



Научная статья  
УДК 37.072  
DOI: 10.25688/2072-9014.2022.60.2.04

## «НЕЗРИМЫЙ КОЛЛЕДЖ» МЭШ

Евгений Дмитриевич Патаракин<sup>1</sup> ✉,  
Василий Владимирович Буров<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Московский городской педагогический университет, Москва, Россия

<sup>1</sup> patarakined@mgpu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1216-5043>

<sup>2</sup> burovvv@mgpu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5571-5693>

**Аннотация.** В работе анализируется взаимодействие учителей внутри проекта «Московская электронная школа» (МЭШ). Для анализа используется теоретическая рамка концепции «незримый колледж». Цель исследования: изучение структуры связей, формирующихся между учителями МЭШ на основании анализа цифровых следов. Задачи исследования: выделить сети наиболее влиятельных работ в области командной науки и аналитики сотрудничества; выявить методами сетевого анализа группы учителей, объединенных взаимными копированиями сценариев уроков МЭШ; предложить объяснение наблюдаемым внутри МЭШ сетевым феноменам, подкрепленное результатами моделирования поведения учителей в искусственном сообществе. Ведущими методами исследования были методы организационного сетевого анализа и агентного моделирования. Картирование групп участников позволило установить, что более 75 % участников, объединенных связями взаимного копирования сценариев уроков, входят в состав одной гигантской компоненты. Эксперименты с вариантами моделей Team Assembly позволили обосновать предположение, что новые участники с вероятностью более 60 % склонны выбирать для совместной деятельности опытных участников.

**Ключевые слова:** наука команд; сетевой анализ; «незримый колледж»; агентное моделирование; МЭШ; среда R; NetLogo.

Original article

UDC 37.072

DOI: 10.25688/2072-9014.2022.60.2.04

## “INVISIBLE COLLEGE” OF MES

Evgeny D. Patarakin<sup>1</sup> ✉,  
Vasily V. Burov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Moscow City University, Moscow, Russia

<sup>1</sup> patarakined@mgpu.ru <https://orcid.org/0000-0002-1216-5043>

<sup>2</sup> burovvv@mgpu.ru <https://orcid.org/0000-0001-5571-5693>

**Abstract.** To analyze the interactions of teachers within the project “Moscow Electronic School” (MES) system, we use the theoretical framework defined by the concept of “Invisible college”. The aim of the study is to map the structure of connections that are formed between teachers of the MES based on the analysis of digital traces. The objectives of the study were to: highlight the networks of the most influential work in the field of team science and collaboration analytics; to identify groups of teachers by means of network analysis, united by mutual copying of the scenarios of the lessons of the Moscow e-school; explain the network phenomena observed inside the Moscow school, supported by the results of modeling the behavior of teachers in an artificial community. The leading research methods were the methods of organizational network analysis and agent-based modeling. Mapping of groups of participants made it possible to establish that more than 75 % of participants, united by links of mutual copying of lesson scenarios, are part of a giant component. Experiments with variants of Team Assembly models made it possible to substantiate the assumption that new participants with a probability of more than 60 % tend to choose experienced participants for collaborative activities.

**Keywords:** team science; social network analysis; “invisible college”; agent-based modelling; MES; environment R; NetLogo.

**Для цитирования:** Патаракин Е. Д., Буров В. В. «Незримый колледж» МЭШ // Вестник МГПУ. Серия «Информатика и информатизация образования». 2022. № 2 (60). С. 38–52. DOI: <https://doi.org/10.25688/2072-9014.2022.60.2.04>

**For citation:** Patarakin, E. D., & Burov, V. V. (2022). “Invisible college” of MES. *MCU Journal of Informatics and Informatization of Education*, 2 (60), 38–52. <https://doi.org/10.25688/2072-9014.2022.60.2.04>

### Введение

В сетевых проектах часто возникают ситуации, когда организаторы собирают людей, чтобы услышать и проанализировать их разнообразные мнения, а собравшиеся вдруг начинают представлять не множество мнений, а мнение одной экспертной группы. Это может быть связано с разными причинами, но мы пока хотим понять только то, как можно по действиям, которые совершают участники, отнести их к общей экспертной группе. Для анализа взаимодействий учителей внутри проекта «Московская

электронная школа» мы используем теоретическую рамку, заданную понятием *Invisible college* — «невидимый колледж», или «незримый колледж» [1; 2]. Это понятие разрабатывалось в рамках исследований научной деятельности и командной научной деятельности применительно к существованию неформальных и неявных групп ученых, которые интересуются общей темой, отслеживают публикации друг друга, ссылаются друг на друга, посещают одни и те же конференции и пишут совместные работы [3–5].

В последние годы активно развивается наука о командных научных исследованиях (*Science of Team Science*). Эта область представляет собой одно из направлений гуманитарных вычислительных наук, цифровой и сетевой социологии. Командная наука исследует поведение людей в современных командах, сложных технологических средах, которые во многом определяют особенности проведения совместных работ и совместного обучения. Научный подход предполагает, что несколько человек работают на достижение общей научной цели. При этом размер команд может варьироваться от пар участников (диад) до крупных команд, в состав которых входят более мелкие команды [6–8].

Нам представляется, что перенос закономерностей, которые уже открыты для мира научных команд, во многом осуществим для мира неформальных группировок, выявленных для среды МЭШ. Следует отметить, что развитие науки о науке (*Science of Science*) и командной науки (*Team Science*) стало возможным благодаря накоплению огромных массивов библиографических данных и разработке инструментов, которые сделали работу с такими данными доступной для широкого круга исследователей [9].

