

13. Уже в 143 странах мира есть сети LTE [Электронный ресурс] // ООО «НАГ». — 26.07.2015. — Режим доступа: <http://www/URL: http://nag.ru/news/newline/27848/uje-v-143-stranah-mira-est-seti-lte.html>
14. Molinsky, R. Telstra launches world's first 600mbps-capable category 11 device [Electronic resource] / by ed. R. Molinsky // Telstra Exchange. — 16.09.2015. — Available at: <http://exchange.telstra.com.au/2015/09/16/telstra-launches-worlds-first-600mbps-capable-category-11-device/>
15. Wannstrom, J. LTE-Advanced [Electronic resource] / J. Wannstrom // 3GPP. — June 2013. — Available at: <http://www/URL: http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>
16. LTE — решение стандарта 4G [Электронный ресурс]: Аналитический обзор Ericsson // ERICSSON.COM. — Апрель 2011. — Режим доступа: [http://www/URL: http://www.ericsson.com/res/site\\_RU/docs/wp-lte-4g.pdf](http://www/URL: http://www.ericsson.com/res/site_RU/docs/wp-lte-4g.pdf)
17. Юрасов, С. 4G к 2017 году: где взять частоты [Электронный ресурс] / С. Юрасов // Экономическая правда. — 20.06.2015. — Режим доступа: <http://www/URL: http://www.epravda.com.ua/rus/publications/2015/07/20/551651/>
18. НКРЗІ схвалила контракт на проведення НДР для запровадження 4G в Україні [Электронный ресурс] // Українська асоціація операторів зв'язку «Телас». — Режим доступу: <http://www/URL: http://telas.kiev.ua/01/545--4g->

#### АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ МОБИЛЬНЫХ СЕТЕЙ 4-ГО ПОКОЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ВНЕДРЕНИЯ В УКРАИНЕ

Исследовано современное состояние беспроводных сетей 4-го поколения, проведен анализ стандартов мобильной связи

WiMAX-Advanced и LTE-Advanced. Исследованы расширенные функции этих технологий, благодаря которым удалось обеспечить требования к 4G, освещены преимущества по сравнению с предыдущими стандартами. Рассмотрены вопросы конвергенции сетей по технологиям IMT-Advanced, а также проблемы и перспективы внедрения их в Украине.

**Ключевые слова:** беспроводная мобильная связь, WiMAX-Advanced, LTE-Advanced, IEEE802.16m, 3GPPRelease10, WiMAX-Forum.

*Габовда Ольга Веніамінівна, асистент, кафедра проектування взуття і механіко-технологічних процесів, Мукачівський державний університет, Україна, e-mail: olga\_gab@mail.ru.*

*Садовнікова Тетяна Миколаївна, старший викладач, кафедра проектування взуття і механіко-технологічних процесів, Мукачівський державний університет, Україна.*

*Габовда Ольга Вениаминовна, ассистент, кафедра проектирования обуви и механико-технологических процессов, Мукачевский государственный университет, Украина.*

*Садовникова Татьяна Николаевна, старший преподаватель, кафедра проектирования обуви и механико-технологических процессов, Мукачевский государственный университет, Украина.*

*Habovda Olga, Mukachevo State University, Ukraine, e-mail: olga\_gab@mail.ru.*

*Sadovnikova Tatiana, Mukachevo State University, Ukraine*

УДК 621.372.542

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.66418

**Коляденко Ю. Ю.,  
Белюсова Е. Э.**

## ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОЙ СЕТИ НА БАЗЕ ПРОТОКОЛА OPENFLOW

В работе показаны несомненные преимущества использования программно-конфигурируемых сетей, а также их взаимовыгодной эксплуатации на базе современного протокола OpenFlow. Для этого были отмечены принципы работы стандарта, особенности функционирования коммутаторов OpenFlow, обозначены выгоды и достоинства использования такой технологии для дальнейшего развития телекоммуникационных систем.

**Ключевые слова:** телекоммуникационная сеть, протокол OpenFlow, пропускная способность, загруженность каналов, коммутаторы OpenFlow.

### 1. Введение

В связи с постоянным развитием и появлением новых технологий, сети нуждаются в реализации повышенных требований к скорости передачи и усовершенствования инструментов, использующихся для сетевого управления и мониторинга. Такая ситуация наблюдается из-за появления новых функциональных и технологичных сетей, что имеет оборотную сторону — усложнение их структуры, ведь операторы требуют более «умные сети», но старые методы мониторинга и управления уже не справляются со своими функциями.

