

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Факультет вычислительной математики и кибернетики

УТВЕРЖДАЮ  
декан факультета  
вычислительной математики и кибернетики  
И.А. Соколов /  
2021г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины:**

---

**Основы программно-конфигурируемых сетей**

**Уровень высшего образования:**

**магистратура**

**Направление подготовки / специальность:**

**01.04.02 "Прикладная математика и информатика" (3++)**

**Направленность (профиль) ОПОП:**

**Перспективные методы искусственного интеллекта  
в сетях передачи и обработки данных**

**Форма обучения:**

**очная**

Рабочая программа рассмотрена и утверждена  
на заседании Ученого совета факультета ВМК  
(протокол № 4, от 29 сентября 2021 года)

Москва 2021

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 01.04.02 "Прикладная математика и информатика" утвержденного Приказом Министерства образования и науки РФ от 10 января 2018 г. N 13.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО:

дисциплина относится к элективной части ОПОП ВО.

Дисциплина входит в магистерскую образовательную программу «Перспективные методы искусственного интеллекта в сетях передачи и обработки данных» как дисциплина по выбору, изучается в 2-м семестре.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть):

Изучение дисциплины базируется на освоении знаний по дискретной математике, компьютерным сетям, системам программирования в объеме, соответствующем основным образовательным программам бакалавриата по укрупненной группе направлений и специальностей 02.00.00 «Компьютерные и информационные науки» и другим направлениям подготовки бакалавриата.

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю):

<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)</b>		
<b>Формируемые компетенции (код и наименование компетенции)</b>	<b>Индикаторы достижения компетенций (код и наименование индикатора)</b>	<b>Результаты обучения (знания, умения)</b>
ОПК-4. Способен комбинировать и адаптировать существующие информационно-коммуникационные технологии для решения задач в области профессиональной деятельности с учетом требований информационной безопасности	ОПК-4.1. Адаптирует известные научные принципы и методы исследований с целью их практического применения ОПК-4.2. Решает профессиональные задачи на основе применения новых научных принципов и методов исследования ОПК-4.3. Использует современные подходы к верификации ПО в профессиональной деятельности с учетом требований информационной безопасности	ОПК-4.2. З-1. Знает особенности модернизации программного и аппаратного обеспечения информационных и автоматизированных систем для решения профессиональных задач ОПК-4.2. У-1. Умеет модернизировать программное и аппаратное обеспечение информационных и автоматизированных систем для решения профессиональных задач ОПК-4.3. З-1. Знает особенности процессного подхода к управлению информационными системами и системами искусственного интеллекта; системы управления качеством ОПК-4.3. У-1. Умеет применять системы управления качеством ОПК-4.4. З-1. Знает методологию и технологию проектирования информационных систем

		<p>ОПК-4.4. У-1. Умеет обосновывать архитектуру информационных систем и систем искусственного интеллекта</p> <p>ОПК-4.5. З-1. Знает особенности управления проектами по созданию (модификации) программного обеспечения на всех стадиях жизненного цикла,</p> <p>ОПК-4.5. У-1. Умеет оценивать эффективность и качество проекта; применять современные методы управления проектами и сервисами информационных систем и систем искусственного интеллекта</p> <p>ОПК-4.6. З-1. Знает инновационные подходы к проектированию информационных систем и систем искусственного интеллекта</p> <p>ОПК-4.6. У-1. Умеет принимать решения по информатизации предприятий в условиях неопределенности</p> <p>ОПК-4.7. З-1. Знает особенности процессного подхода, принципы реинжиниринга прикладных и информационных процессов</p> <p>ОПК-4.7. У-1. Умеет проводить реинжиниринг прикладных и информационных процессов</p>
--	--	--

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 3з.е., в том числе 72 академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем – 36 академических часа занятий лекционного типа, 36 академических часа занятий практического типа. 36 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий:

5.1. Структура дисциплины (модуля) по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий (в строгом соответствии с учебным планом)

