

## КВАЛИФИКАЦИОННАЯ КАРТА ОРГАНИЗАЦИИ

**1. Наименование организации (полное и сокращенное):** федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", НИУ ВШЭ

### **2. Общие сведения об организации:**

**2.1. организационно-правовая форма (из Устава организации):** 75101 (Федеральные государственные автономные учреждения)

**2.2. форма собственности:** 12 (Федеральная собственность)

**2.3. ведомственная принадлежность (если таковая имеется):** Правительство Российской Федерации

### **3. Реквизиты организации:**

**3.1. ИНН:** 7714030726

**3.2. регион:** Москва

**3.3. адрес юридический:** Мясницкая, 20, Москва, 101000

**3.4. адрес фактический:** Мясницкая, 20, Москва, 101000

**4. Наименование темы научного исследования:** Исследование задачи покрытия транспортных и коммуникационных сетей

**5. Обеспеченность работ по научному исследованию:** Организация имеет необходимое оборудование, другие материальные и технологические возможности.

**6. Финансово-экономическое состояние организации на момент подачи заявки (в отношении организации не проводится процедура ликвидации, банкротства, деятельность не приостановлена, в реестре недобросовестных поставщиков сведения отсутствуют):** Организация имеет положительную репутацию, исполняет обязательства по уплате налогов в бюджеты всех уровней и обязательных платежей в государственные внебюджетные фонды, является платежеспособной, не находится в процессе ликвидации, банкротства, на её имущество не наложен арест и её экономическая деятельность не приостановлена.

### **7. Сведения о руководителе организации:**

**7.1. фамилия, имя, отчество:** Кузьминов Ярослав Иванович

**7.2. должность:** Ректор

**7.3. рабочий телефон:** 8(495)628-80-03

**7.4. адрес электронной почты:** hse@hse.ru

**7.5. ученая степень, ученое звание (при наличии):** кандидат экономических наук, доцент

**СВЕДЕНИЯ О СОИСКАТЕЛЕ ГРАНТА**

- 1. Фамилия, имя, отчество:** Гусев Василий Васильевич
- 2. Дата рождения:** 30.06.1991
- 3. Гражданство:** Российской Федерации
- 4. Домашний адрес:** 195271, г. Санкт-Петербург, Кондратьевский проспект, корпус 1, дом 70, кв. 1445
- 5. Мобильный телефон:** +7(962)729-62-61
- 6. Место работы:** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
- 7. Должность:** Научный сотрудник
- 8. Рабочий телефон:**
- 9. Адрес электронной почты:** vgusev@hse.ru
- 10. Ученая степень и год ее присуждения:** кандидат физико-математических наук, 2017
- 11. Информация о дипломе (номер диплома ВАК/PhD или дата и номер приказа о выдаче диплома):** КНД042947
- 12. Специальность:** 05.13.18
- 13. Тема диссертации:** Теоретико-игровые модели поиска и патрулирования на графах
- 14. Краткая аннотация диссертационного исследования:** Кандидатская работа посвящена нахождению равновесия в задачах поиска и патрулирования. В первой главе рассматривается матричная игра на графе "ищущий-прячущийся". Платёжная матрица может достигать больших размеров в зависимости от длины пути патрулирующего игрока. Найдены равновесные стратегии игроков и значение игры для разных видов графов. Во второй главе показана эффективность значения Шепли и Оуэна в кооперативной игре патрулирования. Найдены игры патрулирования, в которых значения Шепли и Оуэна совпадают. В третьей главе рассматривается многошаговая модель поиска двух подвижных объектов на графе. Составлено уравнение Беллмана для динамической задачи поиска. Найдены оптимальные вероятности переходов прячущихся игроков и равновесное распределение ресурсов искателя на каждом шаге.
- 15. Ученое звание:**

**16. Научный задел по заявленному научному исследованию, созданный соискателем гранта за 2018-2020 годы:**

**16.1. Участие в научных исследованиях за 2018-2020 годы: 0 (количество)**

№ п/п	Название проекта	Размер финансирования проекта (млн руб.) <sup>1</sup>	Источник финансирования <sup>2</sup>	Срок выполнения проекта (начало-окончание)	Роль в проекте (руководитель проекта, участник проекта)
-------	------------------	---	--------------------------------------	--	---

<sup>1</sup> Размер финансирования проекта в целом

<sup>2</sup> Государственные задания, бюджетные источники, в том числе из государственных фондов поддержки научной, научно-технической и инновационной деятельности, внебюджетные источники, иностранные источники

## 16.2. Научные публикации за 2018-2020 годы: 8 (количество)

### 16.2.1. Количество публикаций по типам:

- Монографии: 0
- Учебники, учебные пособия: 0
- Статьи: 5
- Тезисы докладов: 3
- Другие публикации: 0

