уровень, случайный множественный доступ к среде, централизованная синхронизация, аутентификация, ассоциация, централизованно-зарезервированный доступ к среде.*

Актуальность

Сегодня с развитием телекоммуникационных технологий особое значение имеет оценка эффективности функционирования сетей цифровой радиосвязи (СЦР) как на этапе их проектирования, так и на этапе их эксплуатации. При этом одними из распространенных СЦР являются сети семейства стандартов IEEE 802.11 (Wi-Fi) [1]. В трудах [2-6] рассмотрен физический уровень СЦР семейства стандартов IEEE 802.11 в части описательной модели [2], аналитических моделей [3, 4] и помехоустойчивости [5, 6]. Однако не менее важным яв-

Библиографическая ссылка на статью:
Перегудов М. А., Стешковой А. С., Щеглов А. В. Описательная модель канального уровня сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11 // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 3. С. 203-221. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10307.

Reference for citation:
Peregudov M. A., Steshkovoy A. S., Shcheglov A. V. Descriptive Model of Networks Broadband Access Link Layer for the IEEE 802.11 Standards Family. *Systems of Control, Communication and Security*, 2020, no. 3, pp. 203-221 (in Russian). DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10307.

ляется канальный уровень рассматриваемых сетей, так как данный уровень отвечает за установление и проведение сеанса связи. Канальный уровень СЦР семейства стандартов IEEE 802.11 включает в себя множество процедур, основные из которых отвечают за регистрацию абонента в сети, установление и проведение его сеанса связи. Процедура помехоустойчивого кодирования, традиционно относящаяся к канальному уровню, в сетях широкополосного доступа семейства стандартов IEEE 802.11 в соответствии со спецификацией [1] относится к физическому уровня, таким образом данная процедура в представленной работе не рассматривается. Для комплексной оценки эффективности функционирования канального уровня СЦР семейства стандартов IEEE 802.11 как с использованием аналитических, так и имитационных моделей необходима его описательная модель, учитывающая связи между его основными процедурами. В работах [7, 8] представлены алгоритмические модели процедуры случайного множественного доступа к среде (СМДС). В [9-14] описательные и аналитические модели оценки эффективности функционирования процедуры СМДС. В [15, 16] рассмотрена пропускная способность рассматриваемых СЦР. В [17] представлена описательная и аналитическая модель оценки эффективности функционирования процедуры централизованной синхронизации, зарезервированного доступа к среде [18, 19], аутентификации [20] и ассоциации [21]. Однако комплексная описательная модель канального уровня СЦР семейства стандартов IEEE 802.11, учитывающая взаимосвязи основных процедур данного уровня, отсутствует.

Таким образом, разработка описательной модели канального уровня СЦР семейства стандартов IEEE 802.11, которая учитывает взаимосвязь основных процедур канального уровня, отвечающих за регистрацию абонента в сети, установление и проведение его сеанса связи, является актуальной задачей.

Эталонная модель информационного взаимодействия элементов сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11

1. Описательная модель канального уровня сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11

IEEE 802.11 – семейство беспроводных стандартов связи, разработанное институтом инженеров электротехники и электроники (Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE) [1]. При формировании описательной модели канального уровня в качестве прототипов в работе рассмотрены стандарты IEEE 802.11a/b/g/n/ac. Данные стандарты связи предназначены для организации беспроводного высокоскоростного канала передачи данных как для статичных, так и для мобильных устройств. Семейство стандартов IEEE 802.11 обеспечивает совместимость каждого отдельного стандарта связи с предыдущим поколением.

Основными элементами СЦР семейства стандартов IEEE 802.11 являются средство коммутации и управления (СКУ) и абонентский терминал (АТ). В качестве СКУ выступает точка доступа или ведущее устройство радиомоста, а в качестве АТ – абонентское оборудование или ведомое устройство радиомоста.

Эталонная модель информационного взаимодействия элементов СЦР семейства стандартов IEEE 802.11 представлена физическим и канальным уровнями [1]. Данная модель показана на рис. 1.

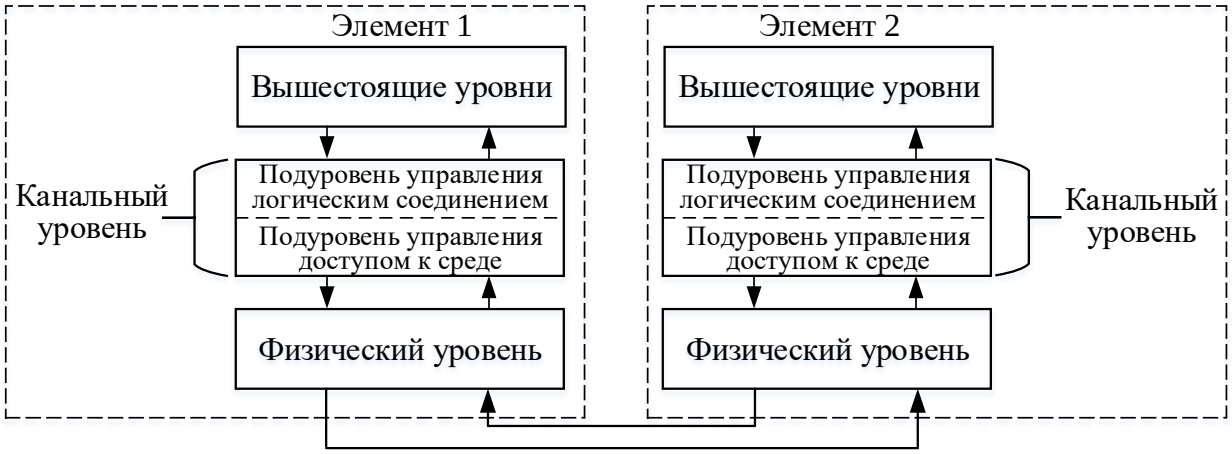

Рис. 1. Эталонная модель информационного взаимодействия элементов сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11

Канальный уровень является общим для всех СЦР семейства стандартов IEEE 802.11 и подразделяется на подуровни управления доступом к среде и логическим соединением. В свою очередь физический уровень каждого отдельного поколения стандарта отличается рядом технических характеристик: диапазоном частот, шириной канала, модуляцией, цифровой схемой модуляции.