Наименование разделов и тем дисциплины (модуля),  Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Номинальные трудозатраты обучающегося			Всего академических часов	Форма текущего контроля успеваемости* (наименование)
	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, академические часы		Самостоятельная работа обучающегося, академические часы		
	Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа			
Тема 1. Основы концепции SDN сетей	2	2	2	6	опрос
Тема 2. Протокол OpenFlow и архитектура OpenFlow коммутатора	2	2	2	6	опрос
Тема 3. SDN коммутаторы	2	2	2	6	опрос
Тема 4. Сетевая операционная система и SDN/OpenFlow контроллеры	4	4	4	12	опрос
Тема 5. Приложения для SDN контроллеров.	2	2	2	6	опрос
Тема 6. Контроллер RYUNOS 2.0 и разработка приложений	2	2	2	6	опрос
Тема 7. Протокол NETCONF и язык моделирования YANG	2	2	2	6	опрос
Тема 8. Протокол PCEP. Протокол OVSDDB	2	2	2	6	опрос
Тема 9. Протокол POF. Протокол P4	2	2	2	6	опрос
Тема 10. Сетевые гипервизоры	4	4	4	12	опрос
Тема 11. Средства мониторинга, отладки и тестирования для SDN сетей	2	2	2	6	опрос

Тема 12. Применение SDN в корпоративных сетях	2	2	2	6	опрос
Тема 13. Применение SDN в центрах обработки данных	2	2	2	6	опрос
Тема 14. Применение SDN в сетях операторов связи. Применение SDN в домашних сетях	2	2	2	6	опрос
Тема 15. Технологии SDN и NFV	2	2	2	6	опрос
Тема 16. Применение методов искусственного интеллекта для управления SDN сетями	2	2	2	6	опрос
Другие виды самостоятельной работы (отсутствуют)	—	—			—
Промежуточная аттестация (экзамен)					
<b>Итого</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>108</b>	—

## 5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплин
1.	Тема 1. Основы концепции SDN сетей	Основные понятия. Архитектура OpenFlow коммутатора. Классификация OpenFlow коммутаторов. Версии протокола OpenFlow и история развития. Протокол OpenFlow 1.3, основные типы сообщений. Виды организации управления OpenFlow коммутаторами.
2.	Тема 2. Протокол OpenFlow и архитектура OpenFlow коммутатора	Основные понятия. Архитектура OpenFlow коммутатора. Классификация OpenFlow коммутаторов. Версии протокола OpenFlow и история развития. Протокол OpenFlow 1.3, основные типы сообщений. Виды организации управления OpenFlow коммутаторами.
3.	Тема 3. SDN коммутаторы	Существующие программные и аппаратные коммутаторы. Архитектура коммутатора, сетевые процессоры. Программные и аппаратные коммутаторы. Способы формирования правил для коммутатора. Аппаратные абстракции. BigSwitch. OpenFlow DataPlane Abstraction (OF-DPA). Среда Mininet для проведения экспериментов. Коммутатор OpenVSwitch.
4.	Тема 4. Сетевая операционная система и SDN/OpenFlow контроллеры	Архитектура контроллера. Классификация контроллеров. Различия и особенности реализации контроллеров. Режимы работы контроллеров. Основные количественные характеристики производительности