Поэтому в последнее время возрос интерес к программно-конфигурируемым сетям SDN (Software-Defined Networks). Самой идее сетей SDN уже десять лет, но в последние годы известными компаниями были

предложены новые реализации, которые открывают широкие возможности, например, организация сети SDN с совместным применением протокола OpenFlow. Преимущество представленной технологии в том, что она работает отдельно от сетевых устройств и ее контроль может осуществляться операторами посредством стандартного сервера.

### 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Протокол OpenFlow предназначен для реализации абсолютно нового механизма обработки динамических сетевых нагрузок [1]. Он способен обеспечить сетям SDN высокую производительность, интероперабельность и отличную эффективность. В сети OpenFlow за принятие

решения о высокоуровневой маршрутизации всю ответственность несет контроллер, а не коммутатор как в классических сетях. Это позволяет процессорные ресурсы коммутаторов использовать для более скоростной переадресации пакетов. Благодаря установке контроллеров и коммутаторов OpenFlow для управления, оператор сети сможет осуществлять контроль над потоками трафика с центрального сервера или даже персонального компьютера.

Такое управление эффективно заменяет, работающую на маршрутизаторе встроенную программу, предназначенную для построения маршрутов и карт коммутации. Контроллер же используется для качественного и точного руководства таблицами потоков коммутаторов, на основании анализа которых принимается решение о дальнейшей передаче принятого пакета.

Следовательно, используя сеть SDN с протоколом OpenFlow можно создавать гибкие и защищенные сети, которые будут иметь минимум проблем с трафиком, так как в сети формируются прямые соединения с минимальными задержками передачи данных, и при этом отличаться меньшей стоимостью по сравнению с традиционными сетями [2].

Современный протокол OpenFlow, который был разработан не так давно, все еще находится в режиме тестирования и развития. В результате проведенной работы, были рассмотрены разнообразные публикации признанных авторов [1–10]. Был сделан вывод, что для разрабатываемого протокола OpenFlow необходима разработка системной информационной модели передачи данных, а также выбора их представления. При этом не был обнаружен алгоритм мониторинга и обработки данных, направленный на совместное функционирование программно-конфигурируемых сетей с коммутаторами OpenFlow. В связи с этим было проведено настоящее исследование, которое поможет в дальнейшем создать усовершенствованный алгоритм мониторинга состояния каналов с учетом всех необходимых для высококачественного управления параметров в сети SDN, функционирующих на базе сетевых устройств OpenFlow.

### 3. Объект, цель и задачи исследования

*Объект исследования* — программно-конфигурируемая сеть SDN.

*Цель исследования* — выявить основные особенности функционирования протокола OpenFlow и определить выгодно ли взаимодействие данного протокола с сетями SDN.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить такие задачи:

1. Провести обзор протокола OpenFlow.
2. Осветить главные характеристики, принцип работы и достоинства протокола OpenFlow.

3. Обозначить несомненные выгоды совместного взаимодействия сетей SDN на базе протокола OpenFlow.

4. Определить дальнейшие пути развития программно-конфигурируемых сетей SDN и протокола OpenFlow.

### 4. Принцип функционирования и особенности сетей SDN

В отличие от классических сетей архитектура SDN предусматривает отделение уровня передачи данных от уровня управления. Благодаря такому разделению и использованию протокола OpenFlow для обмена информацией между двумя этими уровнями, удастся оптимизировать все процессы администрирования и улучшить качество передачи пакетов по каналам.

Теперь все процессы в сети становятся программируемыми, что позволяет оператору видеть инфраструктуру порученной ему сети как единое целое и быстро вносить необходимые коррективы виртуально. Контроль за сетью является централизованным, благодаря контроллерам SDN поддерживается общее представление о сети. Используя технологию SDN, операторы могут осуществлять независимый от кого-либо контроль над сетью с одной логической точки, что особенно выгодно для провайдеров. К тому же для организации сети не придется закупать сложное сетевое оборудование, которое к тому же требует постоянной модернизации в связи с возрастающими нагрузками с каждым годом.