В отношении неявных научных групп разработаны методы исследования, включающие, как правило, библиографический и сетевой анализ, способный привести к выделению графов, объединяющих ученых, которые принадлежат к одной группе. Сходные методы используются в организационном сетевом анализе, когда внутри организации выявляются группы людей, которые интересуются общими темами, встречаются, обмениваются документами, просматривают документы друг друга и даже редактируют общие документы.

И тот же подход можно использовать при изучении обучающихся в образовательных сообществах, где они могут формально относиться к разным группам и разным школам, но сотрудничать в написании общих статей, видоизменении проектов, компьютерных моделей или сценариев уроков. Исходя из того, что все эти системы похожи, мы и пытаемся распространить исследовательскую рамку «незримо колледжа» и того, что происходит в научных сообществах, на то, что мы наблюдаем в различного рода краудсорсинговых сообществах обсуждения и продвижения инноваций, сообществах создания контента и построения знаний.

Наиболее известный и близкий проекту «Московская электронная школа» пример — сеть учителей, объединенных созданием учебных сценариев с использованием *Compendium Learning Design*. В сети *CloudWorks* учителя

совершают действия над сценариями учебного процесса [10]. Сходные процессы происходят и в среде МЭШ, внутри которой учителя наблюдают за деятельностью друг друга, отслеживают сценарии уроков друг друга, копируют их друг у друга и даже пишут совместные сценарии. В этом плане мы можем рассматривать группировки, наблюдаемые внутри МЭШ, как части «незримого колледжа».

## Методы исследования

На первом этапе исследования были использованы методы библиометрического анализа баз данных научного цитирования Web of Science и Scopus. В качестве средства библиографического анализа был выбран VOSviewer — программный инструмент, который динамично развивается с 2009 года и используется для выявления и визуального представления сетевых отношений как между авторами, так и между ключевыми словами публикаций [11; 12]. Следует отметить, что этот инструмент — один из многочисленных инструментов, специально разработанных для макроскопических исследований в области командной науки. Например, развернутую аналитику по выбранным публикациям можно получить с помощью пакета bibliometrix в среде R.

На втором этапе мы использовали методы сетевого анализа и данные электронного журнала репозитория МЭШ. Метод построения социограмм на основе следов, которые участники совместной деятельности оставляют на различных цифровых объектах, был представлен в статье о викиграммах [13]. Этот же подход позднее использовался для визуализации отношений между учителями в различных системах построения знаний [14]. Для обработки данных и построения графа использовался язык R и пакеты tidyverse, tidygraph.

На третьем этапе были задействованы методы агентного моделирования в среде NetLogo. Подходы к использованию моделей NetLogo для понимания взаимодействия участников внутри образовательных организаций описаны в работах [15; 16]. Источником данных на этом этапе были данные, полученные (выращенные) в искусственных сообществах многоагентного моделирования [17–19]. Разнообразие сред агентного моделирования, для систематизации которых уже разработаны различные типологии, проанализировано в работе [20]. Среди открытых исследовательских сред ведущие позиции занимает среда NetLogo, которая открывает свои возможности не только для исследователей, но и для учащихся. В качестве источников генерации данных были использованы известные модели формирования команд. Модель образования команд впервые представлена в работе Гуимера и коллег в 2005 году [21]. Авторы классифицировали участников, составляющих команду, по их опыту. Некоторые агенты — новички без опыта и навыков. Другие агенты являются опытными действующими лицами с репутацией и известными навыками.

В дальнейшем модель дополнялась и использовалась многими авторами [22]. В этой модели нам в первую очередь была интересна общая связность сети совместной деятельности. Для постановки экспериментов и сбора данных в формате, доступном для последующей обработки в среде R, использовался встроенный в среду NetLogo инструмент BehaviorSpace [23].

## Результаты исследования

Библиометрический анализ проводился с целью выделить сети наиболее влиятельных работ в области командной науки и аналитики сотрудничества. Запрос к библиографической базе данных Web of Science был сформулирован так, чтобы получить все документы типа «статья», связанные с темами формирования команд и командной науки, которые были бы написаны на английском языке за последние 20 лет (2001–2021 годы):

```
(TS=( "Team Science" OR "Team Formation" OR "Team Assembly" OR  
"Invisible College") AND (computer OR internet OR digital OR virtual))) AND  
LANGUAGE: (English) AND DOCUMENT TYPES: (Article)  
Timespan: 2001-2021. Indexes: SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S,  
CPCI-SSH, BKCI-S, BKCI-SSH, ESCI
```

В результате поиска мы получили ссылки на 92 работы из Web of Science Core Collection. Использование VOSviewer позволило выделить кластеры понятий, которыми пользуются авторы, изучающие феномен командной научной деятельности (рис. 1).

Наиболее крупный, красный кластер содержит 15 ключевых слов: «команды», «формирование команд», «многоагентные системы», «сети», «обучение», «постановка задачи», «оценка задачи», «формирование коалиций», «стили обучения», «процесс обучения» и др.

Второй, зеленый кластер содержит 12 ключевых слов: «соавторство», «интернет», «сетевой анализ», «незримый колледж», «сеть», «паутина», «социальные медиа» и др.

Третий, синий кластер тоже содержит 12 слов: «большие данные», «взаимодействия», «инновации», «знания», «выполнение», «наука», «командная наука» и др.