### 16.2.2. Количество публикаций, индексируемых в WoS, Scopus, ERIH, РИНЦ:

- количество публикаций, индексируемых в международной информационно-аналитической системе научного цитирования Web of Science: 3
- количество публикаций, индексируемых в международной информационно-аналитической системе научного цитирования Scopus: 3
- количество публикаций, индексируемых в международной информационно-аналитической системе научного цитирования European Reference Index for the Humanities: 0
- количество публикаций в российских отраслевых научных изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий РИНЦ: 1

### 16.2.3. Перечень публикаций в Web of Science:

№ п/п	Название публикации	Авторы публикации	Наименование издания	Тип публикации	ISSN издания/ ISBN издательства	Год издания	Идентификатор публикации в WoS
1	Potential functions for finding stable coalition structures	Gusev, Vasily V.; Mazalov, Vladimir V.	OPERATIONS RESEARCH LETTERS	Article	0167-6377	2019	WOS:00050003740003

2	Generating functions and Owen value in cooperative network cover game	Vladimir V. Mazalov, Vasily V. Gusev	Performance Evaluation, (2020) 102135, <a href="https://doi.org/10.1016/j.peva.2020.102135">https://doi.org/10.1016/j.peva.2020.102135</a>	Статья	ISSN: 0166-5316	2020	нет (Журнал входит в базу данных WoS и Scopus. Так как статья вышла недавно, статья ещё не проиндексировалась)
3	The vertex cover game: Application to transport networks	V. V. Gusev	Omega, (2020), 102102, <a href="https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.08.009">https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.08.009</a>	Статья	ISSN: 0305-0483	2020	нет (Журнал входит в базу данных WoS и Scopus. Статья вышла недавно, в WoS пока не проиндексировалась)

#### 16.2.4. Перечень публикаций в Scopus:

№ п/п	Название публикации	Авторы публикации	Наименование издания	Тип публикации	ISSN издания/ ISBN издательства	Год издания	Идентификатор публикации в Scopus
1	The vertex cover game: Application to transport networks	Gusev V.V.	Omega (United Kingdom)	Journal Article	03050483	2020	2-s2.0-85070909902
2	Potential functions for finding stable coalition structures	Gusev V.V.; Mazalov V.V.	Operations Research Letters	Journal Article	01676377	2019	2-s2.0-85072201015

3	Generating functions and Owen value in cooperative network cover game	Vladimir V. Mazalov, Vasily V. Gusev	Performance Evaluation, (2020) 102135, <a href="https://doi.org/10.1016/j.peva.2020.102135">https://doi.org/10.1016/j.peva.2020.102135</a>	Статья	ISSN: 0166-5316	2020	нет (Журнал входит в базу данных WoS и Scopus. Так как статья вышла недавно, статья ещё не проиндексировалась)
---	---	---	--	--------	-----------------	------	---

**16.2.5. Перечень других значимых публикаций, не входящих в Web of Science и Scopus:**

№ п/п	Название публикации	Авторы публикации	Наименование издания	Тип публикации	ISSN издания/ ISBN издательства	Год издания	Примечание
-------	---------------------	-------------------	----------------------	----------------	------------------------------------	-------------	------------

1	Устойчивые по Оуэну коалиционные разбиения в играх с векторными платежами	В. В. Гусев, В. В. Мазалов	Математическая Теория Игр и ее Приложения, т. 10, в. 3. С. 3-23.	Статья	2074-9872 (print)	2018	В работе предложено распределение дележа в многокритериальных играх. В основе нового распределения лежит равновесие по Нэшу и свойства, которым удовлетворяет значение Оуэна. В игре трёх лиц найдены коалиционные структуры, которые являются устойчивыми относительно предложенного критерия оптимальности.
---	---	----------------------------	--	--------	----------------------	------	---



2	A Multi-Stage Model of Searching for Two Mobile Objects on a Graph	Gusev V.V.	Frontiers in Games and Dynamic Games. Annals of the International Society of Dynamic Games, vol 16. pp. 153-173, Birkhauser, Cham. <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-030-39789-0_5">https://doi.org/10.1007/978-3-030-39789-0_5</a>	Статья	978-3-030-39788-3	2020	В работе составлена динамическая теоретико-игровая модель поиска двух подвижных объектов. Уравнение Беллмана из работ Hohzaki модернизировано для поиска двух подвижных объектов. Рассмотрены разные топологии графов и найдено оптимальное распределение ресурсов на каждом шаге. Найдено значение динамической игры поиска.
3	Two-Step Pricing Game	Vasily Gusev	THE INTERNATIONAL MEETING ISDG12-GTM2019 ABSTRACTS July 03-05, 2019, St. Petersburg, Russia. 2019. P. 41	Тезисы доклада		2019	
4	Двух-шаговая игра ценообразования на графе	Гусев В. В	X международная Петрозаводская конференция "Вероятностные методы в дискретной математике", Май 22-26, 2019. 2019. С. 72-73	Тезисы доклада		2019	