Стоит также отметить, что виртуализация сети дает возможность операторам избежать необходимости настройки вручную сотен конфигураций в небольших сетях и тысяч в больших корпорациях. Теперь посредством централизованной логики можно корректировать поведение сети в зависимости от необходимости. Например, развертывать новые приложения в режиме реального времени и проводить их быстрое тестирование перед запуском в работу. На рис. 1 приведены основные направления применения программно-конфигурируемых сетей [3, 4].



Рис. 1. Основные направления применения технологии SDN на практике

К основным несомненным достоинствам SDN следует также отнести централизованное управление, возможность автоматизации сетевых процессов, усовершенствование надежности и отказоустойчивости сети, эффективная защита от попадания в канал вирусных данных, а также возможность постоянной модернизации сети и внедрение инноваций для улучшения работы.

Архитектура сети SDN представлена на рис. 2.

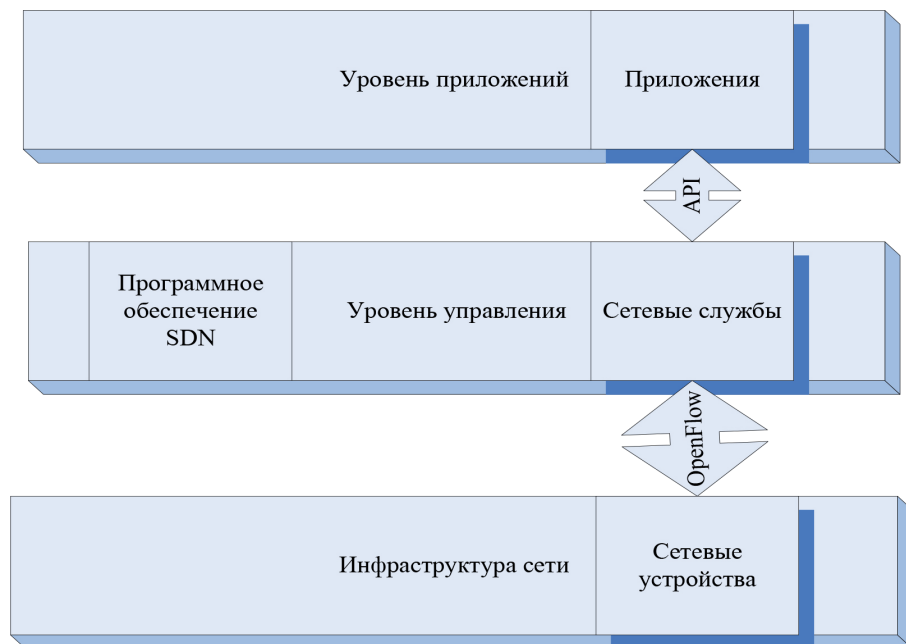


Рис. 2. Архитектура сети SDN

Как видно из рис. 2, в SDN выделяются три уровня: инфраструктурный (сетевые устройства и коммутаторы для передачи информации), управления (операционная система, обеспечивающая управление сетевыми приложениями и сервисами), сетевых приложений (гибкий и эффективный контроль за сетью) [5].

### 5. Взаимовыгодная связь ПКС с протоколом OpenFlow

Протокол OpenFlow был создан в 2011 г. с целью развития технологии SDN. На данный момент реализацией сетевого оборудования для сетей, функционирующих при посредничестве протокола OpenFlow, занимаются такие крупные корпорации как Cisco, Dell, Ericsson, Alcate-Lucent, HP и Huawei. Главным предназначением нового стандарта OpenFlow было обеспечивать удаленное управление уровнем передачи данных в сети SDN.

Спецификация OpenFlow подразумевает под собой взаимодействие коммутаторов с контроллером, при котором каждый из коммутаторов содержит и передает специальную таблицу потоков (flow table), а также групповую таблицу (group table) через канал связи (OpenFlow channel), соединенный с удаленным сервером. Каждая таблица потоков коммутаторов содержит в себе данные о потоках и правила их обработки, прописанные оператором. Группы представляют собой набор действий, составленный для широковещательной рассылки. Группы используются для того, чтобы быстро менять выходные данные для потоков. Следует отметить, что управление входящими данными

производится в OpenFlow не на уровне отдельных пакетов, а на уровне потоков пакетов. Правила для обработки пакетов в коммутаторах устанавливаются в контроллере для каждого типа пакета, которые и будут в дальнейшем использоваться при функционировании сети. Такие правила могут быть разработаны и прописаны администраторами сети как заранее, так и после прихода пакета, не подпадающего ни под одно уже существующее правило [6–8].