Кроме определения кластеров ключевых слов, представляющих область науки о командах и экспертных группах, мы выделили и сами экспертные группы ученых, которые объединены в «незримый колледж» через публикации, размещенные в базе данных Web of Science. Общее поле, на котором представлены группировки участников, можно увидеть на рисунке 2.

Объединение данных WoS и возможностей VOSviewer позволяет представить кластеры и перечень участников, которые в эти кластеры входят. Например, красный кластер участников показан на рисунке 3.

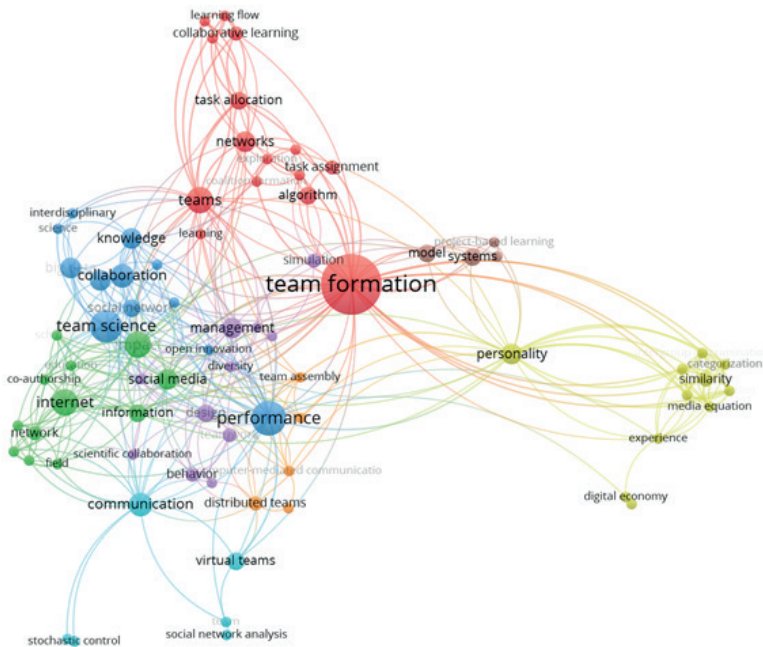


Рис. 1. Кластеры ключевых слов на поле командной науки (WoS)

Fig. 1. Keyword clusters in the field of team science (WoS)

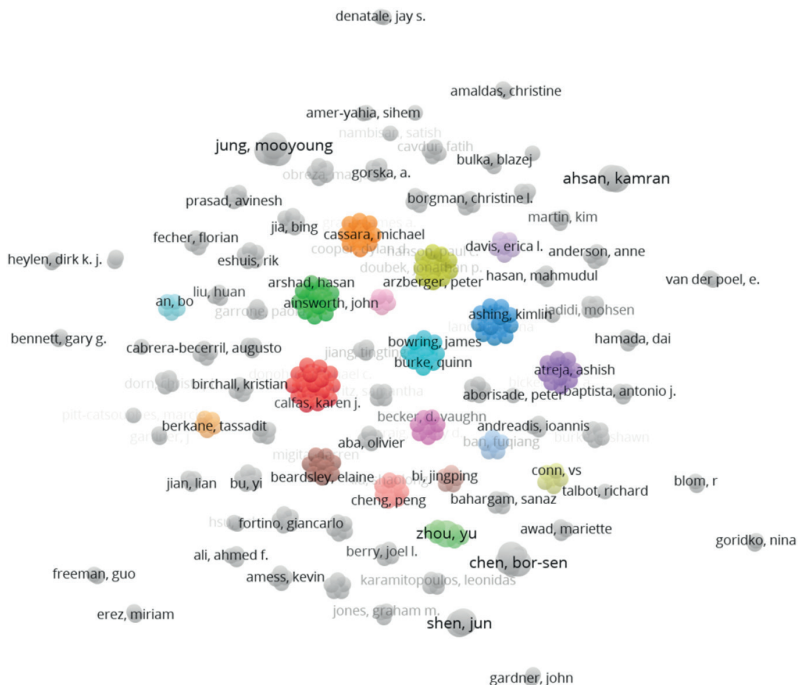
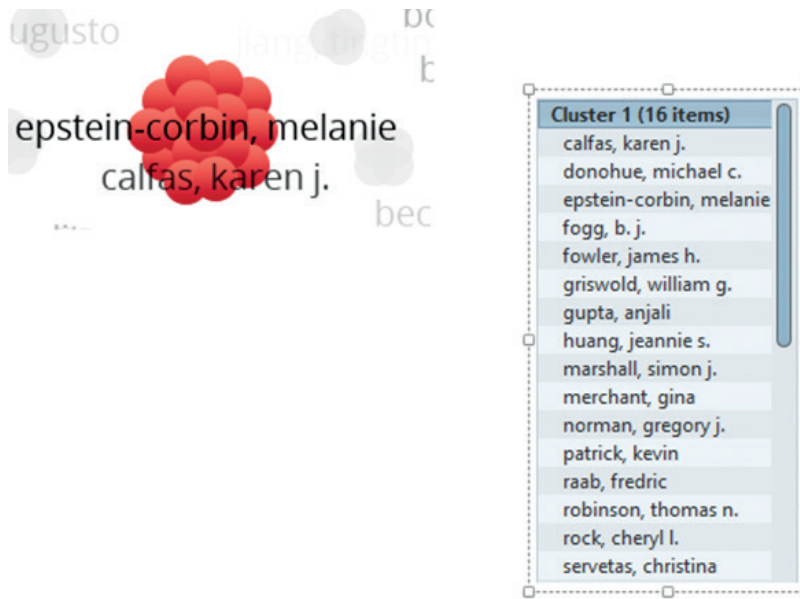