№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплин
		контроллеров. Open source проекты SDN/OpenFlow контроллеров. Коммерческие SDN/OpenFlow контроллеры.
5.	Тема 5. Приложения для SDN контроллеров.	Базовые приложения: приложение построение топологии, приложения L2 learning switch, приложения маршрутизации. Классификация приложений. Особенности разработки приложений для контроллера, композиция приложений и разрешение конфликтов. Maple.
6.	Тема 6. Контроллер RUNOS 2.0 и разработка приложений	История RUNOS. Архитектура контроллера RUNOS 2.0. Особенности реализации. Существующие приложения для контроллера RUNOS 2.0. Особенности разработки приложений для контроллера RUNOS 2.0 Языки описаний облачных приложений (TOSCA, HOT)
7.	Тема 7. Протокол NETCONF и язык моделирования YANG	Протокол NETCONF и язык моделирования YANG. Протокол SNMP и его недостатки. Сравнение протоколов SNMP и NETCONF. Уровни в NETCONF. IETF стандарты NETCONF. Возможности протокола NETCONF. Язык моделирования YANG. Модели данных в языке YANG. Язык YANG в контексте NETCONF. Типы данных и основные операторы в языке YANG.
8.	Тема 8. Протокол PCEP. Протокол OVSDB	Протокол PCEP. Основные понятия. Использование PCEP в SDN сетях. Основные типы сообщений. Сравнение PCEP и OpenFlow. Протокол OVSDB. Основные понятия. Использование OVSDB в SDN сетях. Основные типы сообщений и основные методы. Достоинства и недостатки OVSDB. Сравнение OVSDB и OpenFlow.
9.	Тема 9. Протокол POF. Протокол P4	Протокол POF. Основные понятия. Идея протокола POF. Основные типы сообщений протокола POF. Сравнение протокола POF и OpenFlow. Варианты применения протокола POF. Язык программирования P4. Преимущества языка P4. Развитие языка. Архитектурная модель. Архитектура коммутатора. Основные типы данных и операции.
10.	Тема 10. Сетевые гипервизоры	Понятие сетевого гипервизора. Обзор сетевых гипервизоров и их сравнение. Понятие слайса. Сетевой гипервизор FlowVisor и его возможности. Примеры использования сетевых гипервизоров. Понятие виртуальной сети. Особенности применения сетевых гипервизоров в центрах обработки данных.
11.	Тема 11. Средства мониторинга, отладки и тестирования для SDN сетей	Средства мониторинга для SDN сетей. Средства отладки и тестирования приложений контроллеров для SDN сетей.
12.	Тема 12. Применение SDN в корпоративных сетях	Применение SDN в корпоративных сетях. Причины использования SDN в корпоративных сетях. Примеры применения (BYOD, Wi-Fi роуминг, мониторинг и управление трафиком, управление политиками безопасности).



№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплин
		SD-WANсети. Достоинства и недостатки применения SDNв Корпоративных сетях.
13.	Тема 13. Применение SDN в центрах обработки данных	Применение SDN в центрах обработки данных. Типы центров обработки данных. Сетевая виртуализация в центрах обработки данных. Примеры применения SDNв центрах обработки данных, достоинства и недостатки. Способы повышения производительности SDN в центрах обработки данных.
14.	Тема 14. Применение SDN в сетях операторов связи. Применение SDN в домашних сетях	Примеры применения SDNв сетях операторов связи. Примеры применения SDN в домашних сетях.
15.	Тема 15. Технологии SDN и NFV	Введение в NFV. Проблемы современных Telecom операторов. Уровни развития технологии NFV и основные понятия. Архитектура NFV (ETSI). Возможности и сферы применения технологии NFV. Проблема производительности NFV сервисов. Технология Intel DPDK. Совместное использование технологий SDN и NFV.
16.	Тема 16. Применение методов искусственного интеллекта для управления SDN сетями	Применение методов машинного обучения для управления трафиком. Применение методов машинного обучения для прогнозирования нагрузки на контроллер. Применение методов машинного обучения для фильтрации данных и предотвращения DDoS атак в контуре передачи данных в SDN.

6. Фонд оценочных средств (ФОС, оценочные и методические материалы) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости, критерии и шкалы оценивания (в отсутствие утвержденных соответствующих локальных нормативных актов на факультете)

#### Вопросы к опросу

1. Привести краткое описание архитектуры SDN сети.
2. Привести описание основных уровней архитектуры SDN сети,
3. Привести описание архитектуры SDN сети, преимущества ее использования и возникающие проблемы.
4. Привести описание абстракции программируемого коммутатора,
5. Привести примеры SDN коммутаторов.
6. Привести описание протокола OpenFlow,.
7. Описать особенности функционирования OpenFlow коммутатора.
8. Классификация SDN контроллеров.
9. Привести примеры SDN контроллеров.
10. Привести принципы поиска и устранения ошибок в SDN сетях, примеры инструментальных средств
11. Политики маршрутизации в SDN, верификация SDN сетей.
12. Применение SDN в корпоративных сетях, центрах обработки данных, сетях операторов связи.
13. Применение SDN в беспроводных и домашних сетях.