В результате анализа спецификации СЦР семейства стандартов IEEE 802.11 [1] были выявлены функции физического и канального уровней, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Функции физического и канального уровней сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11

Уровень сети	Группа функций	Функции
Физический уровень	Расширение спектра скачкообразной перестройкой частоты, методом прямой последовательности, ортогональное частотное мультиплексирование	Модуляция/демодуляция
		Сверточное кодирование
		Установка частотного канала
		Синхронизация частотного канала
		Добавление служебной преамбулы
		Скремблирование/дескремблирование

Подуровень управления доступом к среде канального уровня (Medium access control (MAC) - подуровень)	Распределенная координационная функция (случайный множественный доступ к среде с контролем несущей и предотвращением коллизий типа CSMA/CA)	Определение занятости канала передачи данных на физическом и виртуальном уровне	
		Подтверждение принятого пакета	
		Соотношение временных межпакетных интервалов	
		Виртуальное резервирование канала передачи данных	
		Предварительное резервирование канала передачи данных	
		Двойное резервирование канала передачи данных	
		Подтверждение приема пакета	
		Обнаружение дублированных пакетов и их восстановление	
		Распределение информации о занятости канала передачи данных	
		Определение временных слотов	
		Выбор таймера случайной отсрочки передачи	
		Обратный отсчет таймера случайной отсрочки передачи	
		Восстановление и лимит переданных пакетов	
		Контроль канала передачи данных	
		Передача индивидуально адресованных пакетов	
		Передача широковещательных пакетов	
		Определение приоритетности передаваемых пакетов	
	Функция точечной координации (централизованно-зарезервированный доступ к среде)	Определение временных характеристик	
		Доступ к каналу передачи данных	Определение основных (общих) правил доступа
			Определение вектора занятости канала передачи данных
		Передача пакетов	Передача и прием пакетов точкой доступа
			Передача пакетов в условиях пересекающихся сетей
			Ограничение максимальной продолжительности централизованно-зарезервированного доступа
			Контроль канала передачи данных
		Опрос устройств сети	
	Фрагментация/Дефрагментация пакетов		
	Многоскоростная поддержка передачи данных		
	Ограничение на передачу данных		
	Управление полями пакета на канальном уровне		
	Зондирование служебным пакетом		
	Управление подуровнем доступа к среде (MAC)	Синхронизация	
		Управление энергопотреблением	
		Аутентификация и ассоциация	
		Управление потоком трафика	
		Синхронизация таймера более высокого уровня	
		Настройка прямой связи АТ к АТ	
		Управления мощностью передачи	
		Динамический выбор частотного канала	
		Расширенное переключение каналов	
		Анализ радиоизмерений	
		Контроль динамического устройства	
		Управление групповыми пакетами	
		Запрос исходного адреса	
		Выбор полосы канала	
		Поэтапное использование ширины канала	
		Сетевая ассоциация системы безопасности	
		Связь устройств из разных сетей	
		Настройка туннелированной прямой линии	
		Управление беспроводной сетью	
		Межсетевое взаимодействие с процедурами внешних СЦР сетей	

Представленные в таблице 1 функции физического и канального уровней справедливы для всего семейства СЦР стандартов IEEE 802.11. Анализ данной таблицы позволяет выделить процедуры канального уровня, отвечающие за регистрацию абонента в сети, установление и проведение его сеанса связи: случайный множественный доступ к среде, синхронизация, аутентификация, ассоциация и централизованно-зарезервированный доступ к среде (ЦЗДС).

2. Алгоритмическая модель функционирования процедуры случайного множественного доступа к среде типа CSMA/CA сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11

В результате анализа функций канального уровня, приведенных в таблице 1, выявлено, что процедура случайного множественного доступа к среде сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11 отвечает за установление и проведение сеанса связи абонента сети и базируется на контроле несущей и предотвращении коллизий (далее – СМДС типа CSMA/CA). СМДС типа CSMA/CA предусматривает два механизма передачи данных: основной (без предварительного резервирования канала передачи данных) и дополнительный (с предварительным резервированием канала передачи данных). Однако вне зависимости от механизма передачи данных обобщенный алгоритм такого доступа имеет вид, представленный на рис. 2.

Шаг 1. Определяют занятость канала передачи данных путем анализа состояния физического уровня и значения функции виртуального резервирования канала передачи данных на канальном уровне. При этом на физическом уровне определяют отсутствие передач пакетов данных сторонними устройствами, на канальном – отсутствие резервирования канала передачи данных элементами сети.

Шаг 2. Ожидают в течение длительности, соответствующей межпакетному интервалу. В сетях цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11 в соответствии со спецификацией [1] выделяют следующие типы межпакетных интервалов: короткий межпакетный интервал – short interframe space (SIFS), уменьшенный межпакетный интервал – point interframe space (PIFS), увеличенный межпакетный интервал – distributed interframe space (DIFS). Межпакетный интервал выбирается в зависимости от типа передаваемого пакета данных. В качестве пакетов данных выступают пользовательские или служебные данные.

Шаг 3. Выбирают случайное значение задержки передачи пакета данных в заданном спецификацией [1] диапазоне, выраженное в количестве временных интервалов (слотов) τ.

Шаг 4. Определяют занятость канала передачи данных на физическом уровне в соответствии с шагом 1.

Шаг 5. Уменьшают значение случайной задержки передачи пакета данных на один временной интервал (слот) τ. При достижении счетчика задержки передачи нуля переходят к шагу 6.

Шаг 6. Передают пакет данных.

№3. 2020
ISSN 2410-9916

Рис. 2. Обобщенный алгоритм СМДС типа CSMA/CA
сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11

Приведенный обобщенный алгоритм СМДС типа CSMA/CA справедлив для всего семейства СЦР стандартов IEEE 802.11 и применяется как при передаче пользовательских, так и служебных пакетов данных.

DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10307
URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2020-03/07-Peregudov.pdf

3. Алгоритмическая модель функционирования процедуры централизованной синхронизации элементов сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11

В результате анализа таблицы 1 выявлено, что одной из ключевых процедур, отвечающих за установление и проведение сеанса связи в СЦР семейства стандартов IEEE 802.11, является синхронизация. Анализ спецификации [1] показывает, что основным способом синхронизации элементов сети является широковещательная рассылка средством коммутации и управления синхронизирующих пакетов. В качестве синхронизирующего пакета в сетях цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11 выступает пакет служебных данных Beacon, а при передаче такого пакета используется уменьшенный межпакетный интервал PIFS, что обеспечивает приоритетную его передачу в канале передачи данных в условиях СМДС типа CSMA/CA относительно пакетов пользовательских и служебных данных. При этом передача синхронизирующего пакета осуществляется периодически каждый раз в начале повторяющегося интервала синхронизации TBTT. При получении синхронизирующего пакета Beacon все абонентские терминалы сети устанавливают единое время в соответствии с принятым значением, что обеспечивает эффективное функционирование процедур канального уровня. Алгоритм централизованной синхронизации средством коммутации и управления элементов СЦР семейства стандартов IEEE 802.11 представлен в виде блок-схемы, приведенной на рис. 3.

