

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 1 (2021)

Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/OGVZ5983>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

***А. В. Бак, Э. М. Лещинская**

Алматинский университет энергетики и связи,
г. Алматы, Республика Казахстан

ПРОТОКОЛ OPENFLOW В ПРОГРАММНО- КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЯХ

На сегодняшний день самым распространенным решением для реализации управления сетевых устройств в программно-конфигурируемых сетях является протокол OpenFlow. OpenFlow – это протокол взаимодействия между сетевыми устройствами, такими как коммутаторы и маршрутизаторы, и централизованным контроллером, который представляет собой сетевую операционную систему, установленную на выделенном физическом сервере, в программно-конфигурируемой сети. Такое управление может заменить или дополнить работающую на сетевом устройстве функцию, осуществляющую построение маршрутов, создание таблицы коммутации и т.д.

В статье рассмотрена концепция создания программно-конфигурируемых сетей, показано их значение в развитии сетевых технологий. Выполнен анализ работы протокола OpenFlow в сети SDN. Представлен процесс управления программно-конфигурируемой сетью, созданной в Mininet, и подключенной к контроллеру OpenDaylight. Проанализирован трафик, передаваемый в результате взаимодействия контроллера и OpenFlow-коммутатора. Для исследования процесса обмена трафиком между узлами сети был использован анализатор сетевых пакетов Wireshark.

Ключевые слова: программно-конфигурируемые сети, сеть SDN, протокол OpenFlow, протоколы связи, анализатор сетевых пакетов.

Введение

Традиционная архитектура сетей передачи данных требует существенных инвестиций для обеспечения потребностей по передаче растущих объемов трафика и подключения к сети все большего числа устройств. Сложность в обслуживании таких сетей сочетается зачастую с неполной совместимостью сетевых решений, что ведет за собой зависимость от

производителей оборудования. Несоответствие потребностей клиентов и предлагаемых на рынке решений привело к появлению новой концепции построения и организации работы сетей передачи данных – программно-конфигурируемым сетям (Software Defined Network, SDN). Разработан открытый стандарт протокола связи OpenFlow, который позволяет плоскости управления отключаться и взаимодействовать с плоскостью пересылки устройств из некоторой центральной точки, разделяя роли для повышения функциональности и программируемости [1, 2].

Основным отличием архитектуры сети SDN от традиционной является разделение плоскости управления и плоскости данных (рисунок 1). Традиционная сеть состоит из множества маршрутизаторов и коммутаторов, каждый из которых обменивается табличной информацией для построения топологий. Каждое из этих сетевых устройств имеет собственную индивидуальную плоскость для управления и контроля потоков данных в сети, управления маршрутами и алгоритмами маршрутизации, определения расположения различных устройств в сети. Также каждое сетевое устройство имеет собственную плоскость передачи для пересылки пакетов [3].

