

Цифровой двойник научной организации: ПОДХОДЫ И МЕТОДИКИ

Федор Краснов, Марс Хасанов

Аннотация – Конкуренция побуждает бизнес к принятию концепции цифровых двойников. В каких-то отраслях цифровые двойники уже нашли свое место: есть цифровые двойники заводов и городов. Но в отраслях, где основным продуктом являются знания, цифровые двойники еще не столь востребованы. Нет сомнений в том, что научные организации имеют внутренний стержень, корпоративную культуру, ценности, которые и позволяют им выполнять уникальные научно-исследовательские работы. Моделируя эти внутренние, скрытые особенности организации можно получить уникальные инструменты для прогнозирования и управления технической стратегией. Цифровой двойник научно-технического центра можно рассматривать как особый тип модели системы, которая выявляет такие скрытые явления, как появление новых научных направлений исследований, образование научных школ и степень творческого выгорания коллектива.

Прототипирование, как инженерная дисциплина, существует уже более 30 лет и на первый взгляд занимается тем же. Но в отличие от прототипа цифровой двойник не ставит задач по быстрой реализации базовой функциональности для анализа работы системы в целом.

Таким образом, чтобы понять преимущества цифровых двойников нужно понять те новые возможности, которые они предоставляет. Идя от частного к общему, авторы выбрали для исследования научно-технический центр и рассмотрели подходы к построению цифрового двойника, а затем обобщили эти подходы. В результате получена актуальная постановка исследовательских гипотез, которые нужно проверить, прежде чем создавать цифровой двойник организации или ее части, нацеленной на производство новых знаний.

Ключевые слова — Иерархическое моделирование, Системная динамика, Имитационное моделирование, Анализ текста, Анализ социальных сетей, Стратегическое планирование, Управление наукой.

I. ВВЕДЕНИЕ

Концепция цифровых двойников (ЦД) не нова. Цифровые двойники относятся к направлению по цифровому представлению физических систем, и на

протяжении более 30 лет команды разработчиков продуктов и процессов использовали 3D-рендеринг моделей автоматизированного проектирования, моделей активов и моделирования процессов для обеспечения и проверки технологичности. Роскосмос, например, десятилетиями проводил сложные симуляции космических кораблей, а центр управления полётами дублирует большинство процессов.

В настоящее время совместное влияние сразу нескольких факторов, побудило выдвинуть концепцию цифрового двойника на передний план как прорывную тенденцию, которая будет иметь все более широкое и глубокое влияние на экономику в течение следующих пяти лет. Фактически, Gartner прогнозирует, что к 2021 году половина крупных промышленных компаний будет использовать цифровых двойников, в результате чего эффективность этих организаций увеличится на 10%.

Одним из факторов, повлиявших на становление концепции цифровых двойников, является лавинообразный рост узлов в сети Интернет. Представление в Интернет началось для компаний с создания корпоративного сайта и пришло к пониманию цифровой экосистемы предприятия, которая как бы выворачивает часть бизнес процессов компании наизнанку. Короткая максима такова: «Если этого нет в Интернет, этого не существует». Так развитие цифрового маркетинга в Интернет привело к необходимости продления потребления продукта до вовлечения потребителя в создание новых продуктов. Сугубо внутренний процесс разработки продукта теперь представлен в полностью прозрачном виде и готов для потребления. Отчасти этот подход продлевают и краудфандинговые платформы, в которых будущие потребители еще и вкладывают денежные средства в создание продукта.

Нефтегазовая индустрия впитывает в себя все новые тренды и концепция ЦД не исключение. Вот несколько исследований 2018 года по цифровым двойникам в нефтяной отрасли:

- Цифровые двойники ускоряют бурение [1] и упрощают мониторинг процесса бурения [2],
- Позволяют точнее управлять жизненным циклом месторождения [3,4],
- Позволяют лучше координировать действия инженеров, платформы и окружающей среды [5],
- Позволяют ускорить строительство [6],
- Упрощают контроль качества при строительстве [7].

Научно-технические центры (НТЦ) в нефтегазовой отрасли имеют свою историю развития и отличаются от

Статья получена 14 марта 2019.