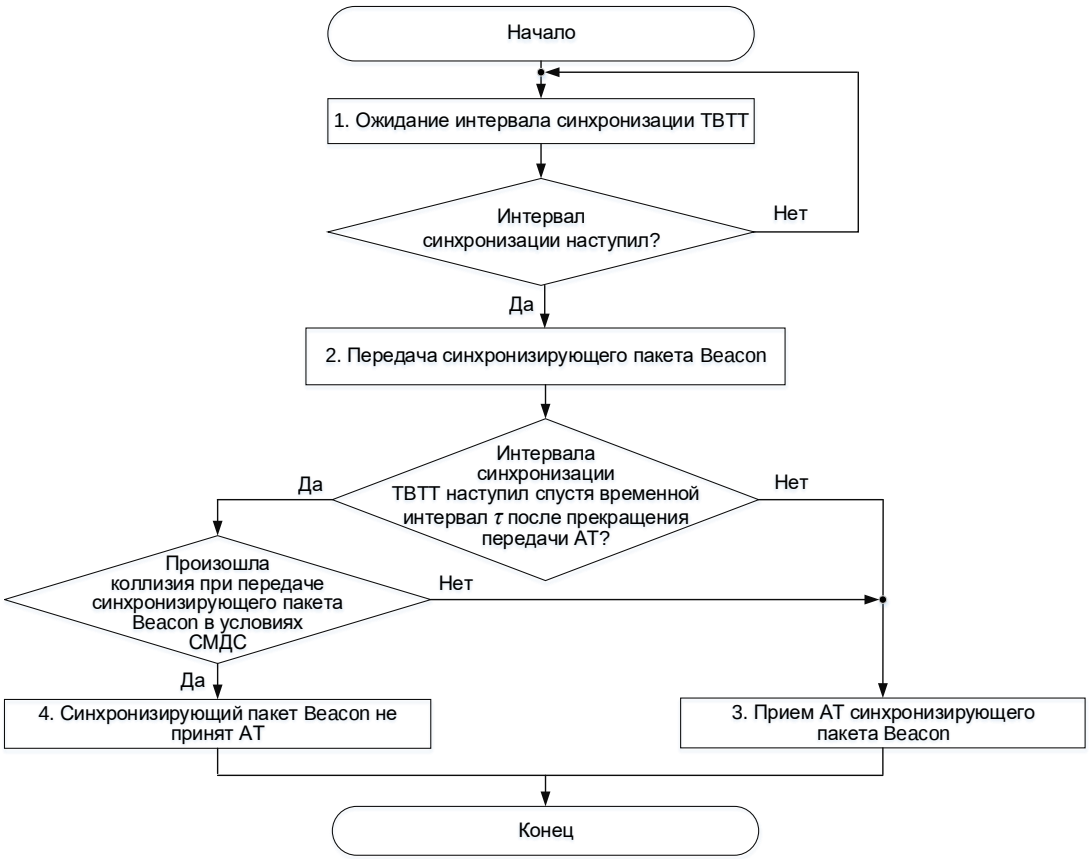

Рис. 3. Алгоритм централизованной синхронизации элементов сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11

Шаг 1. Ожидают наступление интервала синхронизации TBTT за счет контроля локального времени и длительности повторяющихся интервалов синхронизации. При наступлении интервала синхронизации переходят к шагу 2.

Шаг 2. Передают синхронизирующий пакет Beacon в соответствии с алгоритмом СМДС типа CSMA/CA. При передаче синхронизирующего пакета Beacon используется межпакетный интервал PIFS, значение счетчика задержки передачи соответствует нулю.

Шаг 3. Абонентские терминалы принимают синхронизирующий пакет Beacon от средства коммутации и управления.

Шаг 4. Абонентские терминалы не принимают синхронизирующий пакет Beacon в результате коллизии данного пакета в канале передачи данных.

Приведенный алгоритм централизованной синхронизации справедлив для всего семейства стандартов IEEE 802.11, сети которых организованы посредством средства коммутации и управления.

4. Алгоритмическая модель аутентификации и ассоциации элементов сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11

В сетях цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11 в соответствии со спецификацией [1] информационный обмен происходит только между зарегистрированными элементами сети. Таким образом, в соответствии с таблицей 1, процедуры аутентификации и ассоциации участвуют в процессе регистрации абонента в сети. Процедура аутентификации представляет собой регистрацию в СЦР семейства стандартов IEEE 802.11 оборудования АТ. При ассоциации абонентскому терминалу выделяется ресурс канала передачи данных и его идентификационные данные заносятся в список СКУ. Процедура аутентификации и ассоциации заключается в отправке абонентским терминалом средству коммутации и управления служебных пакетов данных с запросом на установление данных процедур и ожидании ответа. Алгоритм установления аутентификации и ассоциации абонентского терминала в СЦР семейства стандартов IEEE 802.11 представлен в виде блок-схемы, приведенной на рис. 4.

Алгоритм установления аутентификации и ассоциации заключается в следующем.

Шаг 1. Передают пакет запроса аутентификации Authentication Request в соответствии с СМДС типа CSMA/CA с указанием в качестве адреса отправителя MAC-адрес абонентского терминала, а в качестве адреса получателя MAC-адрес средства коммутации и управления. В качестве межпакетного интервала выступает интервал DIFS.

Шаг 2. Ожидают ответ на запрос аутентификации от средства коммутации и управления пакетом служебных данных Authentication Response в течение длительности, соответствующей межпакетному интервалу DIFS.

Шаг 3. Передают пакет запроса ассоциации Association Request в соответствии с СМДС типа CSMA/CA с указанием в качестве адреса отправителя MAC-адрес АТ, а в качестве адреса получателя MAC-адрес СКУ. В качестве межпакетного интервала выступает интервал DIFS.

Шаг 4. Ожидают ответ на запрос ассоциации от средства коммутации и управления пакетом служебных данных Association Response в течение длительности, соответствующей межпакетному интервалу DIFS.