В сети OpenFlow обрабатываются три типа сообщений:

- 1) симметричные;
- 2) асинхронные;
- 3) контроллер-коммутатор.

Симметричные сообщения могут быть инициированы коммутатором или же контроллером без поступления соответствующего запроса. Применяются при установлении соединений, для проверки качества и безопасности соединения, а также для измерения значений задержек, пропускной способности сети и т. д.

Асинхронные сообщения могут быть инициированы коммутатором для того, чтобы оповестить контроллер о каких-либо событиях, происходящих в сети. Например, о прибытии новых пакетов, ошибках или об удалении записей из таблиц.

Сообщения типа коммутатор-контроллер обычно инициированы контроллером для осуществления управления соединенными с ним коммутаторами. Такие сообщения несут в себе информацию о состоянии коммутаторов, могут включать в себя данные статистики или же использоваться для внесения коррекции в параметры конфигурации сетевых устройств.

Из всего выше написанного следует, что в протоколе OpenFlow разработчики SDN нашли удобный программно-управляемый интерфейс, который помогает осуществлять унифицированную и независимую связь между контроллером и сетевыми элементами на своих условиях. Так что вряд ли на сегодняшний день можно найти более удобный инструмент для таких целей, чем стандарт OpenFlow. В табл. 1 приведены несомненные выгоды использования сетей SDN на базе протокола OpenFlow [9, 10].

Таблица 1

Новые возможности и выгоды сетей SDN на базе стандарта OpenFlow

Возможности сетей SDN	Выгоды
Использование единого уровня управления сетью для проведения высококачественной коммутации поступающих пакетов	Автоматизированное управление сетью при помощи центрального устройства, что делает работу администраторов максимально удобной и быстрой
Анализ и учет сетевых ресурсов, а также изменение маршрутов потоков данных путем задания необходимых приоритетов и ограничений в режиме реального времени	Возможность оптимизировать нагрузки в каналах сети и задать необходимую пропускную способность исходя из особенностей архитектуры сети

Окончание табл. 1

Возможности сетей SDN	Выгоды
Использование усовершенствованных интерфейсов для управления сетью	Возможность использования расширенной инфраструктуры современных услуг и приложений для расширения бизнес-процессов
Новые инструменты для организации и тестирования различных сервисов и приложений в сети	Возможность виртуализации сети, что позволяет администраторам виртуально в режиме реального времени настраивать и тестировать новые сервисы для улучшения функционирования существующей сети. При этом уже имеющиеся настройки и конфигурации сохраняются и к ним можно вернуться при неудачном тестировании нововведений
Сеть становится полностью программируемой	Возможность масштабируемости функционала сети, что к тому же значительно сокращает затраты владельцев сети на закупку, модернизацию или дальнейшее обслуживание сетевого оборудования. В таком случае все инновации внедряются через новое программное обеспечение

## 6. Обсуждение результатов исследования организации сетей SDN на базе стандарта OpenFlow

В ближайшем будущем при помощи сетей SDN и таких технологий как OpenFlow можно будет трансформировать существующие сети в легко программируемые и «интеллектуальные» платформы для поддержки ЦОД крупного масштаба с возможностью виртуализации всех процессов. Описанный стандарт OpenFlow может быть применен как в корпоративных сетях, так и в Mesh-сетях, локальных или же в сотовой связи.

Достоинством данной работы является представленная и выверенная теоретическая база для проведения дальнейшего исследования стандарта OpenFlow. Недостатком работы является тот момент, что протокол OpenFlow постоянно развивается и появляются все новые его версии, что требует уточнения предоставленных теоретических данных со временем.

Таким образом, разработка, конфигурирование и анализ сетей SDN с протоколом OpenFlow является актуальной современной научной задачей, требующей дальнейшего рассмотрения. В связи с этим в дальнейшем будет рассмотрен вопрос о создании усовершенствованного алгоритма мониторинга состояния каналов в сети SDN, функционирующих на базе сетевых устройств OpenFlow.