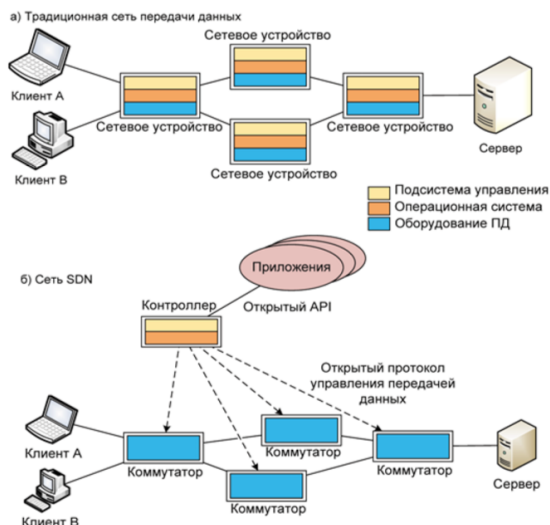


Рисунок 1 – Структура традиционной сети передачи данных и сети SDN

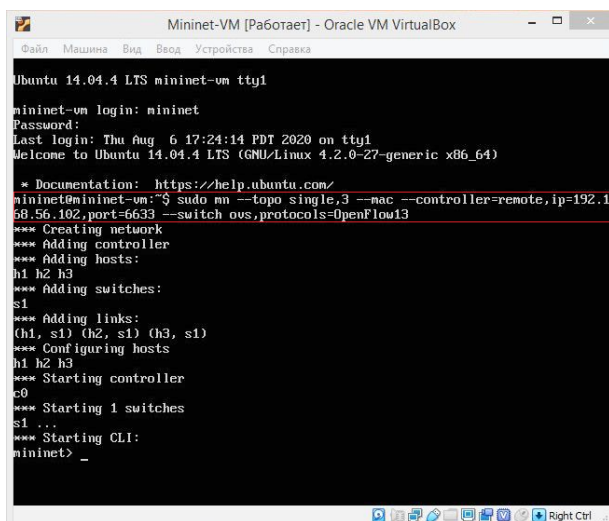
В SDN управление сетью реализовано в программном модуле, называемом контроллером, который реализует такие задачи, как построение маршрутов и принятие решений об обработке того или иного вида трафика. Каждый коммутатор поддерживающий протокол OpenFlow устанавливает с контроллером

свой управляющий канал, по которому получает инструкции по обработке трафика и запрашивает у контроллера, что делать с трафиком, который не подходит ни по одно правило в таблице потоков. Коммутатор имеет по крайне мере 1 таблицу потоков и набор записей потоков в этой таблице. Эти записи потока содержат поля совпадений, счетчики и инструкции для применения к совпадающим пакетам. Если соответствующая запись найдена, выполняются инструкции, связанные с конкретной записью потока. Если совпадения в таблице потоков не обнаружено, результат зависит от конфигурации записи потока для пропуска таблицы (это может быть действие «отбросить пакет», «передать в другую таблицу потоков» или отправить его на контроллер) [4, 5].

Материалы и методы

Для анализа работы протокола OpenFlow были использованы две виртуальные машины в программе VirtualBox. Одна запускает эмулированную сеть в Mininet, а другая - контроллер OpenDaylight.

В виртуальной машине Mininet была создана сеть из одного коммутатора Open vSwitch, который поддерживает протокол OpenFlow (ip адрес 192.168.56.101) и трех подключенных к нему хостов под управлением контроллера OpenDaylight (ip адрес 192.168.56.102), в результате ввода команды, приведенной на рисунке 2.



```
Mininet-VM [Работает] - Oracle VM VirtualBox
Файл  Машина  Вид  Ввод  Устройства  Справка
Ubuntu 14.04.4 LTS mininet-vm tty1
mininet-vm login: mininet
Password:
Last login: Thu Aug 6 17:24:14 PDT 2020 on tty1
Welcome to Ubuntu 14.04.4 LTS (GNU/Linux 4.2.0-27-generic x86_64)

 * Documentation:  https://help.ubuntu.com/
mininet@mininet-vm:~$ sudo mn --topo single,3 --nac --controller=remote,ip=192.168.56.102,port=6633 --switch ovs,protocols=OpenFlow13
*** Creating network
*** Adding controller
*** Adding hosts:
h1 h2 h3
*** Adding switches:
s1
*** Adding links:
(h1, s1) (h2, s1) (h3, s1)
*** Configuring hosts
h1 h2 h3
*** Starting controller
c0
*** Starting 1 switches
s1 ...
*** Starting CLI:
mininet> _
```

Рисунок 2 – Создание сети

Сгенерированную в Mininet топологию сети можно отобразить в графическом интерфейсе контроллера OpenDaylight (рисунок 3).