Ф.В.Краснов, к.т.н., эксперт, ООО «Газпромнефть НТЦ», 190000 г. Санкт-Петербург, набережная реки Мойки д.75-79, krasnov.fv@gazprom-neft.ru, orcid.org/0000-0002-9881-7371, РИНЦ 8650-1127

М.М.Хасанов, д.т.н., профессор, Директор дирекции по технологиям ПАО «Газпром нефть», 190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Почтамтская, д.3-5, Khasanov.MM@gazprom-neft.ru

R&D в других отраслях высокой степенью вовлеченности в производство. Особенности НТЦ в нефтегазовой отрасли можно проследить с помощью таких факторов, влияющих на спрос их услуг, как цена на нефть, темп роста экономики, налоговая политика государства, объёмы добычи. Помимо общего тренда на увеличение наукоёмкости добычи углеводородов, в связи с исчерпанием запасов “простой нефти”, рост цены на нефть в США, например, приводит к увеличению количества заявок на патенты в нефтегазовой отрасли.

II. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР, КАК ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Совсем упрощенно можно считать, что НТЦ состоит из исследователей и процессов, среди которых наиболее важен процесс НИР. Проблема объективной оценки эффективности НИР находится в центре внимания исследователей уже давно, и это, в первую очередь, связано с вопросами финансирования, как бюджетного, так и в рамках грантов.

Эффективность организации – очень сложный и многогранный концепт. На него оказывают влияние различные факторы. Одним из важных предвестников рыночного успеха научно-исследовательской организации является хорошо развитая коммуникация и кооперация между сотрудниками. Многие теоретические и практические исследования демонстрируют связь между продуктивностью организации и структурой коммуникации её сотрудников, например, см. см. [8, 9].

Исследование социальной структуры организаций и профессиональных сообществ становится одним из главных направлений прикладного анализа социальных сетей. В сфере общественных связей и управления глубоко изучаются модели коммуникаций внутри организаций, организация рассматривается как социальный объект. Начало этим исследованием положено в работе С.Н. Cooley “Социальная организация” [10].

Научная публикация – главный артефакт для оценки эффективности научно-исследовательской работы. Процесс публикации является достаточно длительным: начиная с зарождения исследовательской идеи, проведения эксперимента и заканчивая публикацией работы. Организационные условия для исследователей могут по-разному влиять на производительность процесса публикаций.

Исследование [11] показало, что за последнее десятилетие есть чётко выраженная тенденция учёных объединяться в группы соавторов для публикации статей. Отсюда можно сделать вывод, о том, что наиболее важным фактором, положительно влияющим на публикацию работ, является объединение исследователей в команды.

В свою очередь, командообразование тоже бывает успешным и неуспешным; оно также поддаётся изучению, в результате которого можно выделить условия успешного командообразования. Задача поиска оптимальных параметров команды соавторов для наиболее продуктивного написания научных статей

относится к классу задач оптимизации. Традиционно исследователи обращают внимание на следующие параметры, имеющие значение для продуктивного научного творчества:

- Размер команды
- Ментальные модели сообщества
- Компетенции сотрудников (дополняющие и гомофильные)
- Слабые связи между учёными

Научная кооперация между индивидами со схожими характеристиками более вероятна, однако уровень этой схожести тоже важен. В работе [12] было показано, что социальная схожесть более чем по одному показателю приводит к тому, что люди с меньшей вероятностью будут формировать между собой взаимоотношения. Авторы данного исследования объясняют этот наблюдаемый эффект тем, что слишком схожие по многим характеристикам люди, как правило, не могут привести что-то новое и конструктивное в личные отношения или же в команду. Для продуктивного сотрудничества необходима не только схожесть интересов, но также и различный профессиональный и жизненный опыт, позволяющий предложить многомерные подходы к решению общей задачи.

Одним из результатов такого сотрудничества является научная статья и в самой ее простой форме - это текст, который можно анализировать различными автоматизированными средствами.

Анализ текста иногда называют Text Mining. Суть этого процесса в превращении данных (текста) в высококачественную информацию способную приносить знания. Важным моментом является то, что при получении этих знаний человеческие затраты должны быть минимальны.