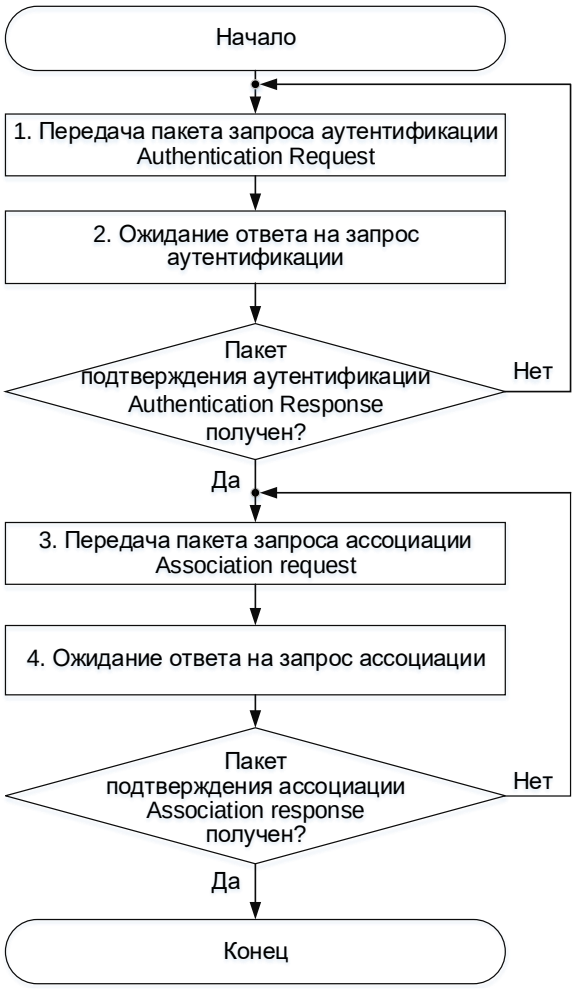

Рис. 4. Алгоритм установления аутентификации и ассоциации элементов сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11

Процедуры завершения аутентификации и ассоциации могут быть инициированы как СКУ, так и АТ. Завершение аутентификации заключается в передаче пакета, сигнализирующего о завершении регистрации элемента в сети. При получении или передаче данного пакета СКУ прекращает информационное взаимодействие с АТ. Завершение ассоциации заключается в передаче пакета, сигнализирующего о завершении соединения с элементом сети. При получении или передаче такого пакета средство коммутации и управления завершает сессию обмена пакетами данных с абонентским терминалом, однако при этом не происходит его завершение регистрации в сети. Алгоритм завершения аутентификации и ассоциации в сетях цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11 представлен в виде блок-схемы, приведенной на рис. 5.

№3. 2020
ISSN 2410-9916

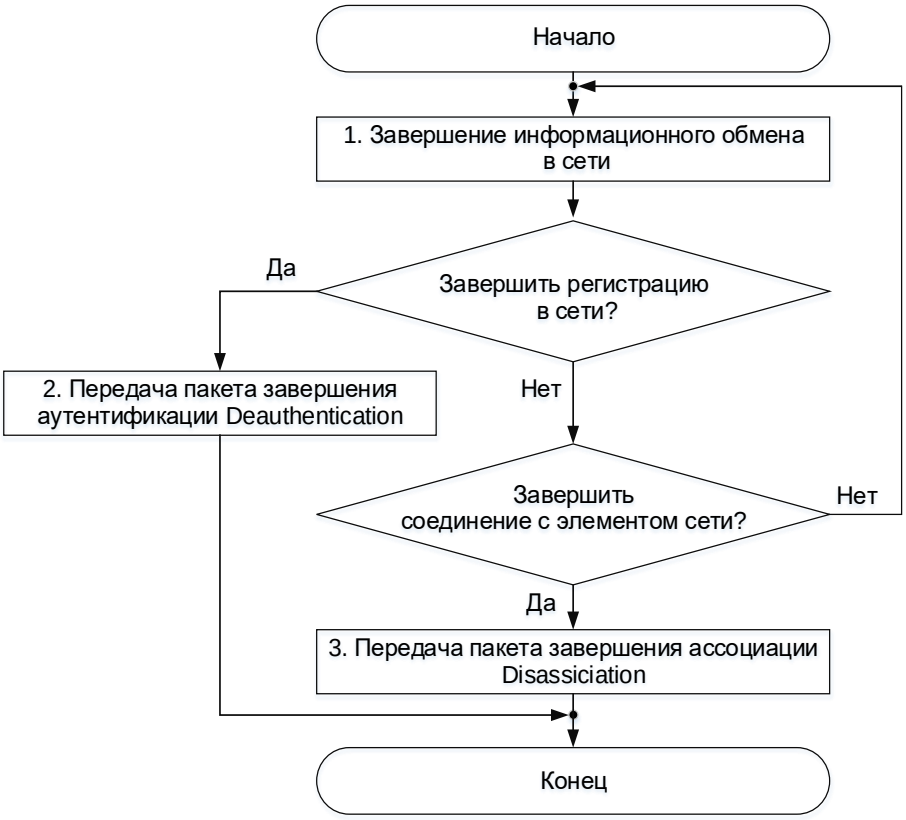

Рис. 5. Алгоритм завершения аутентификации и ассоциации элементов сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11

Алгоритм завершения аутентификации и ассоциации элементов сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11 заключается в следующем.

Шаг 1. Принимают решение о необходимости завершения информационного обмена в СЦР семейства стандартов IEEE 802.11 путем завершения регистрации в сети или завершения соединения с элементом сети. При необходимости завершения регистрации в сети переходят к шагу 2, при завершении соединения с элементом сети переходят к шагу 3.

Шаг 2. Передают пакет завершения аутентификации Deauthentication в соответствии с СМДС типа CSMA/CA с указанием в качестве адреса отправителя MAC-адрес элемента, инициирующего завершение регистрации в сети, а в качестве адреса получателя MAC-адрес запрашиваемого устройства. В случае, если завершение аутентификации со всеми элементами сети инициирует СКУ, пакет Deauthentication передается широковещательно. При передаче пакета завершения аутентификации Deauthentication используется межпакетный интервал DIFS.