## 7. Выводы

Новая концепция сетей SDN предлагает усовершенствованный подход к реализации сетевой структуры в предприятиях, который предполагает разделение уровней управления и передачи информации.

В результате проведенных исследований было доказано, что программно-конфигурируемые сети на базе протокола OpenFlow помогут развертывать современные корпоративные сети со сложной инфраструктурой при минимуме затрат на их обслуживание. Все поставленные задачи в данной работе были выполнены, дальнейшие

исследования будут направлены на программную реализацию создания усовершенствованного алгоритма обработки данных в сетях SDN.

Технология SDN позволит использовать в сетевой структуре необходимое количество разработчиков, количество сетевых элементов с разветвленной топологией и всем необходимым набором различных политик безопасности и маршрутизации. Процесс же администрирования сети станет значительно упрощенным, чем в ныне существующих сетях.

Проведенные тестирования сети SDN показали, что выбор такой технологии позволит ИТ-компаниям и другим корпорациям повысить эффективность сетевых устройств примерно на 30 % и настолько же понизить затраты, ранее шедшие на обслуживание и бесперебойную эксплуатацию оборудования. Повысится и безопасность такой сети, вирусные пакеты в SDN выявляются и оперативно устраняются операторами.

## Литература

1. Vaughan-Nichols, S. J. OpenFlow: The Next Generation of the Network? [Текст] / S. J. Vaughan-Nichols // Computer. — 2011. — Vol. 44, № 8. — P. 13–15. doi:10.1109/mc.2011.250
2. Ефимушкин, В. А. Международная стандартизация программно-конфигурируемых сетей [Текст] / В. А. Ефимушкин, Т. В. Дедовских // Электросвязь. — 2014. — № 8. — С. 3–9.
3. Бакланов, И. Г. Современный рынок измерительной техники: состояние, тенденции и решения [Текст] / И. Г. Бакланов // Вестник связи. — 2000. — № 8. — С. 21–24.
4. Барсков, А. Г. SDN: от восхода до заката [Текст] / А. Г. Барсков // Сети и системы связи. — 2000. — № 10 (60). — С. 84–87.
5. Барсков, А. Г. Анализаторы SDN идут в массы [Текст] / А. Г. Барсков // Сети и системы связи. — 2001. — № 5(69). — С. 64–70.
6. Tootoonchian, A. HyperFlow: A Distributed Control Plane for OpenFlow [Text] / A. Tootoonchian, Y. Ganjali // INM/WREN'10 Proceedings of the 2010 internet network management conference on Research on enterprise networking. — CA, USA: USENIX Association Berkeley, 2010. — P. 3.
7. Яцки, А. Управление транспортными сетями. Единое и программно-конфигурируемое? [Текст] / А. Яцки // Мобильные телекоммуникации. — 2014. — № 3. — С. 1–4.
8. McKeown, N. Openflow: Enabling innovation in campus networks [Text] / N. McKeown, T. Anderson, H. Balakrishnan, G. Parulkar, L. Peterson, J. Rexford, S. Shenker, J. Turner // ACM SIGCOMM Computer Communication Review. — 2008. — Vol. 38, № 2. — P. 69–74. doi:10.1145/1355734.1355746
9. Леонтьев, А. Сеть без пробок [Текст] / А. Леонтьев // Инновации. — 2012. — № 44. — С. 18–19.
10. Коломеец, А. Е. Программно-конфигурируемые сети на базе протокола OpenFlow [Текст] / А. Е. Коломеец, Л. В. Сурков // Инженерный вестник. — 2014. — № 5. — С. 518–525.

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНОЇ МЕРЕЖІ НА БАЗІ ПРОТОКОЛУ OPENFLOW

У роботі показано безперечні переваги використання мереж, що програмно-конфігурувалися, а також їх взаємовідної експлуатації на базі сучасного протоколу OpenFlow. Для цього були відмічені принципи роботи стандарту, особливості функціонування комутаторів OpenFlow, позначені вигоди та переваги використання такої технології для подальшого розвитку телекомунікаційних систем.

**Ключові слова:** телекомунікаційна мережа, протокол OpenFlow, пропускна спроможність, завантаженість каналів, комутатори OpenFlow.