Рис. 2. Кластеры авторов на поле командной науки (WoS)

Fig. 2. Clusters of authors in the field of team science (WoS)



*Рис. 3. Красный кластер авторов*  
**Fig. 3. Authors from the red cluster**

В данном случае мы приводим кластеры участников как примеры того, что в настоящее время уже существуют системы, позволяющие автоматически выявлять принадлежность участников к неформальным экспертным группам на основании тех действий, которые они совершают в цифровой среде.

Запрос к библиографической базе данных Scopus был сформулирован так, чтобы получить все документы (статьи, книги, главы в книгах), связанные с темами формирования команд и командной науки, которые были бы написаны на английском языке за последние 20 лет (2001–2021) в области социальных и компьютерных наук:

```
ALL ("Team Science" OR "Team Formation" OR "Team Assembly" OR
    "Invisible College") AND PUBYEAR > 2001 AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE, "final")) AND
    (LIMIT-TO (OA, "all")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR
    LIMIT-TO (DOCTYPE, "ch") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "bk")) AND
    (LIMIT-TO (SUBJAREA, "SOC")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English")) AND
    (LIMIT-TO (SUBJAREA, "COMP"))
```

В результате поиска по заданным критериям мы получили ссылки на 205 документов. Использование VOSviewer позволило выделить кластеры понятий, которыми пользуются авторы, изучающие феномен командной научной деятельности (рис. 4).

В дальнейшем мы провели краткий анализ исследований по наиболее крупным кластерам Scopus и Web of Science, связанных с выявлением команд и экспертных групп. Отдельное внимание было уделено изучению неявных

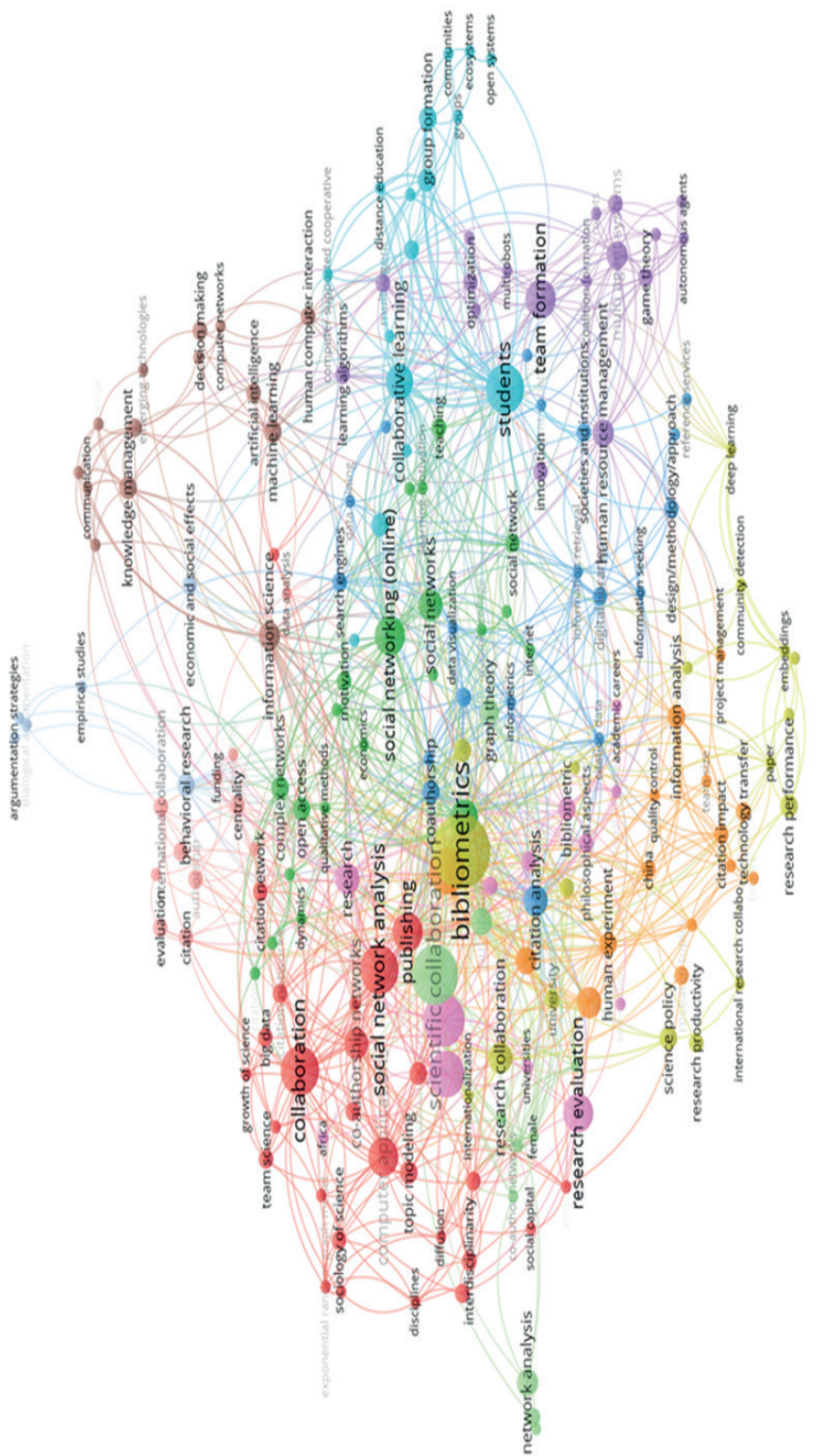


Рис. 4. Кластеры ключевых слов на поле командной науки (Scopus)  
Fig. 4. Keyword clusters in the field of team science (Scopus)