Полученные из текста знания становятся основой для принятия управленческих решений в организационной среде. Отдельным процессом рассматривается получение текста для исследования, иногда называемое созданием корпуса текстов. Описываемые явления, процессы и закономерности находят свое отражение в текстах при помощи специалистов-авторов, а процесс анализа текста специалистом-читателем делает обратное: на основе текстов составляет информацию о реальной природе вещей. Многомодовым подходом к анализу текстов является принятие во внимание сопутствующей основному тексту информации. Например, модами могут стать название журнала, номер выпуска, должности соавторов научной статьи.

Формально анализ текста производится в следующей последовательности:

1. анализ языка текста
2. анализ содержания текста
3. получение информации об авторе текста
4. вывод определённых переменных, характеризующих природу вещей в тексте

Вместе с текстом можно анализировать авторов как социальные атомы в производственном процессе, обладающие различными связями. В книге [13] отмечается, что базисом для анализа социальных сетей является теория социометрии, основоположником которой принято считать Д. Морено [14]. Социометрия изучает взаимоположения социальных атомов в группах. Социограммой по Морено является

графическое отображение социального выбора членов социальной группы. В рассматриваемой модели социализации - процессе создания и публикации научной работы, социальным выбором может быть выбор лидера, дружеские отношения между членами научного коллектива разработчиков и/или соавторов, выполнение совместных задач. Социограмма представляет граф, состоящий из вершин и ребер.

Граф соавторства является частным случаем социальной сети. Одним из первых исследований графа соавторства является работа [15], сделанная в 1973 году. С этого времени исследования научной деятельности при помощи графов соавторства не прекращались и обрели статус проверенного инструмента анализа. Например, в недавнем исследовании [16] предпринята попытка предсказания будущих научных исследований на основе графа соавторства, а в работе [17] построен глобальный граф соавторства на основе Google Scholar, который содержит более 400 тысяч вершин. Оба исследования проведены в 2017 году и учитывают новейшие достижения в данной области.

Таким образом, мы выделили три основных направления исследования НТЦ, которые помогут создать цифровой образ организации - это командообразование, анализ текста и анализ графа соавторства.

III. ВОПРОСЫ К ЦИФРОВОМУ ДВОЙНИКУ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЦЕНТРА

Рассмотрим построение цифрового двойника НТЦ как парадигму моделирования. Есть объект, который изменяется как по внутренней структуре, так и по внешним проявлениям. Законы, по которым происходят внутренние изменения объекта, нам не известны. Но мы можем наблюдать внешние проявления этих изменений: количество и качество выполняемых НИР. Тогда нас будут интересовать следующие вопросы:

1. В какой степени научная статья отражает проведенную НИР? Можно ли судить о качестве НИР по опубликованным научным исследованиям?
2. Каковы социальные механизмы объединения исследователей для проведения НИР? Какие виды компетенций и в какой степени влияют на такое объединение?
3. Как зависит время проведения НИР от количества участвующих исследователей? Существуют ли естественные ограничения на количество и состав исследовательских групп и на чем они основаны?
4. Каковы эвристические алгоритмы поведения исследователей по отношению к издательствам и программным комитетам конференций? Существуют ли базовые стратегии поведения? Если возможность идентификации и имитации базовых стратегий?
5. Применимы ли подходы time management ("управление временем") к НИР? Насколько эффективно рассмотрение научно-исследовательской деятельности как проектной деятельности?
6. Какова модель зрелости научно-исследовательской организации в части

проведения НИР? В какой степени возможно определение степени зрелости научно-исследовательской организации на основе анализа публикуемых ею научных статей?

7. Какова структура процессов, составляющих научно-исследовательскую деятельность? Насколько применим процессный подход к изучению научно-исследовательской деятельности? Есть показатели научно-исследовательской деятельности, отражающие характерную структуру составляющих ее процессов?

В рамках этого направления исследования можно сформулировать две взаимодополняющие постановки задачи: прямую и обратную.

- Изучение деятельности НТЦ по внешним проявлениям. К внешним проявлениям относятся цифровые артефакты деятельности организации - это опубликованные научные статьи, материалы конференций, информационные сайты в сети Интернет и новости о компании.
- Изучение НТЦ изнутри. К исследованиям в этом направлении относятся моделирование научной деятельности, эффективность производственных процессов, самоорганизации малых творческих коллективов и модели персонала научной организации.