6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине, критерии и шкалы оценивания

#### Вопросы к экзамену

1. Описать проблемы традиционных компьютерных сетей. Привести краткое описание архитектуры SDN сети.
2. Привести описание архитектуры SDN сети, основных уровней, описание задач, решаемых на каждом уровне.
3. Привести описание архитектуры SDN сети, преимущества ее использования и возникающие проблемы.
4. Привести описание абстракции программируемого коммутатора, привести примеры SDN коммутаторов.
5. Привести описание протокола OpenFlow, назначения, основных типов сообщений, принципа установления нового потока в SDN/OpenFlow сети.
6. Привести описание протокола OpenFlow, особенности функционирования OpenFlow коммутатора.
7. Сетевая операционная система для SDN: назначение и общая архитектура. Классификация SDN контроллеров.
8. Сетевая операционная система для SDN, основные характеристики производительности, примеры SDN контроллеров.
9. Сетевая операционная система: общая архитектура. SDN контроллер RUNOS.
10. Привести принципы поиска и устранения ошибок в SDN сетях, примеры инструментальных средств

11. Политики маршрутизации в SDN, верификация SDN сетей.
12. Применение SDN в корпоративных сетях, центрах обработки данных, сетях операторов связи.
13. Применение SDN в беспроводных и домашних сетях.
14. Проблемы и перспективы развития SDN.

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине</b>				
Оценка	2 (не зачтено)	3 (зачтено)	4 (зачтено)	5 (зачтено)
виды оценочных средств				
<b>Знания</b> <i>(виды оценочных средств: опрос, тесты)</i>	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
<b>Умения</b> <i>(виды оценочных средств: практические задания)</i>	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
<b>Навыки (владения, опыт деятельности)</b> <i>(виды оценочных средств: выполнение и защита курсовой работы, отчет по практике, отчет по НИР и т.п.)</i>	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

7. Ресурсное обеспечение:

7.1. Перечень основной и дополнительной литературы

Основная литература

1. Nick McKeown, Tom Anderson, Hari Balakrishnan, Guru Parulkar, Larry Peterson, Jennifer Rexford, Scott Shenker, Jonathan Turner. OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks, CCR, 2008.  
<https://web.archive.org/web/20170110130005/http://archive.openflow.org/documents/openflow-wp-latest.pdf>
2. Смелянский Р.Л. Программно-конфигурируемые сети // Открытые системы. №9. 2012. С. 15-26. <https://www.osp.ru/os/2012/09/13032491>
3. Open Networking Foundation. Software-Defined Networking: The New Norm for Networks // ONF White Paper, 2012.  
<http://opennetworking.wpengine.com/wp-content/uploads/2011/09/wp-sdn-newnorm.pdf>
4. Open Networking Foundation. SDN Architecture Issue 1.1. // ONF TR-521. 2016. [https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2014/10/TR-521\\_SDN\\_Architecture\\_issue\\_1.1.pdf](https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2014/10/TR-521_SDN_Architecture_issue_1.1.pdf)
5. Open Networking Foundation. OpenFlow Switch Specification Version 1.3.0 (wire protocol 0x04), 2012. <https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2014/10/openflow-spec-v1.3.0.pdf>
6. Kreutz D. et al. Software-defined networking: A comprehensive survey // Proceedings of the IEEE. – 2014. – Т. 103. – №. 1. – С. 14-76.  
<https://arxiv.org/pdf/1406.0440.pdf>
7. Network Configuration Protocol (NETCONF). RFC-6241. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc6241>
8. The P4 Language Consortium. P4 Language Specification // Version 1.2.2. 2021-05-17. <https://p4.org/p4-spec/docs/P4-16-v1.2.2.html>
9. Scott Shenker. The Future of Networking, and the Past of Protocols, 2011 (video). <https://www.youtube.com/watch?v=WVs7Pc99S7w>
10. Nick Feamster, Jennifer Rexford, Ellen Zegura. The Road to SDN, 2013.  
[https://dl.acm.org/ft\\_gateway.cfm?id=2560327&ftid=1418005&dwn=1](https://dl.acm.org/ft_gateway.cfm?id=2560327&ftid=1418005&dwn=1)
11. Open Networking Foundation. Relationship of SDN and NFV // Issue 1. 2015.  
[https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2014/10/onf2015.310\\_Architectural\\_comparison.08-2.pdf](https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2014/10/onf2015.310_Architectural_comparison.08-2.pdf)
12. ETSI GS NFV 002, “Network functions virtualization (NFV); architectural framework v1.1.1,” ETSI, Tech. Rep., October 2013.  
[http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gs/NFV/001\\_099/002/01.01.01\\_60/gs\\_NFV002v010101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV/001_099/002/01.01.01_60/gs_NFV002v010101p.pdf)