и невидимых структур [24–26]. Показательно, что при определении ролей участников в группах и командах чаще используются их сетевые характеристики. В диссертационной работе [27] рассматриваются различные социальные роли, которые могут быть выявлены вычислительными методами, приводится пример типологии участников группы, основанной на их сетевых характеристиках: центры звезд, члены клик и т. д. Эта типология предложена в работе Хендерсона [28].

Сетевой анализ взаимодействия учителей внутри МЭШ проводился с целью выделения и изучения групп учителей, объединенных взаимными копированиями сценариев уроков МЭШ. Цифровой след участника внутри репозитория МЭШ представляет собой историю его действий над цифровыми объектами репозитория.

Все действия участников в системе постоянно записываются в журнал и на основании этих записей мы можем для каждого участника построить диаграмму его активности. Из базы данных были выделены все записи о действиях, которые совершают участники внутри репозитория учебных сценариев. В результате была создана таблица, включающая в себя почти 40 миллионов действий. Эта таблица была очищена от действий, для которых невозможно было установить принадлежность авторов к школам, а сценариев — к предметам. Кроме того, мы удалили действия участников по просмотру сценариев, предположив, что такие действия не могут приводить к формированию связей и образованию экспертных групп и команд.

Далее был проведен сетевой анализ отношений, сложившихся между участниками проекта МЭШ. В качестве исходного материала для этого анализа использовались данные однодольного графа взаимных копирований сценариев уроков из системы репозитория цифровых объектов МЭШ. Чтобы исследовать связи, которые возникают между участниками внутри системы, нам необходимо проанализировать не только то, как участник использует в своей работе объекты других участников, но и то, как другие участники используют объекты, созданные данным участником.

В результате такого анализа получаем бимодальный граф, в котором участники связаны между собой через объекты совместного использования. Мы исходили из общего представления о проекте МЭШ как научной электронной библиотеке и переносили на МЭШ правила формирования научных команд. Наш следующий шаг в определении экспертных групп состоял в выделении из всей таблицы действий над объектами-сценариями только действий, которые совершают создатели сценариев. В результате отбора именно таких действий получаем таблицу, содержащую 3 миллиона действий, которые провели со сценариями 8364 участника.

Следующий важный этап состоял в переводе таблицы действий участников в граф отношений между участниками — создателями сценариев. Принципиальный момент заключался в выделении среди всех связей только тех, которые взаимны.

Мы рассматриваем связи между участниками с правилом фиксации связи, только если такие связи взаимны. При этом мы исходим из того, что у человека может быть доступ в библиотеку, он может оценивать и использовать объекты-сценарии, созданные другими людьми, но пока он не создает собственных объектов, между ним и другими авторами не могут возникать взаимные связи. А именно взаимные связи мы используем в качестве маркера принадлежности к одной команде. В МЭШ взаимная связь образуется в том случае, если учитель А скопировал сценарий урока, созданный учителем Б, а учитель Б скопировал сценарий урока, созданный учителем А. После удаления из системы однонаправленных невзаимных связей в ней остается множество одиноких участников, которые не входят ни в какие группировки и могут быть удалены.

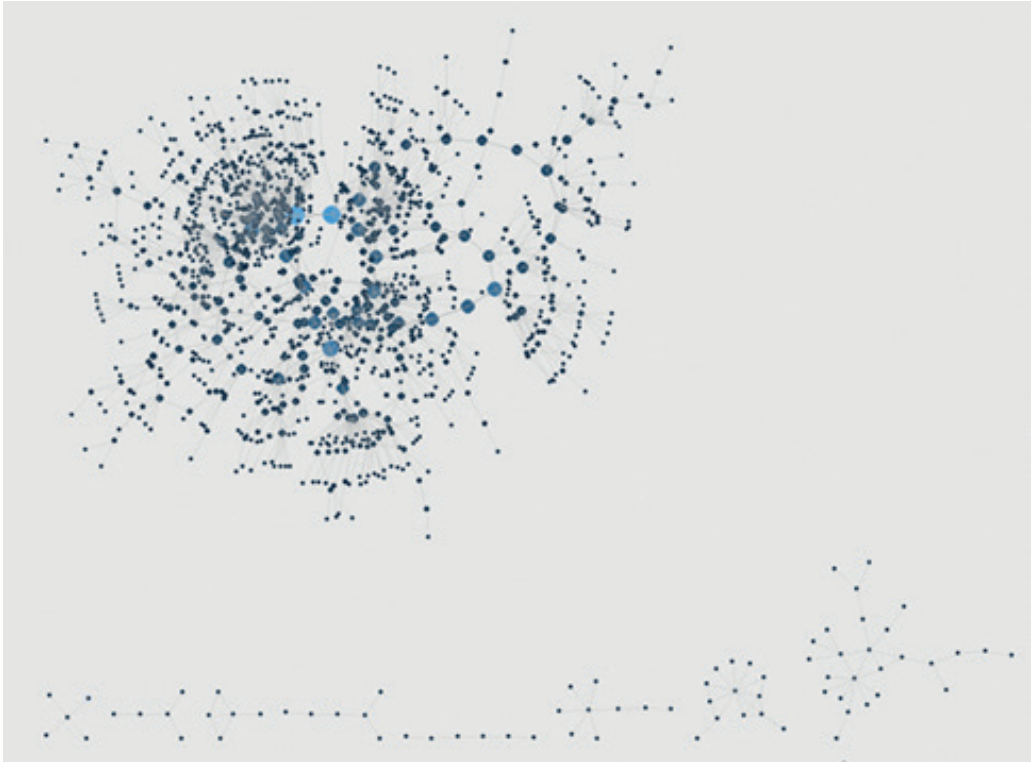
Граф, в котором собраны все участники, взаимно копирующие учебные сценарии друг у друга, описывается следующими параметрами:

```
# A tbl_graph: 1552 nodes and 21349 edges
# A directed multigraph with 145 components
```