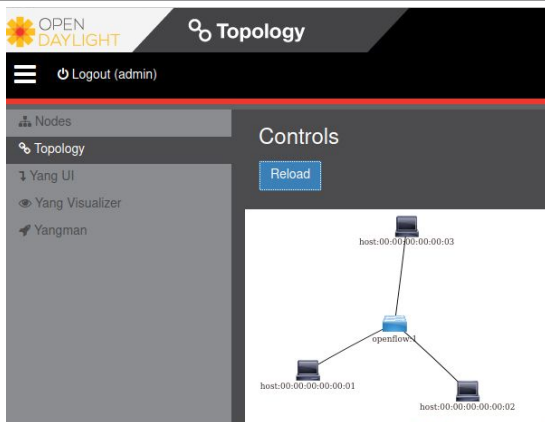


Рисунок 3 – Вкладка Topology в контроллере OpenDaylight

Для исследования процесса обмена трафиком между узлами сети был использован анализатор сетевых пакетов Wireshark. Wireshark позволяет перехватывать и распознавать сообщения протокола OpenFlow. Также сетевой анализатор может определить структуру сообщения и передаваемые в нем данные.

Результаты и обсуждение

На рисунке 4 видно, что первый пойманный пакет – это сообщение HELLO, отправленное от коммутатора (192.168.56.101) к контроллеру (192.168.56.102). Он используется для согласования версии протокола OpenFlow. Это инициализация канала OpenFlow, который является каналом данных для протокола OpenFlow между контроллером и коммутатором.

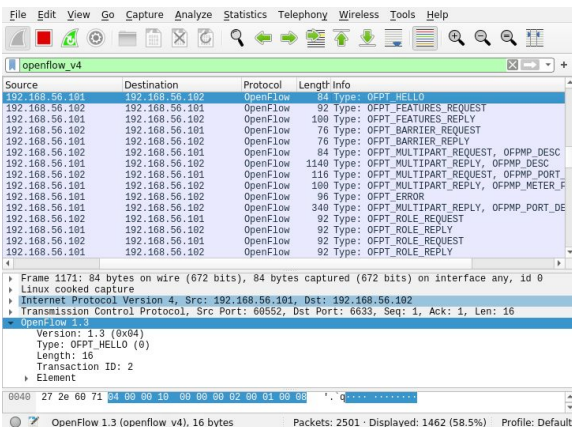


Рисунок 4 – Фильтрация пакетов OpenFlow

Следующее сообщение OFPT_FEATURES_REQUEST – от контроллера к коммутатору. Когда между коммутатором и контроллером устанавливается транспортный канал OpenFlow, первое действие – определение функций коммутатора.

OFPT_FEATURES_REPLY – ответ коммутатора контроллеру с перечислением его возможностей (рисунок 5). Datapath-id – 64-битное поле, которое следует рассматривать как аналог MAC-адреса моста Ethernet-коммутаторов, его уникальный идентификатор для конкретного управляемого конвейера обработки пакетов. Поле n_buffers определяет, сколько пакетов коммутатор может поставить в очередь для действий PacketIn (захват и пересылка на контроллер). Количество таблиц в коммутаторе фиксируется n_tables. Capabilities показывает, какие возможности поддерживаются коммутатором.