#### Дополнительная литература

1. Shalimov A. Zuikov, D., Zimarina, D., Pashkov, V., and Smeliansky, R. Advanced Study of SDN/OpenFlow Controllers // Proceedings of the 9th Central & Eastern European Software Engineering Conference in Russia. – 2013. – С. 1-6.
2. Pashkov V., Shalimov A., Smeliansky R. Controller Failover for SDN Enterprise Networks // The First International Science and Technology Conference (Modern Networking Technologies, MoNeTeC-2014). – IEEE, 2014. – С. 1-6.
3. Open Networking Foundation. Applying SDN Architecture to 5G Slicing. // Issue 1. 2016. [https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2014/10/Applying\\_SDN\\_Architecture\\_to\\_5G\\_Slicing\\_TR-526.pdf](https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2014/10/Applying_SDN_Architecture_to_5G_Slicing_TR-526.pdf)
4. Shalimov A. et al. The Runos OpenFlow Controller // Fourth European Workshop on Software Defined Networks (EWSDN), 2015. – IEEE, 2015. – С. 103-104.

7.2. Перечень лицензионного программного обеспечения, в том числе отечественного производства При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Операционная система Ubuntu 20.04.3 LTS Server (Desktop) и выше.
2. Программное обеспечение для виртуализации Oracle VM VirtualBox 6.1.30 и выше.
3. Операционная система Microsoft Windows 10 Education и выше (академическая лицензия).

7.3. Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. <http://www.edu.ru> – портал Министерства образования и науки РФ
2. <http://www.ict.edu.ru> – система федеральных образовательных порталов «ИКТ в образовании»
3. <http://www.openet.ru> - Российский портал открытого образования
4. <http://www.mon.gov.ru> - Министерство образования и науки Российской Федерации
5. <http://www.fasi.gov.ru> - Федеральное агентство по науке и инновациям

7.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. <https://asvk.cs.msu.su/sdn>
2. <https://www.sdxcentral.com/>
3. Open Networking Foundation. <https://opennetworking.org/>
4. P4 Open Source Programming Language. <https://p4.org/>
5. Mininet Emulator. <http://mininet.org/>
6. RUNOS 2.0 Controller. <https://github.com/ARCCN/runos>

7.5. Описание материально-технического обеспечения.

Образовательная организация, ответственная за реализацию данной Программы, располагает соответствующей материально-технической базой, включая современную вычислительную технику, объединенную в локальную вычислительную сеть, имеющую выход в Интернет. Используются специализированные компьютерные классы, оснащенные современным оборудованием. Материальная база соответствует действующим санитарно-техническим нормам и обеспечивает проведение всех видов занятий (лабораторной, практической, дисциплинарной и междисциплинарной подготовки) и научно-исследовательской работы обучающихся, предусмотренных учебным планом.

8. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в Общей характеристике ОПОП.

9. Разработчик (разработчики) программы.

ассистент, Пашков Василий Николаевич