В этом направленном графе 1552 узла, объединенных между собой 21 349 связями. Граф совместных копирований состоит из 145 компонентов. При этом узлы и связи распределены крайне неравномерно. Главный компонент содержит 1174 узла и 17 928 связей, а на остальные 144 компонента приходится всего 378 узлов и 3421 связь. На рисунке 5 сверху показан главный компонент. В нижней части на карту не попали диады участников. Визуализация графа получена применением следующих фильтров и слоев:

```
rcgraphR %>%
  activate(edges) %>%
  filter(!edge_is_multiple()) %>%
  convert(to_undirected) %>%
  activate(nodes) %>%
  mutate(c_betw = centrality_betweenness()) %>%
  activate(edges) %>%
  mutate(edge_between = centrality_edge_betweenness()) %>%
  activate(nodes) %>%
  ggraph(layout = 'stress') +
  geom_node_point(aes(size = c_betw, colour = c_betw, shape = '21')) +
  geom_edge_link0(aes(alpha = edge_between), edge_colour = "grey66") +
  theme(legend.position = 'none')
```

Варианты наследования и копирования поведения внутри групп могут быть изучены только на основе динамического анализа видоизменения сетевой структуры отношений между авторами внутри МЭШ. Для проведения такого анализа мы разделили действия участников на несколько временных срезов и провели изучение групп на достаточно коротких этапах. В качестве исходного материала для исследования мы взяли таблицу действий всех тех участников, которые создавали учебные сценарии внутри МЭШ. Для каждого действия



*Рис. 5. Карта узлов, связанных реципрокными связями*

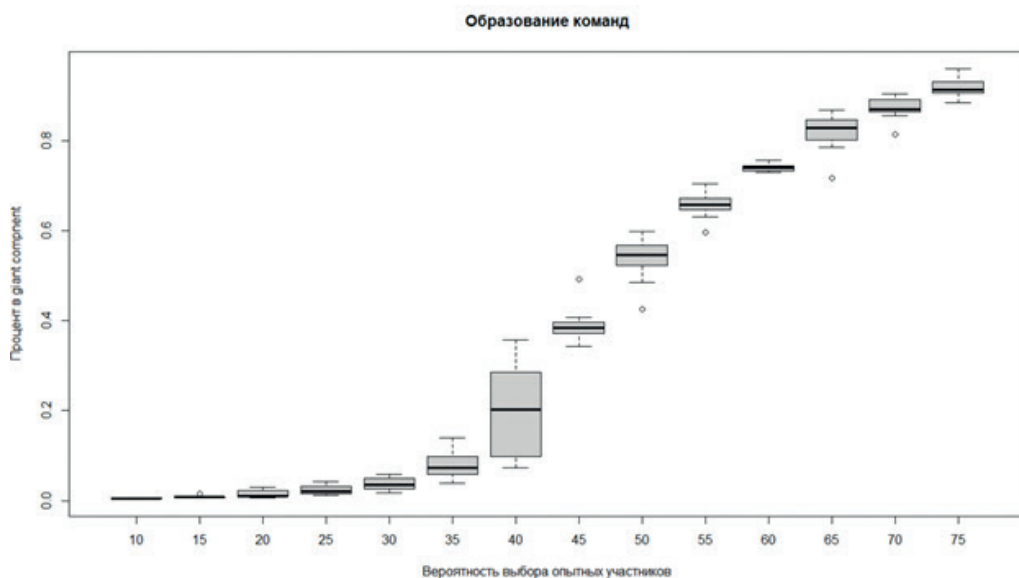
*Fig. 5. Map of nodes connected by reciprocal links*

есть запись о том, когда был создан сценарий и когда было совершено действие над этим сценарием (копирование, добавление в избранное, загрузка, добавление в домашние работы). Мы можем отметить частоту встречаемости быстрого повторного использования опубликованных в системе учебных сценариев. Значительная часть сценариев начинает использоваться участниками сразу после их размещения.