Архитектура методического каркаса для изучения прямой и обратной задач представлена на рисунке 1.

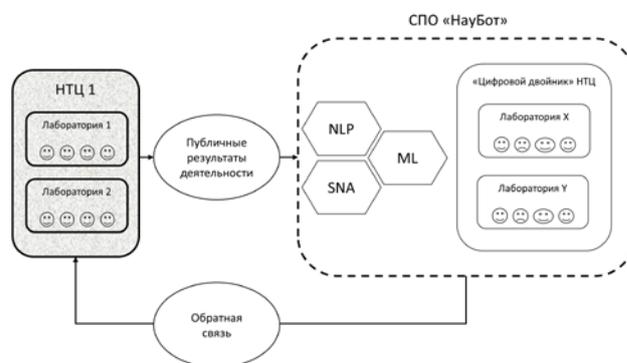


Рис. 1. Методический каркас исследования.

Разделение НТЦ на составляющие подсистемы позволяет разрабатывать модели подсистем с использованием наиболее эффективных математических методов. Авторы считают уместным применение Байесовских методов для определения параметров цифрового двойника НТЦ при решении обратной задачи.

Пусть дана функция $\Phi(x)$ и нам нужно найти x при котором она достигает максимума $\Phi(x) \rightarrow \max_x$. Добавим условие, при котором расчет каждого значения $\Phi(x)$ - это ресурсоемкая задача. Такое условие встречается, например, в следующих случаях:

- x - это географические координаты скважины, а $\Phi(x)$ - это количество нефти, которое можно

добыть, пробуив скважину с координатами x . В таком случае одно значение $\Phi(x)$ стоит миллионы рублей;

- x - это гиперпараметры искусственной нейронной сети глубокого обучения, $\Phi(x)$ - это целевая метрика точности предсказания. В этом случае одно значение $\Phi(x)$ будет занимать месяцы работы;

При решении прямой задачи моделирования наиболее продуктивным подходом представляется имитационное моделирование сложных систем. Допустим, что в отраслевой научно-исследовательской организации Ω работают лаборатории λ_i , где $i \in (1 \dots N_\lambda)$. Обозначим множество лабораторий $\Lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_{N_\lambda}\}$. В лабораториях работают научные сотрудники $A = \{a_1, \dots, a_{N_A}\}$. Обозначим множество тематик t_i , где $i \in (1, \dots, N_T)$, по которым организация Ω ведет НИР как $T = \{t_1, \dots, t_{N_T}\}$. Тогда деятельность организации Ω по выполнению НИР может быть описана следующими компонентами (1):

$$M_\Omega = \{S, \Xi, \Psi, E\}, \text{ где } S = \{\Lambda, A, T, P, X\} \quad (1)$$

- $\Xi = \{\xi_1, \dots, \xi_{N_\Xi}\}$ - множество связей между субъектами,
- $\Psi = \{\psi_1, \dots, \psi_{N_\Psi}\}$ - множество действий субъектов,
- $P = \{\rho_1, \dots, \rho_{N_P}\}$ - множество научных работ,
- $X = \{\chi_1, \dots, \chi_{N_X}\}$ - множество научных журналов и конференций.

Задавая априорные распределения для таких событий как возникновение научной идеи исследования, встречи соавторов, подачи статьи на конференцию, можно определять с помощью имитационных расчетов результат работы НТЦ.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем исследовании авторы сформировали общую расширенную постановку целей и методов для исследования научно-технической деятельности с помощью методологии цифрового двойника. Как показали авторы, методика цифрового двойника может быть применена для:

- комплексного анализа, диагностики и моделирования социальных процессов в организационной среде,
- поиска путей решения проблем обратной связи при прогнозировании путей развития науки по определенным приоритетным направлениям,
- построения прогнозов о результатах деятельности НТЦ.

Из вышеизложенного следует, что методология ЦД для изучения НТЦ представляет иерархию моделей. Авторы показали, что для решения прямой задачи моделирования НТЦ необходимо разрабатывать модели персонала, модели выполнения интеллектуальных

заданий и модели образования малых команд. В свою очередь, для решения обратной задачи моделирования НТЦ необходимо строить модели научного текста, модели соавторства и модели публикации научных результатов. Каждая из этих моделей требует отдельной проработки внутренних механизмов и механизмов взаимодействия между собой.