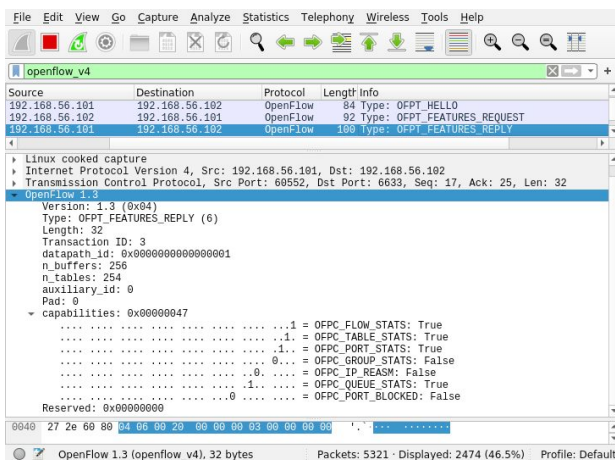


Рисунок 5 – Сообщение OFPT_FEATURES_REPLY

Контроллер может запросить у коммутатора состояние по каналу OpenFlow с помощью сообщения OFPT_MULTIPART_REQUEST. Типы сообщений, обрабатываемые OFPT_MULTIPART_REQUEST, включают различную статистику (FLOW / TABLE / PORT / QUEUE / METER и т.д.) или функции описания (METER_CONFIG / TABLE_FEATURES / PORT_DESC и т.д.).

Сообщение PacketIn - это способ для коммутатора отправить захваченный пакет контроллеру. Это может произойти из-за явного действия в результате совпадения, запрашивающего такое поведение, или из-за пропуска таблицы. Был инициирован пинг с h1 на h2 в mininet (рисунок 6).

```

mininet> h1 ping h2
PING 10.0.0.2 (10.0.0.2) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.489 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.062 ms
^C
--- 10.0.0.2 ping statistics ---
2 packets transmitted, 2 received, 0% packet loss, time 1000ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.062/0.275/0.489/0.214 ms

```

Рисунок 6 – Пинг с h1 на h2

На рисунке 7 показан вывод сообщения PACKET_IN от коммутатора к контроллеру, потому что h1 еще не знает, как добраться до h2. Это сообщение ARP, инкапсулированное OpenFlow через TCP.

The screenshot shows a Wireshark capture of an OpenFlow packet. The packet list pane shows a packet of type OFPT_PACKET_IN with length 208. The packet details pane shows the following structure:

- Total length: 42
- Reason: OFPR_ACTION (1)
- Table ID: 0
- Cookie: 0x2b00000000000001
- Match
- Pad: 0000
- Data
 - Ethernet II, Src: 00:00:00:00:00:01 (00:00:00:00:00:01), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
 - Address Resolution Protocol (request) ← (highlighted with a red arrow)
 - Hardware type: Ethernet (1)
 - Protocol type: IPv4 (0x0800)
 - Hardware size: 6
 - Protocol size: 4
 - Opcode: request (1)
 - Sender MAC address: 00:00:00:00:00:01 (00:00:00:00:00:01)
 - Sender IP address: 10.0.0.1
 - Target MAC address: 00:00:00:00:00:00 (00:00:00:00:00:00)
 - Target IP address: 10.0.0.2

The packet bytes pane shows the raw data in hexadecimal and ASCII:

```

0000 00 00 00 01 00 06 08 00 27 3f 68 09 00 00 08 00  ..-....?h....
0010 45 c0 00 88 ae 78 40 00 40 06 99 1b c0 a8 38 65  E...x0@...8e
0020 c0 a8 38 66 b8 5a 19 e9 e5 5e 44 c3 3b bd 6a 83  -8FZ...M.;j

```

Рисунок 7 – ARP запрос от h1 к h2

Следующий пакет - это ответ ARP от h2 (рисунок 8).

```

▶ Ethernet II, Src: 00:00:00_00:00:02 (00:00:00:00:00:02), Dst: 00:00:00_00:00:01 (00:00:00:00:00:01)
▼ Address Resolution Protocol (reply) ← (highlighted with a red arrow)
  Hardware type: Ethernet (1)
  Protocol type: IPv4 (0x0800)
  Hardware size: 6
  Protocol size: 4
  Opcode: reply (2)
  Sender MAC address: 00:00:00_00:00:02 (00:00:00:00:00:02)
  Sender IP address: 10.0.0.2
  Target MAC address: 00:00:00_00:00:01 (00:00:00:00:00:01)
  Target IP address: 10.0.0.1