5	Dynamic search model of two moving objects on a graph.	Vasily Gusev	Game theory and management. Collected abstracts of papers presented on the Twelfth International Conference (June 27-29, 2018, St. Petersburg). 2018. Pp. 58-59	Тезисы доклада		2018	
---	--	--------------	---	----------------	--	------	--

### 16.3. Участие соискателя гранта в конференциях и семинарах за 2018-2020 годы:

- международные: 3 (количество докладов)

№ п/п	Название мероприятия	Место и время проведения	Название доклада
1	THE INTERNATIONAL MEETING ISDG12-GTM2019	г. Санкт-Петербург, 03.07.2019-05.07.2019	Two-Step Pricing Game
2	X международная Петрозаводская конференция "Вероятностные методы в дискретной математике"	г. Петрозаводск, 22.05.2019-26.05.2019	Двух-шаговая игра ценообразования на графе
3	Twelfth International Conference "Game theory and management"	г. Санкт-Петербург, 27.06.2018-29.06.2018	Dynamic search model of two moving objects on a graph

- другие: 0 (количество докладов)

№ п/п	Название мероприятия	Место и время проведения	Название доклада
-------	----------------------	--------------------------	------------------

### 16.4. Научно-педагогическая деятельность соискателя гранта в 2018-2020 годы:

16.4.1. Учебные курсы (лекции, семинары, лабораторные занятия и т.п.), которые ведет соискатель гранта: 0 (количество курсов)

№ п/п	Наименование учебного заведения	Название курса	Форма обучения (лекция, семинар, практическое занятие, лабораторное занятие и др.)
-------	---------------------------------	----------------	--

16.4.2. Подготовка дипломных и магистерских работ под руководством соискателя гранта: 0 (количество)

16.4.3. Подготовка диссертационных работ на соискание ученой степени под руководством соискателя гранта: 0 (количество)

№ п/п	Специальность ВАК	Количество работ	Из них защищено диссертаций
-------	-------------------	------------------	-----------------------------

16.5. Общественное признание (благодарности, грамоты, премии, медали, дипломы, почетные звания и т.п.) соискателя гранта за 2018-2020 годы: 0 (количество)

№ п/п	Название премии/награды	Кем выдана	Год получения	Достижение, за которое вручена премия/награда
-------	-------------------------	------------	---------------	---

16.6. Материалы в СМИ, в которых рассказано о результатах научного исследования соискателя гранта за 2018-2020 годы: 0 (количество)

№ п/п	Название СМИ	Выходные данные СМИ	Название публикации	Ссылка (если есть)
-------	--------------	---------------------	---------------------	--------------------

16.7. Результаты интеллектуальной деятельности соискателя гранта за 2018-2020 годы: 0 (количество)

№ п/п	Наименование объекта интеллектуальной собственности	Вид объекта	Охранный документ (патент, свидетельство о регистрации)	
			№	Дата выдачи

## 17. Идентификационный номер на платформе Science ID<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Для получения идентификационного номера на платформе Science ID необходимо зарегистрироваться на сайте [www.scienceid.net](http://www.scienceid.net)

### СВЕДЕНИЯ О СОИСПОЛНИТЕЛЕ СОИСКАТЕЛЯ ГРАНТА

1. **Фамилия, имя, отчество:** Савкина Анастасия Сергеевна
2. **Статус соисполнителя:** студент
3. **Дата рождения:** 07.03.1998
4. **Место работы (учебы):** НИУ ВШЭ – Санкт-Петербург (место учёбы)
5. **Должность (курс):** 2-й курс магистерской ОП «Прикладная экономика и математические методы».
6. **Тема диплома:** -
7. **Адрес электронной почты:** assavkina@edu.hse.ru

## ОПИСАНИЕ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

**1. Область знаний:** 1.1. Математика и механика

**2. Тема научного исследования:** Исследование задачи покрытия транспортных и коммуникационных сетей

**3. Характер научного исследования:** Фундаментальный

**4. Ключевые слова и словосочетания, характеризующие тематику научного исследования:** исследование операций, задача покрытия, теория управления, распределение ресурсов, оптимизация, транспортная сеть

**5. Коды ГРНТИ, охватываемые научным исследованием:**

27.47.19 - Математическая кибернетика. Исследование операций

27.37.17 - Вариационное исчисление и математическая теория оптимального управления. Математическая теория управления. Оптимальное управление