Агентное моделирование формирования команд в среде NetLogo проводилось с целью объяснения наблюдаемых внутри проекта МЭШ сетевых феноменов. Для того чтобы объяснить объединение 75 % учителей, копирующих друг у друга сценарии уроков, в составе гигантской компоненты, мы использовали модель формирования команд, внося в нее изменения, отражающие специфику репозитория МЭШ. Во-первых, мы снизили минимальное число участников, необходимое для образования команды, с трех до двух, поскольку в МЭШ часто наблюдаются группы-диады. Во-вторых, мы увеличили время пребывания агента в активном состоянии до того момента, как он покинет рабочую среду в силу своего возраста, поскольку сама система МЭШ пока еще очень молода и этот параметр можно не использовать. После этих изменений мы поставили эксперимент со следующими условиями, записанными в BehaviorSpace:

```
["max-downtime" 800]
["team-size" 2]
["p" [10 5 75]]
["q" 52]
```

В качестве независимой переменной использовалось значение  $p$  — вероятность выбора новичками партнером по команде опытного участника, уже входящего в состав группы. В качестве измеряемой величины в 10 прогонах каждой серии эксперимента фиксировался процент участников, входящих в состав гигантской компоненты, полученный после 800 циклов работы модели. Результаты в виде графика boxplot представлены на рисунке 6.



*Рис. 6. Зависимость между вероятностью выбора опытного участника и размером гигантской компоненты*

*Fig. 6. Relationship between the probability of choosing an experienced participant and the size of the giant component*

Можно сделать предварительные выводы, что заметное изменение воздействия величины  $p$  на величину гигантской компоненты происходит в интервале 35–45 % и выявленное для МЭШ объединение 75,6 % учителей может быть объяснено тем, что вероятность выбора партнером опытного участника, уже входящего в состав группы, составляет не менее 60 %.

## Заключение

Системы совместного построения знаний, к которым относится библиотека МЭШ, позволяют отслеживать и анализировать так называемый цифровой

след — документальную фиксацию тех или иных действий участников в журналах операций системы, а также оставленные участниками следы на цифровых артефактах системы. Цифровой след открывает широкие возможности для исследования поведения участников на первичном материале, не прибегая к посредничеству проведения опросов, как в классической социологии, уходя при этом от особенностей интерпретации ответов, что позволяет снизить трудоемкость исследований и повысить точность. Использование цифровых следов позволило выявить внутри участников проекта МЭШ неформальные группы, которые действовали в системе в 2017–2020 годах, и визуализировать структуры их связей для дальнейшего анализа.

В качестве ключевого критерия сходности представляемых позиций выбран взаимный интерес участников к работам друг друга. Поскольку действия участников внутри МЭШ могут быть направлены только на цифровые объекты, сходность и близость экспертных позиций проявляются в тех действиях, которые участники совершают по отношению к этим объектам. Выбранный подход позволяет выявлять взаимосвязанные группы только среди тех участников, которые создают свои сценарии или элементы сценариев внутри МЭШ.

Заключительная часть исследования позволила получить решение задачи анализа моделей организации групп участников, представляющих общую экспертную позицию внутри сетевого образовательного сообщества. В качестве исходной модели была взята известная модель формирования команд Team Assembly. В нее были внесены изменения из-за того, что участники связываются друг с другом через создание и видоизменение цифровых объектов. Анализ моделей позволил уточнить методику изучения структур различных неформальных экспертных групп, представленных среди участников МЭШ, и обратить большее внимание на динамику совместной деятельности, временный характер формирования участниками каких-либо объединений.

#### Список источников / References

1. De Solla Price, D. J., & Beaver, D. (1966). Collaboration in an invisible college. *American Psychologist*, 11 (21), 1011–1018. <https://doi.org/10.1037/h0024051>
2. Morehouse, J., & Saffer, A. J. (2019). Illuminating the invisible college: An analysis of foundational and prominent publications of engagement research in public relations. *Public Relations Review*, 5 (45), 101836. <https://doi.org/10.1016/j.pubrev.2019.101836>
3. Goyanes, M., & Marcos, L. de. (2020). Academic influence and invisible colleges through editorial board interlocking in communication sciences: a social network analysis of leading journals. *Scientometrics*, 2 (123), 791–811. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03401-z>
4. Sedita, S. R., Caloffi, A., & Lazzeretti, L. (2020). The invisible college of cluster research: a bibliometric core–periphery analysis of the literature. *Industry and Innovation*, 5 (27), 562–584. <https://doi.org/10.1080/13662716.2018.1538872>
5. Vélez-Cuartas, G. (2018). Invisible Colleges 2.0. *Eponymy as a Scientometric Tool*, 3 (7), 5.