Шаг 3. Передают пакет завершения ассоциации Disassiciation в соответствии с СМДС типа CSMA/CA с указанием в качестве адреса отправителя MAC-адрес элемента, инициирующего завершение соединение с элементом сети, а в качестве адреса получателя MAC-адрес запрашиваемого устройства. В случае, если завершение ассоциации со всеми элементами сети инициирует

DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10307
URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2020-03/07-Peregudov.pdf

СКУ, пакет Disassiciation передается широковещательно. При передаче пакета Disassiciation используется межпакетный интервал DIFS.

Приведенный алгоритм установления и завершения аутентификации и ассоциации применяется во всех СЦР семейства стандартов IEEE 802.11. Однако детали реализации данного алгоритма (например, завершение регистрации в сети осуществляется путем передачи пакета Deauthentication только от СКУ) могут отличаться в зависимости от производителя оборудования рассматриваемой сети.

5. Алгоритмическая модель функционирования процедуры централизованно-зарезервированного доступа к среде

В результате анализа таблицы 1 выявлено, что процедура централизованно-зарезервированного доступа к среде (ЦЗДС) СЦР семейства стандартов IEEE 802.11 отвечает за проведение сеанса связи абонента сети, при этом в соответствии со спецификацией [1] данная процедура включает в себя этапы установления и функционирования. Этап установления ЦЗДС заключается в передаче средством коммутации и управления синхронизирующего пакета Beacon с указанием в нем информации о начале и длительности интервала ЦЗДС. Получив такой пакет Beacon, абонентские терминалы резервируют канал передачи данных в соответствии с картой централизованно-зарезервированного доступа к среде.

На этапе функционирования ЦЗДС средство коммутации и управления осуществляет последовательный опрос всех АТ сети на предмет определения наличия пользовательских данных для передачи. Опрос осуществляется как пакетом пользовательских данных, содержащим опрос, так и пакетом опроса. При получении пакета с опросом (опроса) и наличии данных для передачи, абонентский терминал отвечает пакетом пользовательских данных. Если пользовательские данные для передачи отсутствуют, абонентский терминал игнорирует опрос. При этом СКУ продолжает опрос остальных АТ сети. Если пакет с опросом от СКУ не был получен, абонентский терминал не вправе передавать пакеты данных. Алгоритм ЦЗДС средства коммутации и управления сети цифровой радиосвязи стандартов EEE 802.11 представлен на рис. 6.

Алгоритм ЦЗДС средства коммутации и управления сети цифровой радиосвязи стандартов EEE 802.11 заключается в следующем.

Шаг 1. Передают в соответствии с алгоритмом централизованной синхронизации пакет служебных данных Beacon с указанием в нем времени установления и продолжительности ЦЗДС.

Шаг 2. Ожидают в течение длительности, соответствующей межпакетному интервалу SIFS.

Шаг 3. Передают пакет пользовательских данных с опросом (при наличии пользовательских данных у СКУ) или пакет опроса (при отсутствии пользовательских данных у СКУ) абонентскому терминалу.

Шаг 4. Ожидают в течение длительности, соответствующей межпакетному интервалу SIFS.

Шаг 5. Принимают пакет пользовательских данных с подтверждением от абонентского терминала.

Шаг 6. Ожидают один временной интервал (слот) τ.

Шаг 7. Передают пакет пользовательских данных с опросом или пакет опроса следующему абонентскому терминалу сети.

Шаг 8. Ожидают в течение длительности, соответствующей межпакетному интервалу SIFS.

Шаг 9. Передают широковещательный пакет служебных данных CF-End, сигнализирующий об окончании периода ЦЗДС.