27.45.17 - Комбинаторный анализ. Теория графов. Теория графов

**6. Формулировка решаемой проблемы (описание проблемной ситуации, сложившейся в данном научном направлении):** Задача покрытия сетей становится всё более актуальной с развитием общества. В зависимости от приложения можно выделить транспортные, коммуникационные, социальные и другие сети. Задача покрытия заключается в том, чтобы покрыть имеющимися ресурсами всю сеть некоторым оптимальным образом. Сложность решения такой задачи заключается в большом объёме данных, так как перечисленные сети имеют большую размерность. Требуется развитие старых и создание новых методов и алгоритмов для анализа таких сетей. Нахождение минимального вершинного покрытия графа, доминирующего множества являются классическими задачами покрытия и имеют широкое приложение. Вершинное покрытие  $S$  неориентированного графа  $G$  – это такое подмножество вершин графа  $G$ , где каждое ребро инцидентно хотя бы одной вершине из  $S$ . Минимальное вершинное покрытие – это вершинное покрытие с минимальным количеством элементов. Предположим, что граф  $G$  – это модель транспортной сети, где ребро - это дорога, а вершина – перекрёсток. Если расположить камеры слежения на перекрёстках из минимального вершинного покрытия, то все дороги будут просматриваться и будет задействовано минимальное число камер. Пусть граф  $G$  – это модель компьютерной сети, причём компьютер – это вершина, и если между двумя компьютерами передаётся информация, то в графе  $G$  существует соответствующее ребро. В работе [1] показано, что вирус в компьютерной сети распространяется быстрее, если заразить компьютеры из минимального вершинного покрытия. Обозначим  $|S|$  количество компьютеров в минимальном вершинном покрытии. Если заразить  $|S|$  компьютеров не из минимального вершинного покрытия, тогда вирус заразит всю сеть за большее время. Пусть граф  $G$  – это модель социальной сети, в которой человек – это вершина. Если между двумя людьми существует конфликт, то между соответствующими вершинами существует ребро. Если переместить людей из минимального вершинного покрытия в другую сеть, тогда останется коллектив без конфликтов с максимальным числом членов. Задача нахождения минимального вершинного покрытия интересна своим приложением и является NP полной задачей. Доминирующим множеством графа называется такое множество вершин  $D$ , что для любой вершины графа  $i$  существует вершина  $j$  из  $D$ , что  $\{i,j\}$  является ребром графа. Нахождение минимального доминирующего множества является классической задачей покрытия и также является NP полной задачей. Приложение минимального доминирующего множества

связано с передачей информации. Можно передать информацию вершинам из минимального доминирующего множества, чтобы доставить её до всех вершин.

Нахождение минимального покрытия не всегда является достаточным для решения задачи распределения ресурсов на сети. Сети подвержены изменению, и минимальное покрытие с большой вероятностью может перестать быть покрытием, если сеть изменится. Из-за этого минимальное покрытие может уступать по свойствам не минимальному покрытию. Если существует вероятность появления нового или удаление старого ребра, то желательно найти такое множество элементов сети, которое является покрытием для старого и нового графа. Распределение ресурсов должно учитывать как условие покрытия всей сети, так и некоторые её особенности. Например, на транспортной сети нужно учитывать поток машин, проходящих через перекресток. Для компьютерной сети главный параметр – это степень секретности данных, хранящихся на компьютере.

Предположим, что ресурсы уже распределены на сети и сеть подверглась изменению, например, некоторые вершины и рёбра перестали существовать и появились новые. В таком случае требуется исследование как минимум двух возможных способов распределения ресурсов. Первый заключается в пересчёте числа ресурсов для всех элементов сети. Второй основан на распределении ресурсов от удалённых элементов графа между новыми. С точки зрения приложения, второй вариант является более актуальным. Если принято решение о том, что на некотором участке сети будет выделено определённое число ресурсов, то при изменении сети выделенное число ресурсов не может быть подвержено изменению. Требуется нахождение оптимального управления в многошаговой задаче покрытия.

[1] Filiol, E., Franc, E., Gubbioli, A., Moquet, B., & Roblot, G. (2007). Combinatorial optimization of worm propagation on an unknown network. *International Journal of Computer Science*, 2(2), 124-130.

**7. Цели научного исследования:** Цели исследования заключаются в разработке методов решения задачи покрытия сетей большой размерности. Планируется выявить сходства и отличия решения задачи покрытия для транспортных, компьютерных, социальных сетей. Используя методы исследования операций и теории управления, будет обоснована и доказана эффективность декомпозиции сетей в задаче покрытия. Сложность решения задачи покрытия и распределения ресурсов на сети связана с большим числом узлов и дуг. Анализ большого объёма данных требует развития новых методов и алгоритмов решения таких задач. Использование и усовершенствование методов математического, динамического программирования, принципов оптимальности из теории управления, теоретико-игровых методов (нахождение равновесия, построение процедуры распределения дележа) позволит добиться указанных целей.

**8. Задачи научного исследования:** 1. Построение стационарной модели покрытия сети. В такой модели предполагается, что сеть не изменяется. Планируется ввести меру центральности вершины в графе, учитывающую тот или иной вид покрытия. Будут вычислены меры центральности вершин для классических типов графов. На основе меры центральности предлагается решение задачи распределения ресурсов на сети. Планируется получить численные результаты для реальных сетей. 2. Построение динамической модели задачи покрытия. Предполагается  $n$  шагов, и на каждом шаге сеть видоизменяется. Если количество ресурсов для одного элемента сети превысило заданный порог, то на следующем шаге элемент продолжает существовать. Возникает вопрос об оптимальном управлении ресурсами, чтобы на последнем шаге сеть приняла нужный вид, в котором заинтересован владелец ресурса. 3. Составить и проанализировать способы декомпозиции графа. Найти связь решения задачи покрытия

для первоначального графа и новых подграфов.