6. García-Peña, C., Gutiérrez-Robledo, L. M., Cabrera-Becerril, A., & Fajardo-Ortiz, D. (2019). Team Assembly Mechanisms and the Knowledge Produced in the Mexico's National Institute of Geriatrics: A Network Analysis and Agent-Based Modeling Approach. *Scientifica*, e9127657. <https://doi.org/10.1155/2019/9127657>
7. Gómez-Zará, D., DeChurch, L. A., & Contractor, N. S. (2020). A Taxonomy of Team-Assembly Systems: Understanding How People Use Technologies to Form Teams. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 4 (CSCW2), Article 181, 36 p. <https://doi.org/10.1145/3415252>
8. Nardi, B. A., & Engeström, Y. (1999). A Web on the Wind: The Structure of Invisible Work. *Comput. Supported Coop. Work*, 1-2 (8), 1–8. <https://doi.org/10.1023/A:1008694621289>
9. Börner, K., & Record, E. (2017). Macroscopes for Making Sense of Science. *PEARCI7*. New York, NY, USA: ACM. Article 64, 2 p. <https://doi.org/10.1145/3093338.3106387>
10. Galley, R., Conole, G., & Alevizou, P. (2014). Community indicators: a framework for observing and supporting community activity on Cloudworks. *Interactive Learning Environments*, 3 (22), 373–395.
11. Eck, N. J. van, & Waltman, L. (2009). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 2 (84), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
12. Polley, D. E. (2015). Visualizing the topical coverage of an institutional repository using VOSviewer. In *Data Visualization: A Guide to Visual Storytelling for Librarians*. Rowman & Littlefield.
13. Patarakin, E. D. (2017). Wikigrams-Based Social Inquiry. In *Digital Tools and Solutions for Inquiry-Based STEM Learning* (pp. 112–138). IGI Global.
14. Vachkova, S., Petryaeva, E., & Patarakin, E. (2021). Typology of schools operating in the Moscow Electronic School system based on the analysis of network indicators. In *SHS Web of Conferences*, (98), 03001. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20219803001>
15. Patarakin, E., Vachkova, S., & Burov, V. (2021). Agent-based modeling of teacher interaction within a repository of digital objects. In *SHS Web of Conferences*, (98), 05013. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20219805013>
16. Patarakin, Y. D., & Yarmakhov, B. B. (2021). Data farming for virtual school laboratories. *RUDN Journal of Informatization in Education*, 4 (18), 347–359. <https://doi.org/10.22363/2312-8631-2021-18-4-347-359>
17. De Caux, R. (2017). An agent-based approach to modelling long-term systemic risk in networks of interacting banks. *Thesis for the degree of Doctor of Philosophy*. University of Southampton.
18. Sayama, H., Cramer, C., Sheetz, L., & Uzzo, S. (2017). NetSciEd: Network Science and Education for the Interconnected World. *ArXiv:1706.00115* [physics].
19. Secchi, D., & Neumann, M. (Es) (2016). *Agent-Based Simulation of Organizational Behavior*. Cham: Springer International Publishing. 348 p.
20. Rakić, K., Rosić, M., & Boljat, I. (2020). A Survey of Agent-Based Modelling and Simulation Tools for Educational Purpose. *Tehnički vjesnik*, 3 (27), 1014–1020. <https://doi.org/10.17559/TV-20190517110455>
21. Guimera, R., Uzzi, B., Spiro, J., & Amaral, L. A. N. (2005). Team assembly mechanisms determine collaboration network structure and team performance. *Science*, 5722 (308), 697–702.

22. Zu, C., Zeng, H., & Zhou, X. (2019). Computational Simulation of Team Creativity: The Benefit of Member Flow. *Frontiers in Psychology*, (10). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00188>
23. Railsback, S. F., & vGrimm, V. (2019). *Agent-Based and Individual-Based Modeling. A Practical Introduction (Second Edition)*. Princeton University Press. 359 p.
24. Gmür, M. (2003). Co-citation analysis and the search for invisible colleges: A methodological evaluation. *Scientometrics*, 1 (57). <https://doi.org/10.1023/A:1023619503005>
25. Nardi, B. A., & Engeström, Y. (1999). A Web on the Wind: The Structure of Invisible Work. *Comput. Supported Coop. Work*, 1-2 (8), 1–8. <https://doi.org/10.1023/A:1008694621289>
26. Palacios-Núñez, G., Vélez-Cuartas, G., & Botero, J. D. (2018). Developmental tendencies in the academic field of intellectual property through the identification of invisible colleges. *Scientometrics*, 3 (115), 1561–1574. <https://doi.org/10.1007/s11192-018-2648-3>
27. Yang, D. (2019). *Computational Social Roles*. Carnegie Mellon University.
28. Henderson, K., Gallagher, B., Eliassi-Rad, T., Tong, H., Basu, S., Akoglu, L., Koutra, D., Faloutsos, C., & Li, L. (2012). RolX: structural role extraction and mining in large graphs KDD '12 / Beijing, China: Association for Computing Machinery, 1231–1239. <https://doi.org/10.1145/2339530.2339723>

Статья поступила в редакцию: 22.01.2022;  
одобрена после рецензирования: 07.03.2022;  
принята к публикации: 25.03.2022.

The article was submitted: 22.01.2022;  
approved after reviewing: 07.03.2022;  
accepted for publication: 25.03.2022.

### ***Информация об авторах:***

**Евгений Дмитриевич Патаракин** — доктор педагогических наук, доцент, ведущий научный сотрудник центра аналитических исследований и моделирования в образовании НИИ урбанистики и глобального образования, Московский городской педагогический университет, Москва, Россия,  
[patarakined@mgpu.ru](mailto:patarakined@mgpu.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1216-5043>

**Василий Владимирович Буров** — научный сотрудник центра аналитических исследований и моделирования в образовании НИИ урбанистики и глобального образования, Московский городской педагогический университет, Москва, Россия,  
[burovv@mgpu.ru](mailto:burovv@mgpu.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5571-5693>

### ***Information about authors:***

**Evgeny D. Patarakin** — Doctor of Education Sciences, associate professor, Leading Research Fellow at the Center for Analytical Research and Modeling in Education, MCU, Moscow, Russia,  
[patarakined@mgpu.ru](mailto:patarakined@mgpu.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1216-5043>

**Vasiliy V. Burov** — Research fellow at the Center for Analytical Research and Modeling in Education, MCU, Moscow, Russia,  
[burovv@mgpu.ru](mailto:burovv@mgpu.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5571-5693>