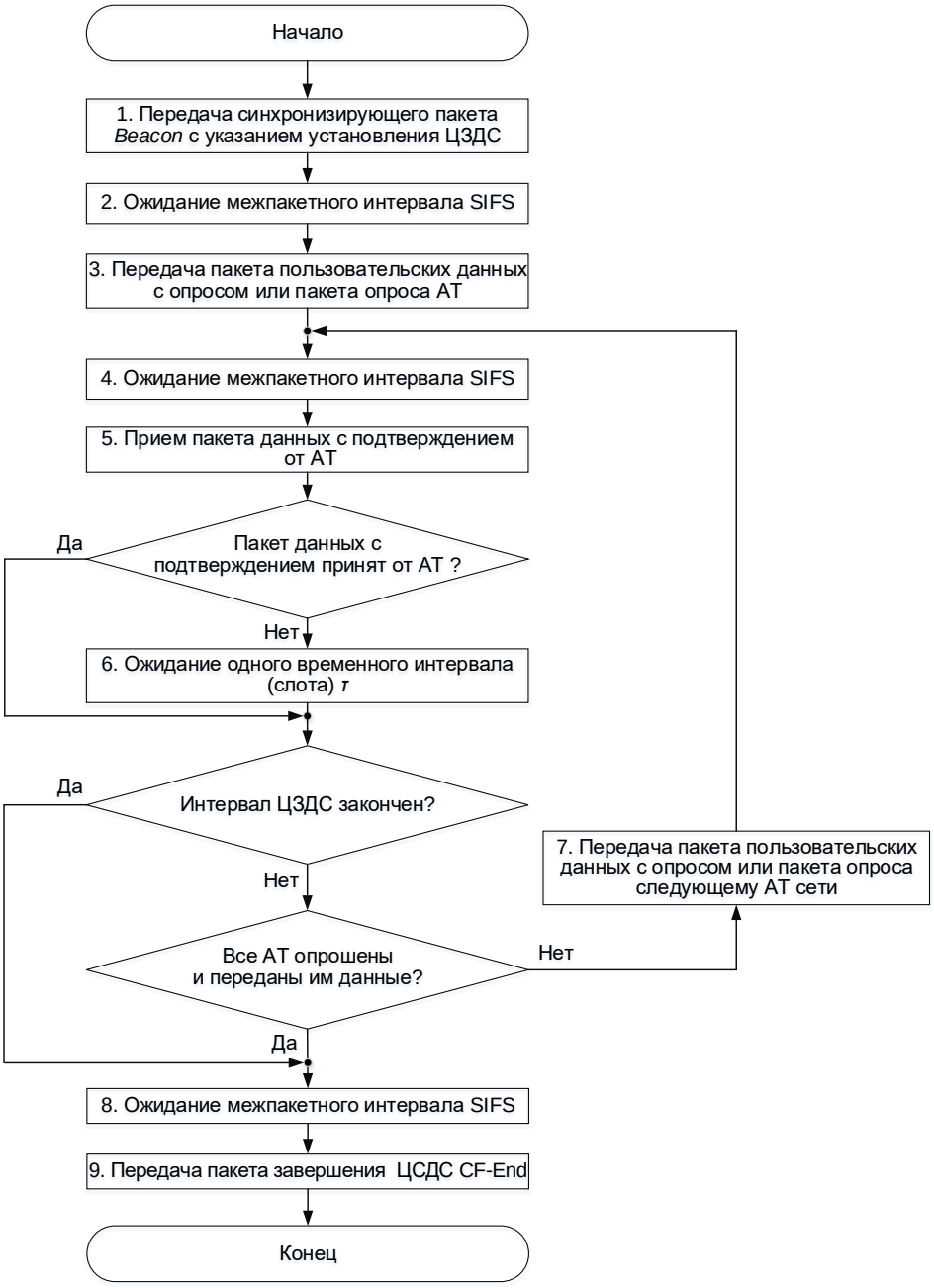

Рис. 6. Алгоритм централизованно-зарезервированного доступа к среде средства коммутации и управления сетей цифровой радиосвязи стандартов EEE 802.11

В свою очередь алгоритм ЦЗДС для абонентского терминала отличен от СКУ и представляет собой блок-схему, приведенную на рис. 7.

Шаг 1. Ожидают от средства коммутации и управления пакет служебных данных Beacon с указанием установления ЦЗДС.

Шаг 2. Ожидают пакет пользовательских данных с опросом или пакет опроса от средства коммутации и управления.

Шаг 3. Ожидают в течение длительности, соответствующей межпакетному интервалу SIFS.

Шаг 4. Передают пакет пользовательских данных с подтверждением принятых данных средству коммутации и управления.

Рис. 7. Алгоритм централизованно-зарезервированного доступа к среде абонентского терминала сети цифровой радиосвязи стандартов EEE 802.11

Приведенные алгоритмы централизованно-зарезервированного доступа к среде средства коммутации и управления и абонентского терминала справедливы для всех сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11, реализация которых предусматривает поддержку ЦЗДС.

6. Алгоритмическая модель канального уровня сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11

В соответствии с таблицей 1 и приведенными выше алгоритмами следует, что функционирование канального уровня СЦР семейства стандартов IEEE 802.11 включает в себя этап регистрации абонента в сети и этап установ-

№3. 2020
ISSN 2410-9916

ления и проведения его сеанса связи. На рис. 8 представлен алгоритм функционирования канального уровня СЦР семейства стандартов IEEE 802.11, отвечающий за регистрацию абонента в сети.

Рис. 8. Алгоритм функционирования канального уровня, отвечающий за регистрацию абонента в сети

Алгоритм функционирования канального уровня сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11, отвечающий за установление и проведение сеанса связи абонента сети, представлен на рис. 9.

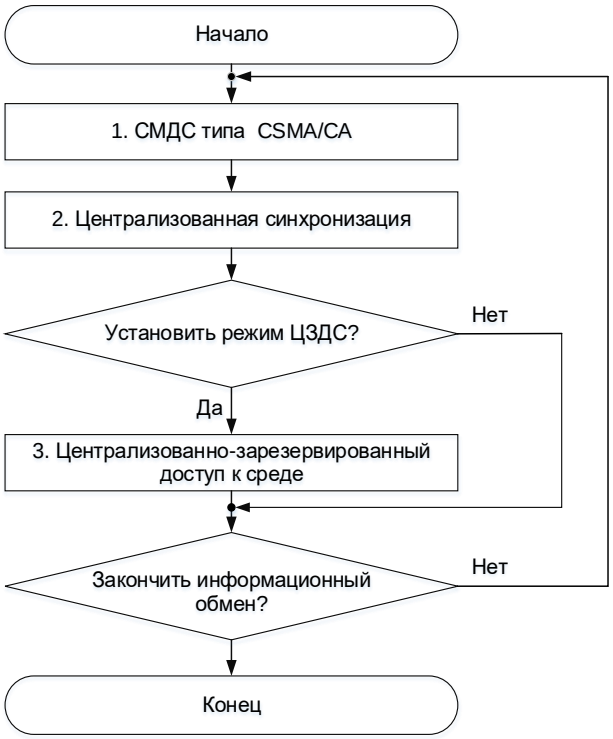

Рис. 9. Алгоритм функционирования канального уровня, отвечающий за установление и проведение сеанса связи абонента сети

DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10307
URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2020-03/07-Peregudov.pdf

Из приведенных на рис. 8 и 9 алгоритмов видно, что процедуры аутентификация, ассоциация и централизованно-зарезервированный доступ к среде зависят от централизованной синхронизации элементов сетей цифровой радиосвязи, а централизованная синхронизация в свою очередь зависит от случайного множественного доступа к среде типа CSMA/CA. При этом процедура централизованно-зарезервированного доступа к среде является дополнительным методом доступа к среде в сетях цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11.

Выводы

Предложена описательная модель канального уровня сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11, которая учитывает взаимосвязанные процедуры, отвечающие за регистрацию абонента в сети, установление и проведение его сеанса связи. Описательная модель включает функционирование процедур случайного множественного доступа к среде типа CSMA/CA, централизованной синхронизации, аутентификации, ассоциации и централизованно-зарезервированного доступа к среде с их алгоритмическими моделями, причем алгоритмические модели учитывают взаимосвязь указанных процедур. Модель применима при построении аналитических и имитационных моделей оценки эффективности функционирования канального уровня сетей цифровой радиосвязи семейства стандартов IEEE 802.11.

Литература

1. IEEE standard for information technology–telecommunications and information exchange between systems local and metropolitan area networks–specific requirements PART 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. – IEEE Standart 802.11, 2012. – 2793 с.

2. Росс Д. Wi-Fi. Беспроводная сеть. – М.: НТ Пресс, 2007. – 320 с.

3. Ложкин К. Ю., Миронов В. А., Прожеторко С. С. Помехоустойчивость приема OFDM-сигнала с фазовой манипуляцией поднесущих на фоне импульсной полигармонической помехи // Радиотехника. 2018. № 11. С. 58-63.

4. Ложкин К. Ю., Стиценко А. И., Прожеторко С. С. Эффективность воздействия импульсной гармонической помехи на когерентный приемник сигналов с двукратной фазоразностной манипуляцией // Теория и техника радиосвязи. 2016. № 4. С. 55-62.

5. Титов К. Д., Липатов А. О., Завалишина О. Н. Оценка помехоустойчивости системы связи стандарта IEEE 802.11n при воздействии помех с учётом структуры пакета передаваемых данных // Теория и техника радиосвязи. 2019. № 4. С. 95-107.