4. Оптимальное объединение элементов сети для повышения её продуктивности. Каждый элемент сети выполняет некоторую работу. Если объединить элементы сети в один, то это может как увеличить, так и уменьшить продуктивность каждого элемента. Решение данной задачи актуально для объединения институтов или формирования новых филиалов некоторой фирмы.

5. Рассмотрение весовых покрытий и анализ влияния весов элементов сети на распределение ресурсов. Если вершина  $d$  графа имеет большой вес, то наибольшее число ресурсов достанется рассматриваемой вершине. Соседние вершины получают пользу или вред от такого распределения за счёт связи с  $d$ . Планируется выявить влияние весов и специфики сети на решение задачи покрытия.

6. Сравнение свойств минимального покрытия с не минимальным. Планируется найти сети, для которых минимальное покрытие является устойчивым по отношению к изменению сети.

7. Построение теоретико-игровой модели задачи покрытия. В классической постановке задачи покрытия предполагается полезность распределения ресурсов для всей сети. Однако в действительности многие узлы сети имеют индивидуальные цели и заинтересованы в получении максимального числа ресурсов. Если элемент сети не доволен предложенным распределением ресурсов, то он может перестать быть элементом сети. Построение справедливой процедуры дележа является важным вопросом в задаче распределения ресурсов на сети. Под справедливым распределением обычно понимается решение, удовлетворяющее некоторым свойствам (аксиомам), в выполнении которых заинтересован каждый участник дележа.

**9. Методы решения задач научного исследования:** В рамках проекта будут использованы методы исследования операций, например, линейное и нелинейное программирование, методы математической теории игр. Для решения динамических задач будут использованы методы теории управления, составление и решение уравнений Беллмана для распределения ресурсов на сети. Собранные данные реальных сетей будут проанализированы, используя статистические и эмпирические методы.

**10. Основное содержание научного исследования:** Проект в большей степени является развитием работ соискателя, касающихся тематике решения задачи покрытия. В работе "V. V. Gusev, The vertex cover game: application to transport networks, Omega, 2020, 102102" (импакт-фактор журнала 5.324) составлена теоретико-игровая модель вершинного покрытия сети. В классической литературе внимание уделяется минимальному вершинному покрытию, однако теоретико-игровая модель учитывает все наименьшие покрытия. Нахождение минимального покрытия – это NP полная задача, а нахождение всех покрытий – это более сложная вычислительная проблема. Учёт всех наименьших покрытий, а не только минимального, повышает точность решения. Доказанная теорема декомпозиции сети позволяет сокращать число наименьших покрытий и число вершин в покрытиях. Предложенная теорема позволяет обрабатывать большой объём данных, касающийся всех наименьших покрытий. Показана эффективность вычисления индекса Шепли-Шубика в игре вершинного покрытия для решения задачи распределения камер на транспортной сети. Эффективность показана с помощью аксиоматики индекса Шепли-Шубика, так как все аксиомы имеют своё приложение и интерпретацию в задаче покрытия. Для района Куковка города Петрозаводск построен граф транспортной сети, составлена игра вершинного покрытия и рассчитан индекс Шепли-Шубика. На основе численных результатов предложено ранжирование всех вершин графа и ранжирование вершин в минимальном вершинном покрытии, даны рекомендации по размещению камер слежения на транспортной сети. В работе "V. V. Mazalov, V. V. Gusev, Generating functions and Owen value in cooperative network cover game, Performance Evaluation, 2020, 102135" предполагается, что элементы сети объединяют друг с другом в пары, причём число пар максимально. Если граф – это телефонная сеть, то пара связанных вершин характеризует телефонный разговор.



Максимальное число пар показывает нагрузку на телефонную сеть. Нахождение нагрузки элемента сети на всю сеть является актуальной задачей для сотовых операторов в момент "живой" сети. Показано, что значение Оуэна учитывает особенности прикладной задачи. Составлены производящие функции для быстрого вычисления значения Оуэна. Вычислено значение Оуэна для разных типов графов.

В рамках проекта планируется получение новых теоретических и практических результатов. Будут составлены игры покрытия графа наподобие игры вершинного покрытия, предложены новые теоремы об оптимальной декомпозиции сети. Будет построена динамическая теоретико-игровая модель покрытия сети. Принципы оптимального управления модернизируются для задачи покрытия. Например, принцип оптимальности Беллмана можно модернизировать следующим образом: какова бы ни была начальная топология сети перед очередным шагом, управление на этом этапе выбирается так, чтобы покрытие на данном шаге включало в себя оптимальные покрытия на следующих шагах. Будут найдены оптимальные покрытия графа и равновесное распределение ресурсов на каждом шаге.