Объединение перечисленных моделей с помощью имитационного многоагентного моделирования и является цифровым двойником НТЦ, который поможет повысить эффективность работы организации и позволит улучшить управление технической стратегией нефтяного холдинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nadhan D., Mayani M. G., Rommetveit R. Drilling with Digital Twins / IADC/SPE asia pacific drilling technology conference and exhibition. — Bangkok, Thailand: Society of Petroleum Engineers, 2018. — P. 18.
2. Gholami Mayani M., Rommetveit R., Oedegaard S. I., Svendsen M. Drilling Automated Realtime Monitoring Using Digital Twin. — Abu Dhabi, UAE: Society of Petroleum Engineers, 2018. — P. 11.
3. Van Os J. The Digital Twin throughout the Lifecycle. — Providence, Rhode Island, USA: The Society of Naval Architects; Marine Engineers, 2018. — P. 8.
4. Føllesdal Tjønn A. Digital Twin Through the Life of a Field. — Abu Dhabi, UAE: Society of Petroleum Engineers, 2018. — P. 6.
5. Poddar T. Digital Twin Bridging Intelligence Among Man, Machine and Environment. — Kuala Lumpur, Malaysia: Offshore Technology Conference, 2018. — P. 4.
6. Saini G., Ashok P., Oort E. van, Isbell M. R. Accelerating Well Construction Using a Digital Twin Demonstrated on Unconventional Well Data in North America. — Houston, Texas, USA: Unconventional Resources Technology Conference, 2018. — P. 13.
7. Sharma P., Knezevic D., Huynh P., Malinowski G. RB-FEA Based Digital Twin for Structural Integrity Assessment of Offshore Structures. — Houston, Texas, USA: Offshore Technology Conference, 2018. — P. 6.
8. Allen T. J., others. Managing the flow of technology: Technology transfer and the dissemination of technological information within the r&D organization // MIT Press Books. — The MIT Press, 1984. — Vol. 1.
9. Noe R. A., Hollenbeck J. R., Gerhart B., Wright P. M. Human resource management. — China People's University Press, 2006.
10. Cooley C. H. Social organization. — Transaction Publishers, 1956.
11. Krasnov F., Dokuka S., Yavorskiy R. Team assembly in r&D: A review of imitating modeling approach for science and technology center in oil&Gaz industry // International Journal of Open Information Technologies. — 2018. — Vol. 6, no. 1. — P. 17–24.
12. Block P., Grund T. Multidimensional homophily in friendship networks // Network Science. — Cambridge University Press, 2014. — Vol. 2, no. 2. — P. 189–212.
13. De Nooy W., Mrvar A., Batagelj V. Exploratory social network analysis with pajek. — Cambridge University Press, 2018.
14. Moreno J. L. Who shall survive? Foundations of sociometry, group psychotherapy and socio-drama. — Beacon House, 1953.
15. Mullins N. C. The development of specialties in social science: The case of ethnomethodology // Science Studies. — Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA, 1973. — Vol. 3, no. 3. — P. 245–273.
16. Chuan P. M., Ali M., Khang T. D., Dey N., others. Link prediction in co-authorship networks based on hybrid content similarity metric // Applied Intelligence. — Springer, 2018. — Vol. 48, no. 8. — P. 2470–2486.
17. Chen Y., Ding C., Hu J., Chen R., Hui P., Fu X. Building and analyzing a global co-authorship network using google scholar data / Proceedings of the 26th international conference on world wide web companion. — International World Wide Web Conferences Steering Committee, 2017. — P. 1219–1224.

Digital Twin for R&D organization: approaches and methods

F.V. Krasnov, M.M. Khasanov

Abstract -- Competition encourages business to adopt the concept of digital twins. In some industries, digital twins have already found their place: there are digital twins of factories and cities.

However, in industries where knowledge is the main product, digital twins are not yet in such demand.

There is no doubt that scientific organizations have an internal core, corporate culture, values, which allow them to carry out unique research works.

By modeling these internal, hidden, latent features of an organization, we can get unique tools for forecasting and managing a technical strategy.