6. Титов К. Д., Завалишина О. Н. Оценка помехоустойчивости системы связи стандарта IEEE 802.11ac при воздействии помех // Успехи современной радиоэлектроники. 2019. № 12. С. 191-196. doi: 10.18127/j20700784-201912-30.

7. Бойко А. А., Обущенко Е. Ю., Щеглов А. В. Особенности синтеза полного множества тестовых способов удаленного информационно-технического воздействия на пространственно распределенные системы информационно-

технических средств // Вестник Воронежского государственного университета. 2017. № 2. С. 33-45.

8. Бойко А. А. Способ аналитического моделирования процесса распространения вирусов в компьютерных сетях различной структуры // Труды СПИИРАН. 2015. № 5. С. 196-211. doi: 10.15622/sp.42.4.

9. Макеренко С. И. Подавление пакетных радиосетей со случайным множественным доступом за счет дестабилизации их состояния // Журнал радиоэлектроники. 2011. № 9. С. 2. – URL: www.jre.cplire.ru/jre/sep11/4/text.pdf (дата обращения 03.06.2020).

10. Перегудов М. А., Бойко А. А. Оценка защищенности сети пакетной радиосвязи от имитации абонентских терминалов на уровне процедуры случайного множественного доступа к среде типа S-ALOHA // Информационные технологии. 2015. № 7. С. 527-534.

11. Перегудов М. А., Бойко А. А. Модель процедуры случайного множественного доступа к среде типа S-ALOHA // Информационно-управляющие системы. 2014. № 6. С. 75-81.

12. Laufer R., Kleinrock L. The Capacity of Wireless CSMA/CA Networks // IEEE/ACM Transactions on Networking. 2016. Vol. 24. P. 1518-1532.

13. Перегудов М. А., Стешковой А. С., Бойко А. А. Вероятностная модель процедуры случайного множественного доступа к среде типа CSMA/CA // Труды СПИИРАН. 2018. № 4 (59). С. 92-114. doi: 10.15622/sp.59.4.

14. Перегудов М. А., Семченко И. А. Оценка эффективности случайного множественного доступа к среде типа ALOHA при голосовых соединениях, передаче служебных команд, текстовых сообщений и мультимедийных файлов в условиях деструктивных воздействий // Труды СПИИРАН. 2019. Том 18. № 4. С. 887-91. doi: 10.15622/sp.2019.18.4.887-911.

15. Межуев А. М., Пасечников И. И., Коренной А. В. Анализ функции эффективности информационной сети и алгоритм оценки режимов информационного обмена на основе производных обобщенного показателя // Электромагнитные волны и электронные системы. 2017. № 5. С. 12-22.

16. Межуев А. М., Пасечников И. И. Тангенс угла полосовой эффективности при решении задачи оценки качества работы информационной сети // Вестник Тамбовского Университета. 2016. Том 21. № 6. С. 2340-2346. doi: 10.20310/1810-0198-2016-21-6-2340-2346.

17. Перегудов М. А., Стешковой А. С. Модель централизованной синхронизации элементов сетей цифровой радиосвязи со случайным множественным доступом к среде типа CSMA/CA // Труды СПИИРАН. 2020. Том 19. № 1. С. 128-154. doi: 10.15622/sp.2020.19.1.5.

18. Garcia-Villegas E., Afaqui M. S., Lopez-Aguilera E. A novel cheater and jammer detection scheme for IEEE802.11-based wireless LANs // Computer Networks. 2015. Vol. 86. P. 40-46.

19. Перегудов М. А., Бойко А. А. Модель процедуры зарезервированного доступа к среде сети пакетной радиосвязи // Телекоммуникации. 2015. № 6. С. 7-15.

20. Noman H. A., Abdullah S. M., Mohammed H. I. An Automated Approach to Detect Deauthentication and Disassociation Dos Attacks on Wireless 802.11 Net-

works // International Journal of Computer Science Issues. 2015. Vol. 12. P. 1694-1784.

21. Liu C., Qiu J. Performance study of 802.11w for preventing DoS attacks on wireless local area networks // Wireless personal communication. 2017. № 95 (2). P. 1031-1053.

References

1. IEEE standard for information technology-telecommunications and information exchange between systems local and metropolitan area networks-specific requirements PART 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE Standart 802.11, 2012. 2793 p.

2. Ross D. *Wi-Fi. Besprovodnaja set* [Wireless Network]. Moscow, HT-Press Publ, 2007, 320 p. (in Russian).

3. Lozhkin K. Yu., Mironov V. A., Prozhetorko S. S. Interference immunity of reception of ofdm-signal with psk subcarriers against an impulse polyharmonic jamming. *Radiotekhnika*, 2018, no. 11, pp. 58-63 (in Russian).

4. Lozhkin K. Yu., Stitsenko A. I., Prozhetorko S. S. The pulse harmonic interference effectiveness regarding a coherent dqpsk signals receiver. *Radio Communication Theory and Equipment*, 2016, no. 4, pp. 55-62. (in Russian).

5. Titov K. D., Lipatov A. O., Zavalishina O. N. Assessment of noise immunity of IEEE 802.11n communication system in case of intentional interference taking into account the structure of the transmitted data packet. *Radio Communication Theory and Equipment*, 2019, no 4, pp. 95-107 (in Russian).

6. Titov K. D., Zavalishina O. N. Assesment of noise immunity of standart data transmissions IEEE 802.11ac under the influence of interference. *Uspekhi sovremennoi radioelektroniki*, 2019, no. 12, pp. 191-196 (in Russian). doi: 10.18127/j20700784-201912-30.

7. Boyko A. A., Obushenko E. Y., Shcheglov A. V. About synthesis of a full set of test methods of remote information-technical impacts on spatially distributed systems of information-technical tools. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, no. 2, pp. 33-45 (in Russian).

8. Boyko A. A. Method of analytical modeling of viruses propagation process in computer networks with different topology. *SPIIRAS Proceedings*, 2015, no. 5, pp. 196-211 (in Russian). doi: 10.15622/sp.42.4.

9. Makarenko S. I. Podavlenie paketnyh radiosetej so sluchajnym mnozhestvennym dostupom za schet destabilizacii ih sostojanija [Suppression of packet radio networks with random multiple access due to destabilization of their state]. *Journal of radio electronics*, 2011, no. 9, p. 2. Available at: http://jre.cplire.ru/jre/sep11/4/text.pdf (in Russian).