От распределения ресурсов по элементам сети зависит появление новых связей или удаление старых. Например, между двумя пунктами проходит три дороги, и каждая находится не в лучшем состоянии. Если выделить средства на улучшение только одной дороги, это может привести к неиспользованию других дорог, что повысит задержку на улучшенной дороге. Поэтому от грамотного управления ресурсами и решения задачи покрытия зависит время жизни сети, её продуктивность. Управление  $u(i,t)$  с дискретным временем  $t=0,1,\dots,T$  в такой постановке задачи представляет собой число выделяемых ресурсов для элемента сети  $i$ . Ограничения, связанные с числом ресурсов перекладываются на управление. Динамика  $x(t,u,G)$  показывает как изменится топология графа  $G$  в момент времени  $t$  с управлением  $u$ . Функционал представляет собой сумму полезности элементов сети. В зависимости от постановки задачи, возможно рассмотрение других функционалов. Например, задача быстрогодействия заключается в том, чтобы найти такое управление при заданной динамике сети, чтобы свести сеть к нужному виду за минимальное число шагов.

Задача покрытия и распределения ресурсов тесно связана с теорией динамических сетей [1,2]. В динамических сетях задаются вероятностные распределения, касающиеся появления или исчезновения вершин, ребёр. Доказываются предельные теоремы о конечном виде сети или некоторых её характеристиках. С точки зрения приложения, появление или удаление новых элементов сети зависит не только от вероятностных характеристик, но и от управления. Планируется построение новых математических моделей, которые основываются на теории динамических сетей и теории управления. В динамических сетях задаётся только вероятность появления или удаления элемента сети, но если для элемента выделено некоторое число ресурсов, вероятность его удаления изменяется. Если элемент часто появляется и исчезает, это так же влияет на выделяемое для него число ресурсов. Важным вопросом в такой задаче является построение модели управления, учитывающей способы распределения ресурсов. Интерес представляет исследование следующих способов распределения ресурсов: ресурсы от удалённых элементов сети перераспределяются между всеми оставшимися элементами; ресурсы от удалённых элементов перераспределяются между новыми; введение прогрессирующей шкалы распределения ресурсов на каждом шаге, при которой число выделяемых ресурсов зависит от количества шагов, на которых элемент существовал в сети (аналог учёта непрерывного стажа работы). Подходы к процедуре распределению ресурсов на сети основаны на её специфике, интерес представляет нахождение оптимального управления для каждой процедуры распределения ресурсов и их сравнение для конкретных сетей.

В рамках проекта планируется получение численных прикладных результатов. Будут рассмотрены транспортные сети и найдены меры центральности каждого участка сети. Для построения меры центральности используются данные о покрытии сети и поток, который проходит через точку. Будут составлены графические модели дорожных сетей и даны рекомендации по распределению ресурсов. Учитывая собранные данные о реальных сетях, на основе статических и динамических моделей будут даны соответствующие рекомендации для решения задачи покрытия и распределения ресурсов на сети. Найденные решения из составленных математических моделей будут сравниваться с существующими реальными решениями.

[1] Aral, S., Muchnik, L., & Sundararajan, A. (2009). Distinguishing influence-based contagion from homophily-driven diffusion in dynamic networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(51), 21544-21549.

[2] Powell, W. B., Jaillet, P., & Odoni, A. (1995). Stochastic and dynamic networks and routing. *Handbooks in operations research and management science*, 8, 141-295.

**11. Новизна научного исследования:** Новизна заключается в подходе к анализу покрытия сети. Большая часть литературы по покрытию сетей сосредоточена на развитии быстрых алгоритмов нахождения минимального покрытия. Для решения прикладной задачи одного такого покрытия недостаточно. Описанные статические модели учитывают все наименьшие покрытия, а не только минимальное. Любое множество элементов, которое содержит наименьшее покрытие, является покрытием сети. Число наименьших покрытий достаточно велико, и сложно получить математические результаты. Однако будущие теоремы о декомпозиции позволят работать с таким большим набором данных. Полученные решения на основе таких математических моделей будут более точными, так как учитывают не только минимальное, а все наименьшие покрытия. Адаптация принципов оптимальности к задачам покрытия также является новой. Управление ресурсами позволяет увеличить время функционирования сети и её элементов. Отличие от теории динамических сетей заключается в индивидуальной полезности элементов. Будут развиты новые методы и алгоритмы решения задачи покрытия, учитывающие общее благо (один функционал) и индивидуальные характеристики (для каждого элемента сети – свой функционал). Задача динамического распределения ресурсов на сети актуальна для нашего времени. От грамотного распределения ресурсов зависит целостность сети. Будут составлены новые управленческие, статические и динамические модели распределения ресурсов на сети.