The digital twin of the science and technology center can be viewed as a particular type of model that reveals such hidden phenomena as the emergence of new research areas, the formation of scientific schools and the degree of creative burnout and fatigue of the team.

Prototyping, as an engineering discipline, has existed for more than 30 years and, at first glance, does the same.

However, unlike the prototype, the digital twin does not set goals for the rapid implementation of basic functionality for analyzing the operation of the system as a whole.

Therefore, to understand the advantages of digital twin, we need to understand the new features that it provide.

Going from the particular to the general, the authors selected a research and technology center for research and considered approaches to building a digital twin, and then summarized these approaches.

As a result, an up-to-date formulation of research hypotheses was obtained, which need to be checked before creating a digital twin of an organization or its part aimed at producing new knowledge.

Keywords — Hierarchical modeling, System dynamics, Simulation modeling, Text analysis, Social network analysis, Strategic planning, Science management.

REFERENCES

1. Nadhan D., Mayani M. G., Rommetveit R. Drilling with Digital Twins / IADC/SPE asia pacific drilling technology conference and exhibition. — Bangkok, Thailand: Society of Petroleum Engineers, 2018. — P. 18.
2. Gholami Mayani M., Rommetveit R., Oedegaard S. I., Svendsen M. Drilling Automated Realtime Monitoring Using Digital Twin. — Abu Dhabi, UAE: Society of Petroleum Engineers, 2018. — P. 11.
3. Van Os J. The Digital Twin throughout the Lifecycle. — Providence, Rhode Island, USA: The Society of Naval Architects; Marine Engineers, 2018. — P. 8.
4. Føllesdal Tjønn A. Digital Twin Through the Life of a Field. — Abu Dhabi, UAE: Society of Petroleum Engineers, 2018. — P. 6.
5. Poddar T. Digital Twin Bridging Intelligence Among Man, Machine and Environment. — Kuala Lumpur, Malaysia: Offshore Technology Conference, 2018. — P. 4.
6. Saini G., Ashok P., Oort E. van, Isbell M. R. Accelerating Well Construction Using a Digital Twin Demonstrated on Unconventional Well Data in North America. — Houston, Texas, USA: Unconventional Resources Technology Conference, 2018. — P. 13.
7. Sharma P., Knezevic D., Huynh P., Malinowski G. RB-FEA Based Digital Twin for Structural Integrity Assessment of Offshore Structures. — Houston, Texas, USA: Offshore Technology Conference, 2018. — P. 6.
8. Allen T. J., others. Managing the flow of technology: Technology transfer and the dissemination of technological information within the r&D organization // MIT Press Books. — The MIT Press, 1984. — Vol. 1.
9. Noe R. A., Hollenbeck J. R., Gerhart B., Wright P. M. Human resource management. — China People's University Press, 2006.
10. Cooley C. H. Social organization. — Transaction Publishers, 1956.
11. Krasnov F., Dokuka S., Yavorskiy R. Team assembly in r&D: A review of imitating modeling approach for science and technology center in oil&Gaz industry // International Journal of Open Information Technologies. — 2018. — Vol. 6, no. 1. — P. 17–24.
12. Block P., Grund T. Multidimensional homophily in friendship networks // Network Science. — Cambridge University Press, 2014. — Vol. 2, no. 2. — P. 189–212.
13. De Nooy W., Mrvar A., Batagelj V. Exploratory social network analysis with pajek. — Cambridge University Press, 2018.
14. Moreno J. L. Who shall survive? Foundations of sociometry, group psychotherapy and socio-drama. — Beacon House, 1953.
15. Mullins N. C. The development of specialties in social science: The case of ethnomethodology // Science Studies. — Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA, 1973. — Vol. 3, no. 3. — P. 245–273.
16. Chuan P. M., Ali M., Khang T. D., Dey N., others. Link prediction in co-authorship networks based on hybrid content similarity metric // Applied Intelligence. — Springer, 2018. — Vol. 48, no. 8. — P. 2470–2486.
17. Chen Y., Ding C., Hu J., Chen R., Hui P., Fu X. Building and analyzing a global co-authorship network using google scholar data / Proceedings of the 26th international conference on world wide web companion. — International World Wide Web Conferences Steering Committee, 2017. — P. 1219–1224.