10. Peregudov M. A., Boyko A. A. Estimation of security of a network packet radio from imitation of user's terminals at level of the procedure of random multiple access to the environment type S-ALOHA. *Informacionnye tehnologii*, 2015, no. 7, pp. 527-534 (in Russian).

11. Peregudov M. A., Boyko A. A. Model procedure of random multiple access to the environment type S-ALOHA. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*, 2014, no. 6, pp. 75-81 (in Russian).

12. Laufer R., Kleinrock L. The Capacity of Wireless CSMA/CA Networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2016, vol. 24, pp. 1518-1532.

13. Peregudov M. A., Steshkovoy A. S., Boyko A. A. Probabilistic random multiple access procedure model to the CSMA/CA type medium. *SPIIRAS Proceedings*, 2018, vol. 59, no. 4, pp. 92-114 (in Russian). doi: 10.15622/sp.59.4.

14. Peregudov M. A., Semchenko I. A. Evaluation of efficiency of random multiple access to ALOHA type environment with voice connections, transfer of service commands, text messages and multimedia files in destructive impact conditions. *SPIIRAS Proceedings*, 2019, vol. 18, no. 4, pp. 887-91 (in Russian). doi: 10.15622/sp.2019.18.4.887-911.

15. Mezhuev A. M., Pasechnikov I. I., Korennoi A. V. The analysis of function of efficiency of the information network and algorithm of the estimation of modes of the information exchange on the basis of derivatives of the generalized indicator. *Elektromagnitnye volny i elektronnye sistemy*, 2017, no. 5, pp. 12-22 (in Russian).

16. Mezhuev A. M., Pasechnikov I. I. Tangent of strip angle efficiency at the problem decision of the information network work quality estimation. *Tambov University Reports*, 2016, vol. 21, no. 6, pp. 2340-2346 (in Russian). doi: 10.20310/1810-0198-2016-21-6-2340-2346.

17. Peregudov M. A., Steshkovoy A. S. Digital radio networks centralized elements synchronization model with random multiple access to the CSMA/CA type medium. *SPIIRAS Proceedings*, 2020, vol. 19, no. 1, pp. 128–154 (in Russian). doi: 10.15622/sp.2020.19.1.5.

18. Garcia-Villegas E., Afaqui M. S., Lopez-Aguilera E. A novel cheater and jammer detection scheme for IEEE802.11-based wireless LANs. *Computer Networks*, 2015, vol. 86, pp. 40-46.

19. Peregudov M. A., Boyko A. A. Model of reserved access procedure to environment of packet radio network. *Telekommunikatsii*, 2015, no. 6, pp. 7-15 (in Russian).

20. Noman H. A., Abdullah S. M., Mohammed H. I. An Automated Approach to De-tect Deauthentication and Disassociation Dos Attacks on Wireless 802.11 Networks. *International Journal of Computer Science Issues*, 2015, vol. 12, pp. 1694-1784.

21. Liu C., Qiu J. Performance study of 802.11w for preventing DoS attacks on wireless local area networks // Wireless personal communication. 2017. no. 95 (2). pp. 1031-1053.

Статья поступила 17 августа 2020 г.

Информация об авторах

Перегудов Максим Анатольевич – кандидат технических наук. Заместитель начальника отдела. Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж). Область научных интересов: защита информации, моделирование сетей связи. E-mail: maxaperegudov@mail.ru

Стешковой Анатолий Сергеевич – научный сотрудник. Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж). Область научных

интересов: оценка эффективности функционирования сетей цифровой радиосвязи. E-mail: 9515431635@mail.ru

Щеглов Алексей Викторович – младший научный сотрудник. Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж). Область научных интересов: оценка эффективности функционирования сетей цифровой радиосвязи. E-mail: shcheglov95@gmail.com

Адрес: 394064, Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54А.

Descriptive Model of Networks Broadband Access Link Layer for the IEEE 802.11 Standards Family

M. A. Peregudov, A. S. Steshkovoy, A. V. Shcheglov

Problem Statement. *Digital radio communication networks development actualizes the issue of assessing the effectiveness of their operation at the channel level. The well-known descriptive, mathematical, and simulation models of individual link-layer procedures are private models that do not allow assessing their interconnection and the efficiency of the link-layer as a whole.* ***The goal of the paper*** *is to develop of broadband access networks of the IEEE 802.11 family of standards the data link layer. The basic procedures of the data link layer proposed to take into account the interrelation, which are responsible for registering a subscriber in the network, establishing and conducting his communication session. Error-correcting coding problems, traditionally related to the tasks of the link layer, are not considered in the article, since in accordance with the specification of the IEEE 802.11 standards family they are referred to the physical layer.* ***Methods.*** *Solving the problem of the basic procedures interconnection of networks broadband access data link layer the IEEE 802.11 standards family is based on the construction of algorithmic models for the functioning of the corresponding procedures in accordance with the specification.* ***Novelty.*** *The novelty elements are the accounting in algorithmic models of registration procedures and conducting a communication session algorithms of procedures for establishing and conducting a communication session.* ***Result.*** *Algorithmic models construction of the link layer procedures for broadband access networks of the IEEE 802.11 family of standards showed that the descriptive model of the link layer, in addition to describing the procedures responsible for registering a subscriber in the network, establishing and conducting his communication session, includes the relationship of such procedures.* ***Practical relevance.*** *The model is applicable in the construction of analytical and simulation models for assessing the link layer efficiency of the IEEE 802.11 family of standards broadband access networks.*

Keywords*: networks broadband the IEEE 802.11 standards family, access link layer, efficiency, procedure, algorithm.*

Information about Authors

Maksim Anatol'evich Peregudov – Ph.D. of Engineering Sciences. Zhukovsky–Gagarin Military Aviation Academy. Field of research: information security, modeling of radio network. E-mail: maxaperegudov@mail.ru

Anatoliy Sergeevich Steshkovoy – Research Officer. Zhukovsky–Gagarin Military Aviation Academy. Field of research: digital radio communication networks functioning efficiency evaluation. E-mail: 9515431635@mail.ru

Aleksey Viktorovich Shcheglov – Junior Officer. Deputy Head of Department. Zhukovsky–Gagarin Military Aviation Academy. Field of research: digital radio communication networks functioning efficiency evaluation. E-mail: shcheglov95@gmail.com

Address: Russia, 394064, Voronezh, Old Bolsheviks Street, 54A.