**12. Ожидаемые результаты научного исследования:** Планируется разработать новые математические модели, методы и алгоритмы для анализа сетей большой размерности. Для статических моделей покрытия главный теоретический результат – это теоремы о декомпозиции. Будут найдены предельные значения меры центральности для классических графов. Для динамических сетей планируется найти оптимальное управление ресурсами на каждом шаге для сведения топологии сети к конкретному виду. Разработка новых и усовершенствование старых моделей динамических сетей позволит получить необходимые и достаточные условия равновесного распределения ресурсов. Под равновесием понимается равновесие по Нэшу, Штакельбергу, Бержу. Будут составлены новые принципы оптимальности для распределения ресурсов на сети. Например, равновесие Вардроппа – это модификация равновесия по Нэшу для распределения потоков на сети. Новые принципы оптимальности будут учитывать покрытия сети. Планируется получение численных результатов по распределению ресурсов (камер слежения, патрулирующих агентов, точек Wi-Fi) на транспортных сетях для некоторых районов городов. Некоторые дороги городов имеют свои особенности. Например, в Санкт-Петербурге в некоторых

районах улицы параллельны друг другу, а иногда скрещиваются. Будет найдены сходства и отличия в распределении ресурсов для разных топологий.

**13. Основные направления дальнейшего использования предполагаемых результатов:** Полученные результаты могут применяться для решения транспортных задач. Они могут использоваться как концептуальная основа для оптимального распределения ресурсов на сети. Динамические модели могут использоваться для построения новых сетей. Подставив реальные параметры, можно узнать момент времени в который элемент сети нуждается в необходимых ему ресурсах и их числе.

**14. Направление Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации:** Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта

**15. Приоритетные направления развития науки, технологий и техники Российской Федерации:** Транспортные и космические системы

**16. Критические технологии Российской Федерации, в которых возможно использование результатов научного исследования:** Технологии создания высокоскоростных транспортных средств и интеллектуальных систем управления новыми видами транспорта

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на выполнение научно-исследовательской работы по гранту Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых

1. **Наименование темы:** Исследование задачи покрытия транспортных и коммуникационных сетей
2. **Организация** федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
3. **Цель, задачи и исходные данные для проведения НИР:** Построение математических моделей покрытия сетей с учётом их специфики, сбор и анализ реальных данных транспортных и коммуникационных сетей. Нахождение оптимальных устойчивых решений задачи покрытия.
4. **Основное содержание НИР:** В рамках проекта планируется исследование задачи покрытия, используя методы исследования операций и теории управления. Будут составлены новые модели покрытия и распределения ресурсов статических и динамических сетей.
5. **Основные требования к выполнению НИР:** Работа должна выполняться с использованием современных методик и материально-технической базы и обеспечивать получение актуальных результатов.
6. **Перечень, сроки выполнения и стоимость этапов:** Перечень работ, выполняемых на этапе, планируемые результаты работ, срок исполнения и объём финансового обеспечения расходов приведены в Плане работ.
7. **Результаты НИР и их предполагаемое использование:** Результаты работы должны содействовать достижению индикаторов (форма № б).
8. **Порядок сдачи-приемки НИР:** Представление годовых научных и финансовых отчетов производится в установленном порядке.

## ИНДИКАТОРЫ

целевые показатели предоставления гранта

Наименование Получателя федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Наименование главного распорядителя средств федерального бюджета Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Внутренний номер МК-856.2021.1.1

Руководитель гранта: Гусев Василий Васильевич

Тема Исследование задачи покрытия транспортных и коммуникационных сетей

Направление расходов		Результат предоставления гранта	Единица измерения		Код строки	Плановые значения результатов предоставления гранта по годам реализации Соглашения			
наименование	код по БК		наименование	код по ОКЕИ		на 2021 год		на 2022 год	
						с даты заключения Соглашения	из них с начала текущего финансового года	с даты заключения Соглашения	из них с начала текущего финансового года
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Гранты в области науки	61622	Количество научных публикаций, подготовленных руководителем гранта (монографии, учебники, учебные пособия, статьи, тезисы докладов, другие публикации)	штук	796	0100	5	5	10	5
		в том числе:							

		Количество публикаций, индексируемых в международной информационно - аналитической системе научного цитирования Web of Science	штук	796	0110	2	2	4	2
		Количество публикаций, индексируемых в международной информационно - аналитической системе научного цитирования Scopus	штук	796	0120	2	2	4	2
		Количество публикаций, индексируемых в международной информационно - аналитической системе научного цитирования European Reference Index for the Humanities	штук	796	0130	0	0	0	0
		Количество публикаций в российских отраслевых научных изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий РИНЦ	штук	796	0140	1	1	2	1
		Количество докладов и сообщений на конференциях, в том числе международных, подготовленных руководителем гранта	штук	796	0200	2	2	4	2
		Количество учебных курсов (лекции, семинары, практические занятия, лабораторные занятия), которые ведет руководитель гранта	штук	796	0300	0	0	0	0
		Количество подготовленных диссертаций на соискание ученой степени под руководством руководителя гранта	штук	796	0400	0	0	0	0