```

Рисунок 8 – ARP ответ от h2

За ним следует эхо ICMP (рисунок 9).


```
Ethernet II, Src: 00:00:00_00:00:01 (00:00:00:00:00:01), Dst: 00:00:00_00:00:02 (00:00:00:00:00:02)
Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.0.1, Dst: 10.0.0.2
Internet Control Message Protocol
  Type: 8 (Echo (ping) request)
  Code: 0
  Checksum: 0x5979 [correct]
  [Checksum Status: Good]
  Identifier (BE): 1656 (0x0678)
  Identifier (LE): 30726 (0x7806)
  Sequence number (BE): 1 (0x0001)
  Sequence number (LE): 256 (0x0100)
  [Response frame: 1490]
  Timestamp from icmp data: Jan 15, 2021 10:59:22.000000000 +06
  [Timestamp from icmp data (relative): -50383.528887194 seconds]
```

Рисунок 9 – ICMP запрос

Эхо ответ приведен на рисунке 10.

```
Ethernet II, Src: 00:00:00_00:00:02 (00:00:00:00:00:02), Dst: 00:00:00_00:00:01 (00:00:00:00:00:01)
Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.0.2, Dst: 10.0.0.1
Internet Control Message Protocol
  Type: 0 (Echo (ping) reply)
  Code: 0
  Checksum: 0x6179 [correct]
  [Checksum Status: Good]
  Identifier (BE): 1656 (0x0678)
  Identifier (LE): 30726 (0x7806)
  Sequence number (BE): 1 (0x0001)
  Sequence number (LE): 256 (0x0100)
  [Request frame: 1488]
  [Response time: 1,248 ms]
  Timestamp from icmp data: Jan 15, 2021 10:59:22.000000000 +06
  [Timestamp from icmp data (relative): -50383.527639545 seconds]
```

Рисунок 10 – ICMP ответ

Выводы

В ходе исследования было изучено взаимодействие контроллера и коммутатора по каналу OpenFlow, который является каналом данных для протокола OpenFlow. С помощью Wireshark изучены сообщения протокола OpenFlow, используемые при взаимодействии коммутатора и контроллера.

Преимущества, которые дает концепция SDN – это централизованное управление, мониторинг и сбор статистики в мультивендорной среде, независимость от технологий конкретного производителя, упрощение модернизации и обслуживания сети.

Результаты исследования показали, что использование программно-конфигурируемых сетей с протоколом OpenFlow является современным, актуальным и перспективным решением вопроса об эффективности и производительности существующих сетей.

Список использованных источников

1 **Fei Hu**. Network Innovation through OpenFlow and SDN. Principles and Design [Text]. February 2014. – 520 p.

2 **Thomas, D.** Nadeau and Ken Gray. SDN Software Defined Networks. [Text] September 2013. – 384 p.

3 **Гольдштейн, Б. С., Елагин, В. С., Зарубин, А. А.** Программно-конфигурируемые сети SDN. Протокол OpenFlow. [Text] СПбГУТ, 2018. – 18–20 с.

4 **Siamak Azodolmolky.** Software Defined Networking with OpenFlow. [Text]. October 2013. – 152 p.

5 Спецификация коммутатора OpenFlow – Март 26, 2015. [Электронный ресурс]. <https://www.opennetworking.org/wp-content/uploads/2014/10/openflow-switch-v1.5.1.pdf>. – P. 18–30.

6 Mininet документация. 13 декабря 2019. [Электронный ресурс]. – <http://mininet.org>.

7 Сайт проекта OpenDaylight. [Электронный ресурс]. – <https://www.opendaylight.org>.

References

1 **Fei Hu.** Network Innovation through OpenFlow and SDN. Principles and Design. [Text]. February 2014. – 520 p.

2 **Thomas, D.** Nadeau and Ken Gray. SDN Software Defined Networks. [Text] September 2013. – 384 p.

3 **Goldstein, B. S., Elagin, V. S., Zarubin, A. A.** Программно-конфигурируемые сети SDN. Протокол OpenFlow.