*Коляденко Юлия Юрьевна, доктор технических наук, профессор, кафедра телекоммуникационных систем, Харьковский национальный институт радиоэлектроники, Украина.*

*Белоусова Екатерина Эдуардовна, аспирант, кафедра телекоммуникационных систем, Харьковский национальный институт радиоэлектроники, Украина, e-mail: katrinmj@mail.ru.*

*Коляденко Юлия Юрьевна, доктор технических наук, профессор, кафедра телекоммуникационных систем, Харьковский национальный институт радиоэлектроники, Украина.*

*Білоусова Катерина Едуардівна, аспірант, кафедра телекомунікаційних систем, Харківський національний інститут радіоелектроніки, Україна.*

*Kolyadenko Yulia, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine.*

*Belousova Katerina, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, e-mail: katrinmj@mail.ru*

УДК 004.75

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.66441

**Грудзинський Ю. Є.,  
Марков Р. В.**

## **ВИБІР ПРОТОКОЛУ СЕРІАЛІЗАЦІЇ ПРИ РОЗРОБЦІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

*В даній статті розглянуто сучасні протоколи серіалізації даних XML, JSON, упакування в бінарний вигляд, Protobuf та представлення даних у вигляді рядків. Проведено аналіз даних способів серіалізації даних для подальшого використання в розробці програмного забезпечення. Описано основні переваги та недоліки вище вказаних протоколів серіалізації. Зроблено висновки про доцільність використання кожного з них.*

**Ключові слова:** протокол, XML, JSON, Protobuf, серіалізація, парсинг, пакування, бінарний.

### **1. Вступ**

На сьогоднішній день доволі актуальною задачею при створенні програмних засобів сучасних автоматизованих систем є задача забезпечення перетворення різноманітних внутрішніх об'єктів системи в ефективний, наглядний та надійний вид, що забезпечить швидкий обмін даними між елементами системи, які знаходяться у різних місцях.

Серіалізація — це процес переведення будь-якої структури даних в послідовність бітів. Зворотню до операції серіалізації є операція десеріалізації (структуризації) — відновлення початкового стану структури даних з бітової послідовності. Ця послідовність може бути як бінарним представленням цих даних, так і текстовим [1]. Для серіалізації даних обміну може використовуватись декілька протоколів. У даній роботі проведено аналіз різноманітних протоколів серіалізації даних та зроблено висновки про доцільність їх використання у різних сферах програмної індустрії.

### **2. Аналіз літературних джерел і постановка проблеми**

На сьогодні таких протоколів безліч, але найбільш популярними із них є XML, JSON, Protobuf, представлення даних у вигляді рядків та бінарне перетворення [1]. Кожен із розробників відповідного протоколу говорить лише про переваги та не дає ніякої інформації на рахунок недоліків свого протоколу у порівнянні із іншими [2–7]. Тому на практиці, при розробці будь-якого програмного забезпечення, постає проблема із вибором конкретного протоколу, що буде використовуватись при написанні програмного забезпечення.

Багато статей описують переваги та недоліки деяких популярних протоколів серіалізації даних при їх порівнянні з іншими, але зазвичай ці порівняння проводяться при розробці конкретного програмного забезпечення, для якого було заздалегідь вибрано той чи інший протокол для порівняння [8, 9], що не є коректним.

Вирішити проблему вибору протоколу серіалізації для розробки довільного програмного забезпечення можна лише після аналізу основних переваг та недоліків існуючих протоколів та визначення рекомендованих сфер їх застосування, після чого у програміста значно зменшиться кількість питань по вибору протоколу для конкретного випадку.

У роботах іноземних авторів зроблена спроба виконати такі порівняння, але тільки між окремими протоколами [10], чи з менш поширеними у нас протоколами BSON, XML with .NET [11]. Дана ж робота порівнює найбільш поширені на вітчизняних теренах протоколи серіалізації, з якими стикається найбільша кількість вітчизняних розробників програмових засобів.

### **3. Об'єкт, мета та задачі дослідження**

Об'єктом дослідження цієї статті є протоколи серіалізації даних для переведення довільної структури інформаційних об'єктів програмного забезпечення у послідовність бітів, призначених для подальшого зберігання інформації та обміну нею між самими об'єктами автоматизованої системи, чи по каналах зв'язку.

Проведені дослідження ставили за мету визначити особливості існуючих протоколів серіалізації, їх переваги та недоліки, а також можливі області застосування програмного забезпечення, написаного з використанням даних протоколів.