		Количество результатов интеллектуальной деятельности (изобретения, базы данных, полезные модели, промышленные образцы, программы для электронных вычислительных машин, ноу-хау) руководителя гранта	штук	796	0500	0	0	0	0
		Численность привлекаемых к научному исследованию соисполнителей	человек	792	0600	1	1	1	1

## ПЛАН РАБОТ

на выполнение Исследования

Наименование Получателя: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Наименование главного распорядителя средств федерального бюджета: Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Внутренний номер: МК-856.2021.1.1

Руководитель гранта: Гусев Василий Васильевич

Тема: Исследование задачи покрытия транспортных и коммуникационных сетей

Этап	Перечень работ, выполняемых на этапе	Планируемые результаты работ	Срок исполнения (начало-окончание)	Объём финансового обеспечения расходов (руб.)
1	Разработка статических моделей задачи покрытия сети и распределения ресурсов. Нахождение равновесных по Нэшу покрытий. Модернизация равновесия по Нэшу и Вардропа, формализация нового принципа оптимальности для покрытия сети.	Нахождение решений составленных моделей для разных типов графов, получение новых теорем о декомпозиции сетей. На основе собранных данных о транспортных сетях дать соответствующие рекомендации по распределению ресурсов на сети.	с момента заключения соглашения - декабрь 2021 г.	600 000.00
2	Разработка динамических моделей задачи покрытия и распределения ресурсов. Адаптация принципа оптимальности Беллмана для задачи покрытия. Составление новых специальных уравнений Беллмана для решения	Получить формальный вид оптимального управления ресурсами для сведения сети к конкретному виду. Нахождение условий динамической устойчивости сети. Получение численных результатов для реальных динамических сетей.	январь 2022 г. - декабрь 2022 г.	600 000.00



	многошаговой задачи покрытия.			
--	----------------------------------	--	--	--

**ПЕРЕЧЕНЬ РАСХОДОВ,**

источником финансового обеспечения которых является грант<sup>4</sup>

Наименование Получателя федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Наименование федерального органа исполнительной власти - главного распорядителя средств федерального бюджета Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Единица измерения: руб.

Внутренний номер МК-856.2021.1.1

Ученый Гусев Василий Васильевич

Тема Исследование задачи покрытия транспортных и коммуникационных сетей

	КОДЫ
ИНН	7714030726
Глава по БК	
по БК	
по ОКЕИ	383

Наименование показателя	Код строки	Код направления расходования гранта	Сумма	
			итого в 2021 году	итого в 2022 году
1	2	3	4	5
Остаток гранта на начало года, всего:	0100			
в том числе:				
потребность в котором подтверждена подлежащий возврату в федеральный бюджет	0110	X		
Поступило средств, всего:	0200	X		

<sup>4</sup> Перечень затрат требуется согласовать с финансовыми подразделениями организации

в том числе:				
из федерального бюджета	0210	X		
возврат дебиторской задолженности прошлых лет	0220	X		
из них:				
возврат дебиторской задолженности прошлых лет, решение об использовании которой принято	0221			
возврат дебиторской задолженности прошлых лет, решение об использовании которой не принято	0222			
иные доходы в форме штрафов и пеней по обязательствам, источником финансового обеспечения которых являлись средства гранта	0230			
Выплаты по расходам, всего:	0300		600 000.00	600 000.00
в том числе:				
выплаты персоналу, всего:	0310	100	284 006.91	284 006.91
из них:				
оплата труда (не включая НДФЛ) руководителя гранта / соисполнителей			220 506.91	220 506.91
закупка работ и услуг, всего:	0320	200	206 500.00	206 500.00
из них:				
оплата труда по договорам гражданско-правового характера (включая начисления) руководителя гранта / соисполнителей			26 931.55	26 931.55
НДФЛ на оплату труда по договорам гражданско-правового характера руководителя гранта / соисполнителей			4 024.25	4 024.25
закупка произведенных активов, нематериальных активов, материальных запасов и основных средств, всего:	0330	300	0.00	0.00
уплата налогов, сборов и иных платежей в бюджеты бюджетной системы Российской Федерации, включая НДФЛ, всего:	0340	810	109 493.09	109 493.09
из них:				
НДФЛ на оплату труда руководителя гранта / соисполнителей			32 949.31	32 949.31
иные выплаты, всего:	0350	820	0.00	0.00
Возвращено в федеральный бюджет, всего:	0400	X		
в том числе:				

израсходованных не по целевому назначению	0410	X		
в результате применения штрафных санкций	0420	X		
в сумме остатка гранта на начало года, потребность в которой не подтверждена	0430			
в сумме возврата дебиторской задолженности прошлых лет, решение об использовании которой не принято	0440			
Остаток гранта на конец отчетного периода, всего:	0500	X		
в том числе:				
требуется в направлении на те же цели	0510	X		
подлежит возврату в федеральный бюджет	0520	X		