4 **Siamak Azodolmolky.** Software Defined Networking with OpenFlow. [Text]. October 2013. – 152 p.

5 Спецификация коммутатора OpenFlow – March 26, 2015. [Electronic resource]. – <https://www.opennetworking.org/wp-content/uploads/2014/10/openflow-switch-v1.5.1.pdf>. – P. 18–30.

6 Mininet dokumentaciya. 13 Dec. 2019. [Electronic resource]. – <http://mininet.org>.

7 Sajt proekta OpenDaylight. [Electronic resource]. – <https://www.opendaylight.org>.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

А. В. Бак, Э. М. Лещинская

Бағдарламалық-конфигурацияланатын желілердегі OpenFlow хаттамасы

Алматы энергетика және байланыс университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.,
Материал 19.03.21 баспаға түсті.

A. V. Bak, E. M. Leshchinskaya

OpenFlow protocol in software defined networks

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications,
Republic of Kazakhstan, Almaty,.
Material received on 19.03.21.

Бүгінгі күні бағдарламалық-конфигурацияланатын желілердегі желілік құрылыстарды басқаруды жүзеге асыру үшін ең көп таралған шешім болып OpenFlow хаттамасы табылады. OpenFlow – бұл коммутатор мен маршрутизатор сияқты желілік құрылыстардың және бағдарламалық-конфигурацияланатын желіде, бөліп берілген заттай серверде орнатылған, операциялық жүйе болып табылатын орталықтандырылған контроллер арасындағы өзара әрекеттесу хаттамасы. Мұндай басқару желілік құрылыста жұмыс істейтін, бағдар жасауды, коммутация кестесін жасауды және т.б. жүзеге асыратын функцияны алмастыра немесе толықтыра алады.

Мақалада бағдарламалық-конфигурацияланатын желіні жасау концепциясы қарастырылған, желілік технологиялардың дамуындағы олардың маңыздылығы көрсетілген. SDN желісіндегі OpenFlow хаттамасының жұмысына талдау жасалған. Mininet-те жасалған және OpenDaylight контроллеріне қосылған бағдарламалық-конфигурацияланатын желіні басқару үдерісі көрсетілген. Контроллер мен OpenFlow-коммутатордың өзара әрекеттесуі нәтижесінде берілетін трафик талданды. Трафик алмасу үдерісін зерттеу үшін желі тораптарының арасында Wireshark желілік дестелердің талдағышы қолданылды.

Кілтті сөздер: бағдарламалық-конфигурацияланатын желілер, SDN, OpenFlow хаттамасы, байланыс хаттамалары, желілік дестелердің талдағышы.

Today, the most common solution to control the network devices in software-defined networks is the OpenFlow protocol. OpenFlow is a protocol for communication between network devices such as switches and routers and a centralized controller, which is a network operating system installed on a dedicated physical server in a software-defined network. This control can replace or supplement the function running on the network device for building of routes, creating a switching table, etc.

The article discusses the concept of software-defined networks creation, shows their importance in the development of network technologies. The analysis of the operation of the OpenFlow protocol in the SDN network is

carried out. The process of a software-defined network management created in Mininet and connected to an OpenDaylight controller is presented. The traffic transmitted as a result of interaction between the controller and the OpenFlow switch has been analyzed. To study the process of traffic exchanging between network nodes, the Wireshark network packet analyzer was used.

Keywords: software-defined networks, SDN, OpenFlow protocol, communication protocols, network packet analyzer.

Теруге 19.03.2021 ж. жіберілді. Басуға 29.03.2021 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

17,4 Мб RAM

Шартты баспа табағы 21,0. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Шукурбаева

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3746

Сдано в набор 19.03.2021 г. Подписано в печать 29.03.2021 г.

Электронное издание

17,4 Мб RAM

Усл. печ. л. 21,0. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Шукурбаева

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3746

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

8 (7182) 67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik.tou.edu.kz